

## Energibesparelser ved automatisering af eksisterende varmeanlæg

Af civilingeniør Jørgen R. S. Nielsen, Birch & Kroghoe K/S

### Baggrund

Danmark skal spare energi – alle ved det, og mange taler om det, men de færreste gør noget ved det.

Under den såkaldte energikrise i 1973–74 faldt energiforbruget, formodentlig på grund af chokvirkningen, regeringens sparekampagne og den fælles »sportsånd«.

Men nu er energikrisen tilsyneladende overstået, energiforbruget stiger igen på trods af mange advarsler om voksende betalingsunderskud og om en massiv energimangel i 1980'erne.

Energikrisen er dog ikke glemt i pressen, men overskrifterne koncentrerer mest om alternative energikilders fremtidige muligheder – alt imens vi ubekymrede (næsten) brænder mere og mere fossilt brændstof af i vore bestående varmecentraler, der ofte er forældede, uøkonomiske og dårligt vedligeholdte. Det er nødvendigt at spare energi i de bestående varmeanlæg, som vi trods alt skal leve med i en del år endnu.

De energibesparelser, der kan foretages i vore eksisterende bygninger, er langt større og hurtigere virkende, end de energibesparelser og tilførsler af alternativ energi, der kan forventes i en overskuelig fremtid fra det beskedne nybyggeri og fra alternative energikilder.

Alle energirapporter fremhæver dette faktum, myndighederne giver tilskud til energibesparende foranstaltninger – men forbedringerne af vore eksisterende anlæg går for langsomt, og energiforbruget stiger støt igen.

For de fleste er energibesparende foranstaltninger lig med isolering, termoruder og sol- og vindenergi, kun få tager automatiseringen op som en virkelig energibesparende mulighed. Dette skyldes måske, at automatikkens virkninger er sværere at forstå, eller at forbrugeroplysningen har været for ringe. Det er imidlertid en realitet, at indførelsen af automatik og en fornuftig indregulering af vore bestående varmeanlæg kan give betydelige besparelser og en stor forrentning af den investerede kapital. Der findes mange ældre varmecentraler i Danmark – alene af udlejningsejendomme med centralvarme bygget før 1941 findes næsten 700.000 – så der er på landsbasis store energibesparelser at hente, i størrelsesordenen omkring 500–600 millioner liter olie pr. år eller ca. 400 – 500 millioner kroner i de nuværende energipriser.

### Bygningers energiforbrug

For at kunne få en fornemmelse af bygningers energiforbrug, afhængigt af byggeskik og størrelse, anvendes her, som i litt. 1, nogle bygningsmodeller med data som anført i tabel I.

Modellerne, kaldet »20«, »40« og »60«, kan tages som et gennemsnitligt, skønnet niveau for byggeskikken i tidsperioderne 1900–40, 1940–60 og 1960–75.

Bygningsmodellen »BR77« angiver kravene i det ny bygningsreglement.

For en bygning kan angives den karakteristiske varmetabsfaktor P, som er varmetabet til varme-transmission og friskluftskifte, udtrykt i Watt pr. m<sup>2</sup> etageareal ved 1°C differens mellem ude- og inde-temperatur. For en nærmere udredning heraf henvises til litt. 1.

På fig. 1 A–C angives den karakteristiske varmetabsfaktor P for de omtalte bygningsmodeller som funktion af bebygget areal og etageareal.

En bygnings dimensionerende varmetab er givet ved:

$$Q_T = (T_i - T_u) P A_E 0,001 = 0,032 P A_E \text{ kW,}$$

hvor  $P \text{ W/}^\circ\text{Cm}^2$  = den karakteristiske varmetabsfaktor.

$T_i - T_u$  = den maksimale, dimensionerende temperatur-differens mellem inde-temperaturen og ude-temperaturen, eller  $20^\circ - (\pm 12^\circ) = 32^\circ\text{C}$ .

$A_E$  = bygningens etageareal i m<sup>2</sup>.

Ved beregningsmæssige overslag over bygningens årlige energiforbrug til varmetransmission og friskluftskifte, ET, kan følgende udtryk anvendes:

$$E_T = P A_E G D' 0,024 \text{ kWh,}$$

hvor  $G D'$  = beregningsgradtallet, der, som omtalt i litt. 1, er afhængigt af P-faktoren, idet gratisvarmens betydning for årsforbruget vil variere med P og bygningens anvendelse.

For gennemsnitsboliger kan man tilnærmelsesvis (se

litt. 1) sætte

$$GD' = 1850 (1 + \log P) \text{ d\o{g}n } ^\circ\text{C}.$$

Dvs., for boliger af gennemsnitsstørrelse 80–130 m<sup>2</sup> kan årsforbruget sættes til

$$E_T = 44 P A_E (1 + \log P) \text{ kWh/\u00e5r}.$$

Hertil kommer energiforbruget til det varme brugsvand, som for de nævnte boligstørrelser omtrentligt kan sættes til 10 kWh/\u00e5r m<sup>2</sup> etageareal. Forholdet mellem energiforbruget pr. \u00e5r, FT, og det dimensionerende varmetab kan sættes til:

$$E_T/Q_T = 0,75 GD \text{ h/\u00e5r},$$

eller for boligens vedkommende:

$$E_T/Q_T = 1375 (1 + \log P) \text{ h/\u00e5r}.$$

P\u00e5 fig. 2 vises energiforbruget for 130 m<sup>2</sup> parcelhuse, opf\u00f8rt som de angivne bygningsmodeller.

**Termisk komfort**

Efter Dr. P.O. Fanger (litt. 2) afh\u00e5nger den termiske komfortfornemmelse for en gruppe personer af

- lufttemperaturen
- middelstr\u00e5lingstemperaturen
- lufthastigheden
- bekl\u00e6dningen
- aktivitetsniveauet
- luftfugtigheden

hvoraf den sidstn\u00e5vnte kun har en meget ringe indflydelse p\u00e5 menneskers temperaturfornemmelse, n\u00e5r de befinder sig i eller i n\u00e5rheden af den termiske komfortzone. Lufthastigheden og middelstr\u00e5lingstemperaturen har derimod stor betydning for den menneskelige klimaopfattelse. Mindre lufthastighed og st\u00f8rre middelstr\u00e5lingstemperatur (kan opn\u00e5s ved t\u00e6tning, isolering og flerlagsruder) vil for\u00e5rsage mindre krav til lufttemperaturen, dvs., der spares energiforbrug til opvarmning. Disse f\u00e5n\u00f8mener kan v\u00e5re \u00e5rsag til, at isolering og t\u00e6tning kan give st\u00f8rre energibesparelser end dem, man kommer til ved rene transmissionsberegninger. Dette m\u00e5 erindres ved den senere gennemgang af energibesparende foranstaltninger og deres \u00f8konomiske konsekvenser.

**\u00d8konomiberegninger, l\u00f8nsomhed**

Til en \u00f8konomisk bed\u00f8mmelse af investeringer i

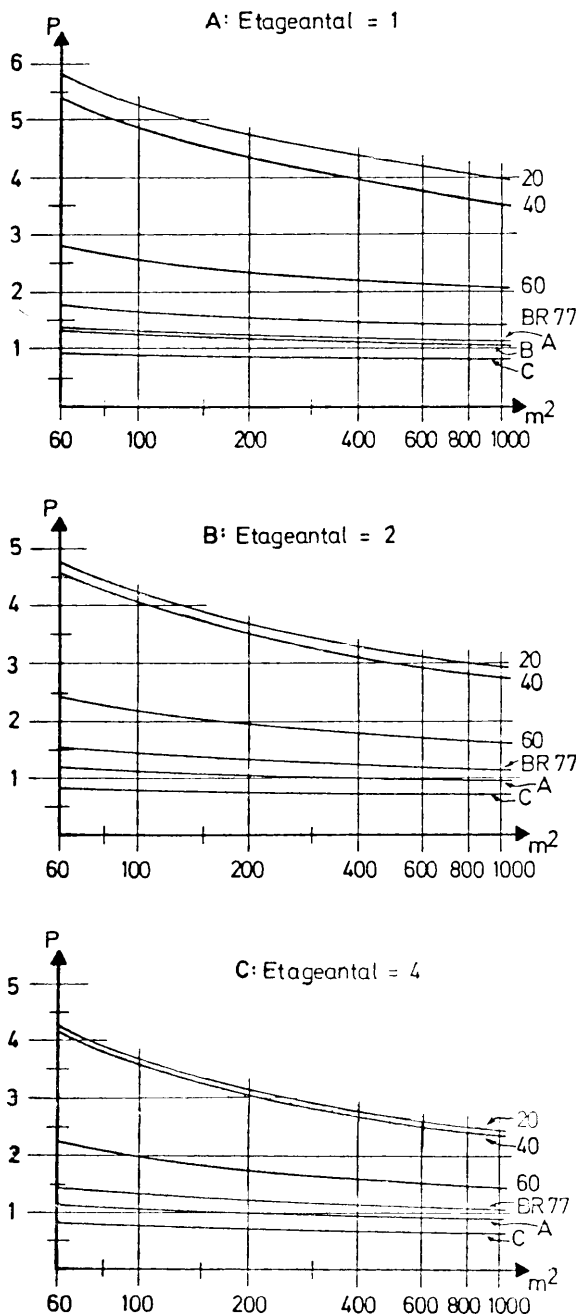


Fig. 1 A–C: Den karakteriske varmetabsfaktor, P W/\u00b0C pr. m<sup>2</sup> etageareal, som funktion af det bebyggede areal.

energibesparende foranstaltninger er det almindeligt at angive investeringens st\u00f8rrelse samt den forventede tilbagebetalingstid, dvs., det antal \u00e5r, der forl\u00f8ber, inden summen af de \u00e5rlige besparelser er lig den foretagne investering:

- I kr = Investeringen i energibesparende foranstaltninger.
- B kr/\u00e5r = Forventet besparelse pr. \u00e5r, udregnet

på investeringstidspunktet, dvs., uden indregning af inflation eller prisstigninger.

$I/B$  år = Tilbagebetalingstiden.

$I/B$  kan anvendes til prioritering af flere investeringsmuligheder, men kan tillige anvendes som en praktisk indgangsstørrelse i økonomiberegningsdiagrammer som f.eks. de i litt. 3 udviklede ACGP-diagrammer, ved hjælp af hvilke den opnåede forrentning kan aflæses i afhængighed af tilbagebetalingstiden og den prognosticerede prisudvikling på de årlige energibesparelser. Fig. 3 viser et sådant ACGP-diagram for investeringer i energibesparende foranstaltninger, der tillægges en økonomisk levetid på 10 år.

Dette gælder ganske godt for automatiseringsforanstaltninger, hvorimod man ved isolering, der normalt tillægges en økonomisk levetid på 30 år, må anvende et diagram, der er optegnet for denne levetid.

I litt. 4 findes en nøjere beskrivelse af disse diagrammers anvendelse og opbygning. På fig. 3 er indtegnet et eksempel, der angiver, at en investering med forventet tilbagebetalingstid på  $6\frac{1}{4}$  år og en prognosticeret energiprisstigning på 6% om året vil medføre en forrentning på 16% af den foretagne investering.

Hvad denne forrentning betyder for beslutningstageren afhænger af hans økonomiske forhold, skateloove og/eller handels- og energipolitiske motiver.

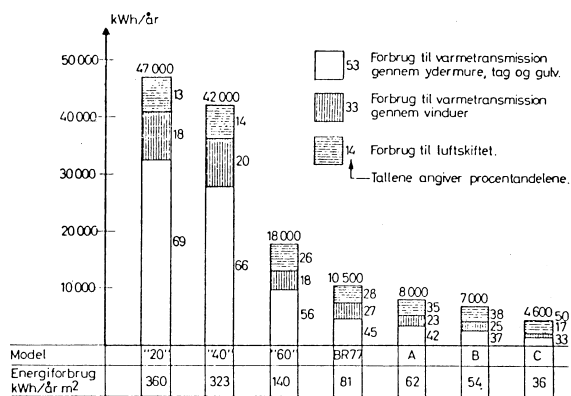


Fig. 2: Det årlige forbrug til varmetransmission og luftskifte for et 130 m<sup>2</sup> etplans parcelhus i afhængighed af bygningsmodel. Forbruget angives med og uden varmegenvinding på tætte, højisolerede modeller.

Årligt forbrug:  $F = 3,12 \cdot GD \cdot P \text{ kWh / år}$ .

Det varme brugsvand øger alle de angivne årsforbrug med ca. 4000 kWh, eller 31 kWh/år m<sup>2</sup>.

### Introduktion til automatisk regulering og periodisk drift

Ved automatisk regulering af indeklimaet opnås først og fremmest en bedre mulighed for at overholde en vis rumtemperatur, der er noget lavere end den gennemsnitstemperatur, der forefandt i det uregulerede indeklima. Herved opnås almindeligvis også en komfortforbedring. En bygningsindeklima påvirkes af to faktorer:

1. Udeklimaets variation
2. Gratisvarmens variation

Der findes automatik, der specielt modvirker den første faktor. Udstyret består oftest af en automatisk regulator, der, ud fra en udefølers måling af udetemperaturen, påvirker en reguleringsventil således, at fremløbstemperaturen til radiatorerne ændres i takt med udetemperaturen. Sådanne regulatorer kan være mere eller mindre følsomme for sol og vindpåvirkninger. Ofte opdeles varme anlægget efter de forskellige facader således, at en regulering sker bedst muligt ud fra udeklimaet ved den pågældende facade.

Gratisvarmens variation modvirkes af regulatorer, der alle er forsynet med en eller anden form for rumføler, som ud fra en måling af indetemperaturen ændrer varmeafgivelsen fra radiatorerne således, at den ønskede rumtemperatur overholdes inden for et mindre interval, end det ville være praktisk muligt med en manuel regulering. Ved periodisk drift af varme anlæg, dvs. reduktion af varmeydelsen uden for brugstiden, kan spares betydelige beløb, størst naturligvis, hvor bygningens brugstid er kortest.

I denne artikels senere eksempler, der omfatter periodisk drift, er regnet med to brugstider:

168 timer pr. uge og 50 timer pr. uge, svarende til henholdsvis døgn drift og en brugstid, der kun omfatter 5 x 10 timer ugentligt (f.eks. en kontorbygning).

### Besparelser ved periodisk drift af varme anlæg

I litt. 4 beskrives en del forhold vedrørende periodisk drift temmeligt indgående, men her skal kun angives nogle væsentlige forhold vedrørende de opnåelige besparelser. Besparelserne ved periodisk drift afhænger af:

1. Bygningens karakteristiske varmetabsfaktor, P (W/°Cm<sup>2</sup>). Jo større P, jo større besparelse kan opnås ved periodisk drift.

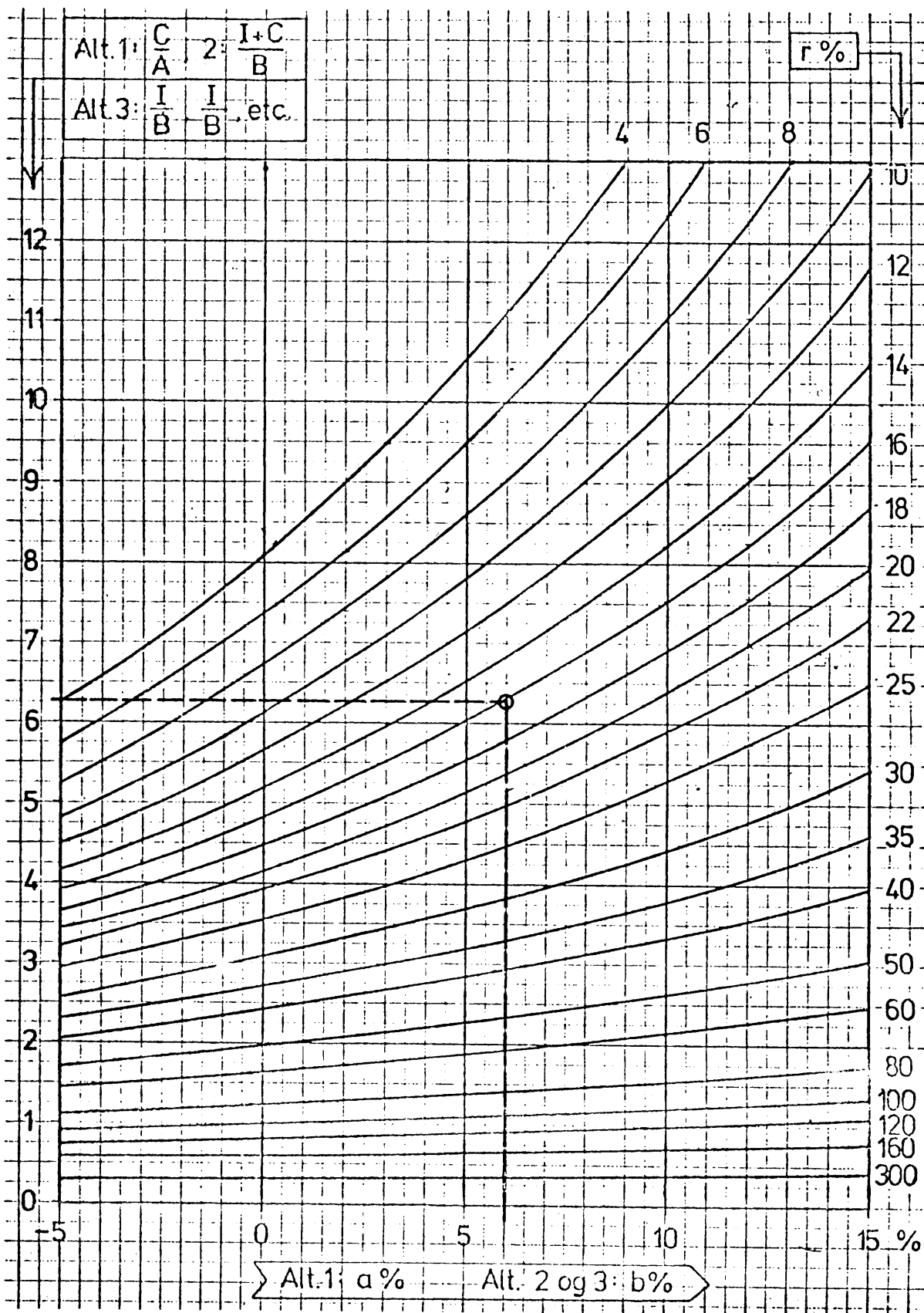


Fig. 3: ACGP-økonomidiagram. Økonomisk levetid n = 10 år.

2. Bygningens temperaturtræghed, som ved første tilnærmelse afhænger af vægmaterialet nærmest rummene i en ca. 5 cm dybde.

Hvis væg materialerne i denne del af væggene er af lette, isolerende materialer, vil rummene termisk set forekomme »lette«.

Rummene vil i et let byggeri kunne opvarmes hurtigere end i et tungt – men vil til gengæld også hurtigere tabe temperatur ved varmeafgivelse gennem ydervæggene.

Jo lettere bygning, jo større besparelse ved periodisk drift. Det kan i visse henseender være fordelagtigt, at en bygning er termisk tung.

Variationer i gratisvarmen vil bedre udjævnes end i en let bygning og den automatiske regulering vil bedre kunne »følge med«, dvs. bedre kunne modvirke de opståede variationer.

3. Udeklimaet. Jo mildere klima i fyringssæsonen, jo større procentisk besparelse ved periodisk drift.

Ud fra oplysninger i litt. 5 har jeg konstrueret fig. 4. som den omtrentlig vil blive for radiatoropvarmede anlæg under danske klimaforhold. Fig. 4 viser den årlige, procentiske besparelse ved periodisk drift i afhængighed af bygningens varmetab, brugstid og temperaturtræghed (»let« og »tung« bygning).

På fig. 5 er med tilnærmelse vist opstarttiden som funktion af udetemperaturen. Opstarttiden er det antal timer før brugstidens begyndelse, hvori varmeanlægget skal afgive sin fulde kapacitet til bygningen, såfremt indeklimaet skal være normalt ved brugstidens begyndelse.

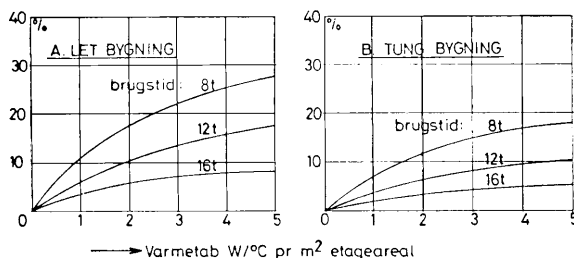


Fig. 4: Årlig procentisk energibesparelse ved periodisk drift af varmeanlæg (ventilationsanlæg ikke medregnet).

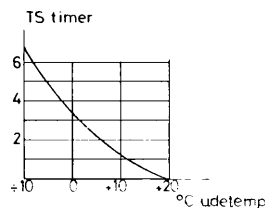


Fig. 5: Start af opvarmning. TS timer, for en bygning tages i brug.

**Generelle betragtninger vedrørende tilbagebetalingstider for investeringer i efterisolering, tætning og automatisering**

Fig. 6 og 7 viser i stærkt generaliseret form områder for tilbagebetalingstiden ved investering i isolering, tætning og automatisering som funktion af bygningens dimensionerende varmetab. Fig. 6 gælder omtrentligt for bygningsmodeller af »20«–»40« typen, hvorimod fig. 7 gælder for bygningsmodel »60«. Det forudsættes her, at investeringerne foretages i et sådant omfang, at energibesparelsen andrager 10–25% af det foregående forbrug, samt at man ved valget af automatisering vælger udstyr, der er mest passende for den pågældende anlægs

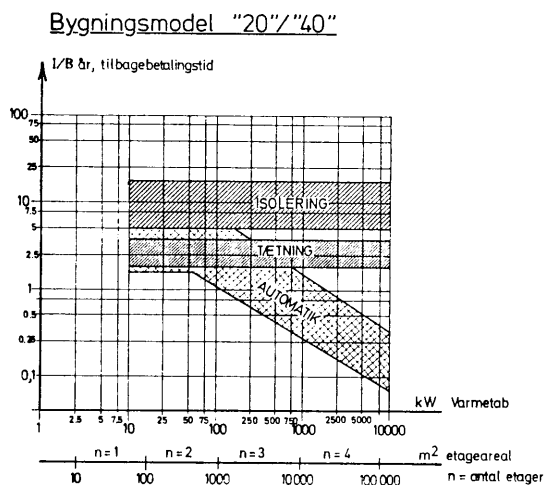


Fig. 6: Figuren angiver de omtrentlige områder for tilbagebetalingstiden for isolering, tætning og automatik. Bygningsmodel »20«/»40«.

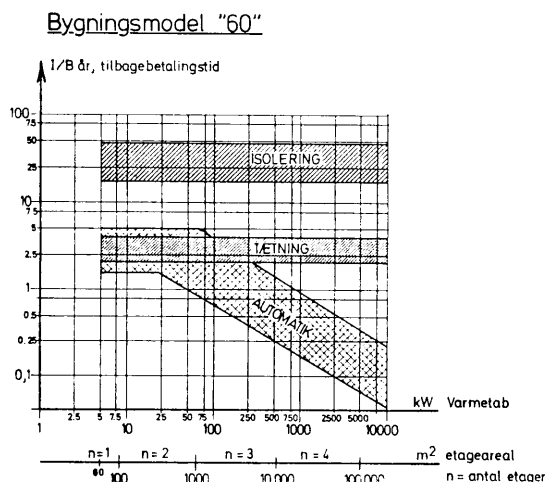


Fig. 7: Figuren angiver de omtrentlige områder for tilbagebetalingstiden for isolering, tætning og automatik. Bygningsmodel »60«.

størrelse. Den i fig. 6 og 7 viste m<sup>2</sup>-akse er kun indtegnet for at give et vist indtryk af bygningernes størrelse, men kan af mange årsager være temmelig unøjagtig. Af fig. 6 og 7 kan følgende, generelle forhold aflæses:

1. Tilbagebetalingstiden for efterisolering vil normalt være større end for automatisering. Forskellen er større i »60«-modellen end i »20«-»40«-modellen. Dette skyldes, at »60«-modellen er bedre isoleret, og at det oftest vil være billigere at foretage automatisering af en nyere varme-central end af en ældre.
2. Tætning af bygningens klimaskærm (vinduer, døre, sprækker etc.) vil give en stor forrentning. Man må dog erindre, at tætning ikke må overskride en vis grænse, givet af det ønskede friskluftskifte.
3. Automatiseringens tilbagebetalingstid falder betydeligt med bygningens størrelse.

### Almindeligt forekommende automatiseringsmuligheder

Fig. 8, 1-8 viser i diagramform forskellige automatiseringsmuligheder samt opdeling af varmeanlægget i separat regulerede zoner (facadeopdeling). Fig. 9 viser, hvorledes investering og tilbagebetalingstid for de 6 angivne automatiseringsmuligheder forventes at afhænge af det dimensionerende varmetab i model »20«-»40« og model »60«. Model »20« og »40« er her slået sammen i en figur, da forskellen på de to modeller i denne henseende er ubetydelig. Det må her betones, at de angivne økonomikurver er fremkommet på grundlag af erfaringer og beregninger, og således ikke er resultatet af en større, statistisk analyse. Kurverne (her vist i en formindsket form for oversigtens skyld) er hentet fra litt. 4, SBI - publikation: »Energibesparende foranstaltninger i offentlige bygninger, delrapport I « – et projekt, der indgår i handelsministeriets program for udbygning af dansk energiforskning og udvikling, ledet af SBI i samarbejde med ingeniørfirmaerne Birch og Krogboe og Crone og Koch. I perioden oktober 77 – december 78 fortsættes dette projektarbejde med praktiske undersøgelser til eftervisning og eventuel korrigerende af bl.a. de i fig. 9 viste forhold. For en mere dybtgående omtale af de i fig. 8 viste automatiseringsmuligheder henvises til litt. 4, men her skal dog de principielle virkemåder kort gennemgås. Det skal i øvrigt her bemærkes, at ganske lignende principper som vist i fig. 8 for centralvarmeanlæg kan anvendes i noget ændret form i fjernvarmeanlæg.

Fig. 8.1.

Udetemperaturafhængig fremløbsregulering med mulighed for nat- og week-endsænkning. Hermed tilsigtes at kompensere for udeklimaets påvirkninger af bygningens indeklima ved at regulere på radiatoranlæggets fremløbstemperatur. Udetemperaturen måles med en udeføler, der via et kontrolpanel styrer fremløbstemperaturen. Sammenhængen mellem udetemperatur og fremløbstemperatur kan ændres, idet den skal passe til den pågældende bygnings varmebalance. Kontrolpanelet er desuden forsynet med et programur, der kan sænke fremløbstemperaturen uden for bygningens brugstid.

Fig. 8.2. Radiatortermostater.

En radiatortermostat består af en reguleringsventil, der kan bevæges af en luft- eller væskefyldt termostatdel. Termostatdelen kan være monteret direkte på ventilen eller forbundet med denne via et tyndt, bøjeligt kobberør, således at termostaten kan anbringes, så den bedst muligt kan »føle« temperaturen i rummet. Jo større andel gratisvarmen udgør af den nødvendige varmetilførsel, og jo mere den varierer, jo større procentisk besparelse.

Fig. 8.3.

Kombination af mulighederne i fig. 8.1 og 8.2. Denne automatiseringsform kombinerer fremløbsreguleringens kompensation for udeklimaændringer med radiatortermostaternes evne til at kompensere for gratisvarmens variationer. Herved opnås, at radiatortermostaternes virkning forbedres, idet de nu »kun skal regulere før gratisvarmen«, hvilket bl.a. giver følgende fordele:

- Nøjagtigere overholdelse af rumtemperaturen.
- Mindre varmespild, når en radiatortermostat udsættes for træk ved f.eks. udluftning.

Fig. 8.4.

Regulering af rumtemperatur med rumtermostat, der starter og stopper cirkulationspumpen. En indstillelig rumtermostat forsynet med elektriske kontakter samt indbygget programur for natsænkning anbringes i et repræsentativt rum i bygningen. Hvis temperaturen er højere end angivet på termostaten, stoppes anlæggets cirkulationspumpe. Når temperaturen er mindre end angivet, startes pumpen igen. Det bedste resultat opnås, når temperaturreguleringen kun er væsentlig i det rum, hvori termostaten er anbragt.

Tilbagebetalingstiden er på fig. 9 vist op til 50 kW

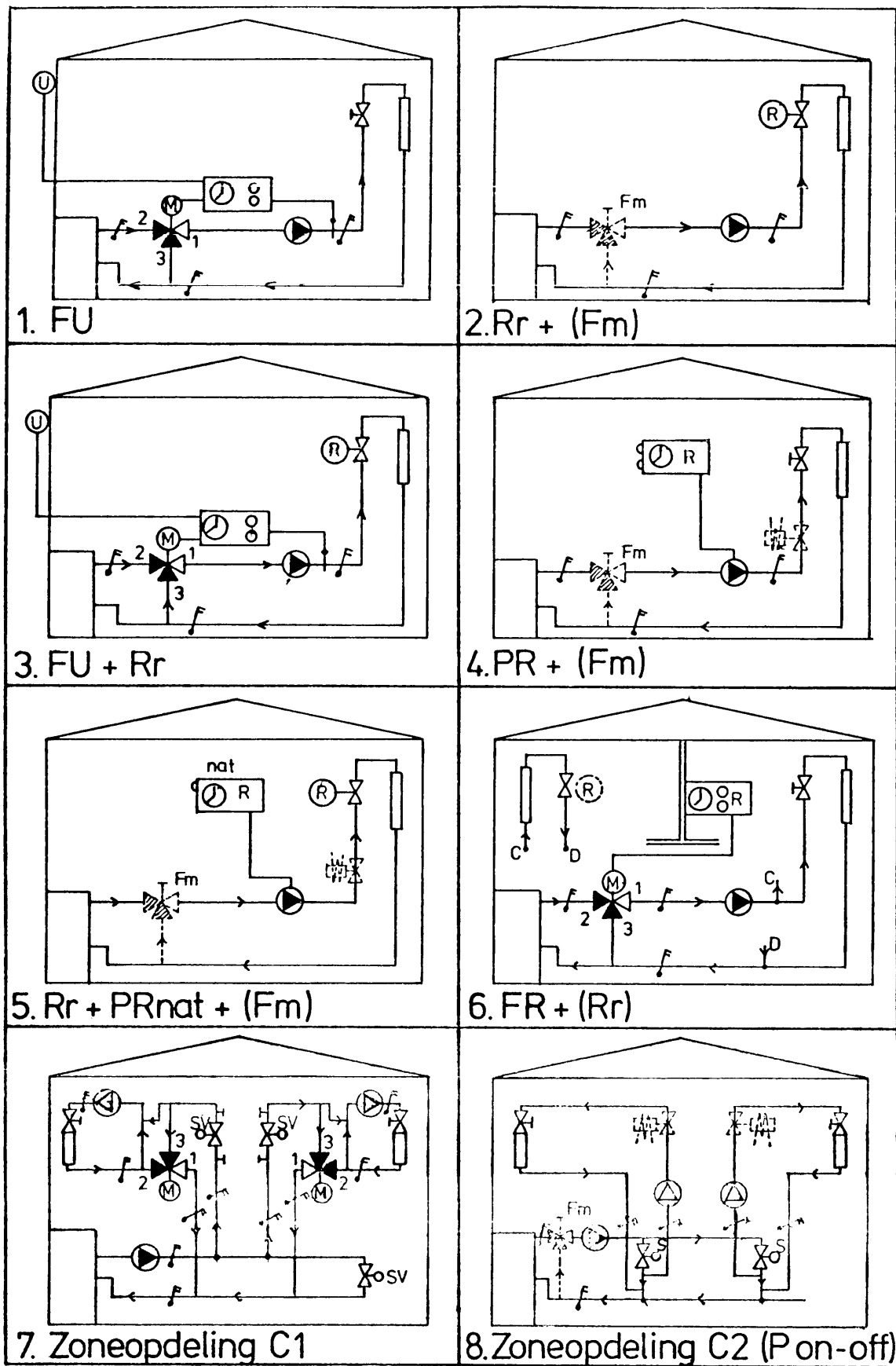


Fig. 8,1-8: Otte automatiseringsmuligheder i centralvarmeanlæg.

dimensionerende varmetab. Ved større anlæg vil en zoneopdeling være påkrævet. Dette vil oftest blive så kostbart, at denne EBF næppe finder anvendelse i større anlæg. I visse tilfælde kan denne reguleringsform medføre problemer med pumpen, og de i perioder lave returtemperaturer til kedlen kan medføre hurtigere kedeltæringer, afhængigt af kedeltype.

Fig. 8.5.

Radiatortermostater, kombineret med programur for natsænkning.

Her kombineres radiatortermostaterne med en elektrisk rumtermostat, forsynet med programur, som sørger for, at den elektriske rumtermostat først træder i funktion uden for brugstiden. Rumtermostaten vil da stoppe cirkulationspumpen, indtil den ønskede, lavere rumtemperatur er opnået. Radiatortermostaterne vil stå åbne, når programuret atter udkobler den elektriske rumtermostat, hvorefter anlægget efter en vis opvarmingsperiode atter vil fungere normalt.

Fig. 8.6.

Elektrisk rumtermostat for regulering af fremløbs-temperaturen.

En indstillelig rumtermostat forsynet med elektriske kontakter samt indbygget programur anbringes i et repræsentativt rum i bygningen. Hvis temperaturen er højere (lavere) end angivet på termostaten, giver den »besked« til kedelanlæggets shuntventil om langsomt at sænke (hæve) fremløbstemperaturen.

Såfremt ventilens »gangtid« fra fuldt åben til helt lukket stilling er ca. 25–50 minutter, vil den ikke forårsage mærkbare svingninger i rummets temperatur.

Fig. 8.7 og fig. 8.9

viser, hvorledes et varmeanlæg kan zoneopdeles, henholdsvis med ventilregulering (fig. 8.7) eller med pumperegulering (fig. 8.8). Ved de økonomiske beregninger på større anlæg er det forudsat, at en zoneopdeling finder sted.

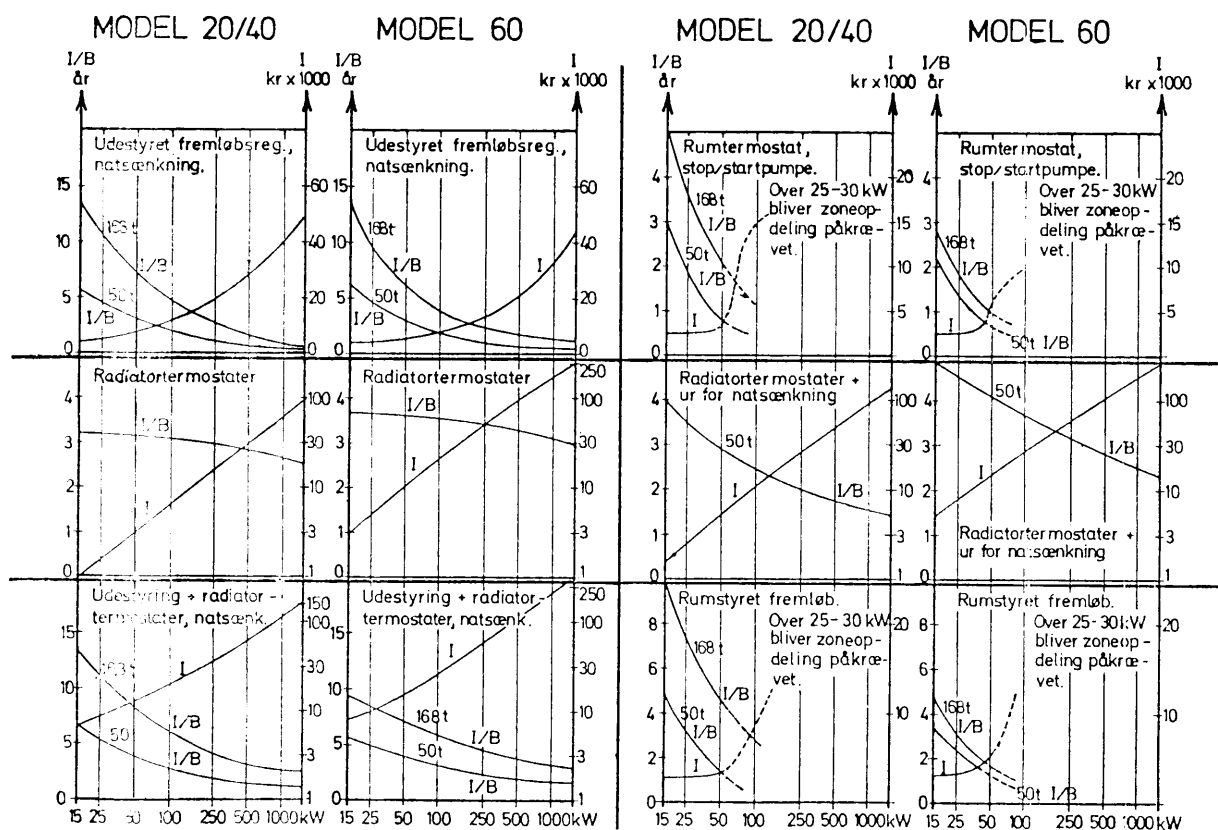


Fig. 9: Tilbagebetalingstid og finansiering som funktion af dimensionerende varmetab og bygningsmodel for de i artiklen nævnte 6 automatiseringsmuligheder.



### Konklusion

Automatisering af bestående varmeanlæg sparer megen energi og giver en stor forrentning af den investerede kapital – større end ved andre energibesparende foranstaltninger. Det vil dog være en forudsætning for besparelserne, at automatik og anlæg indreguleres, drives og vedligeholdes hensigtsmæssigt. Denne forudsætning har det hidtil ofte vist sig vanskeligt at opfylde – men det kan lade sig gøre, og det vil simpelthen blive nødvendigt i fremtiden.

*Jørgen S. R. Nielsen*

### Litteraturhenvisninger:

- Litt. 1 Lavenergihusets energimæssige placering. Civilingeniør J.S.R. Nielsen, HFB 22.
- Litt. 2 Thermal Comfort. Dr. civiling. P.O. Fanger. Danish Technical Press, Copenhagen 1970.
- Litt. 3 *Lönsomhetskalkyler vid energibesparanda åtgärder för befintliga byggnader.* Byggeforskningen, rapport R40: 1975, Ulf Järnefors.
- Litt. 4 Energibesparende foranstaltninger i offentlige bygninger, delrapport 1: Oversigt. Statens Byggeforskningsinstitut 1977.
- Litt. 5 Periodevis drift av varme- og ventilasjonsanlegg. Bent A. Børresen og Rødseth. Norges tekniske Højskole, februar 1976.