

INSTITUTTET FOR HUSBYGNING

Rapport nr. **135**

SIGURD ANDERSEN

**ENERGIFORBRUGET
PÅ BYGGEPLADSEN**

Den polytekniske Lærestalt, Danmarks tekniske Højskole

Lyngby **1980**

FORORD

Denne rapport er et bilag til rapport nr. 137
"Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling
af boliger" og indgår i det arbejde, jeg udfører
for at opnå den tekniske licentiatgrad ved Danmarks
tekniske Højskole.

Formålet med notatet er primært at finde et bereg-
ningsgrundlag for energiforbruget på byggepladsen
i forbindelse med boligbyggeri og kun sekundært en
kortlægning af energiforbruget.

Der skal rettes en tak for velvillig assistance til
følgende institutioner og personer:

E. Eiken, Laboratoriet for Anlægsteknik, DTH,
P. Andersen, Teknologisk Institut, Byggeteknik,
S. Krarup Nielsen, Vejdatalaboratoriet.

Marts 1980

Sigurd Andersen

RESUMÉ

Undersøgelserne i rapporten koncentrerer sig om en beregning af energiforbruget ved de mest energikrævende arbejder og foranstaltninger på byggepladsen og sekundært om den tilknyttede servicevirksomhed omkring opførelsen af boliger.

Som nævnt i forordet, er rapportens indhold stærkt knyttet til rapport nr. 137 "Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af boliger", og det anbefales kraftigt, at rapportens resultater ikke bedømmes uden de videre perspektiver, der gives i rapport nr. 137.

Det samlede energiforbrug på byggepladsen domineres, ifølge beregningsresultatet, tydeligt af foranstaltninger omkring udtørring af råhuset og i forbindelse med vinterforhold.

Det er karakteristisk, at de direkte skabende og til opførelsen knyttede operationer, som f.eks. jordarbejder, montage m.m., er ret energiekstensive arbejder, hvilket måske ikke umiddelbart er indlysende, idet det netop i industrien ofte er omvendt.

Det kan imidlertid på grundlag af den store variation af metoder, klimaforhold og øvrige betingelser, som i praksis er gældende, ikke lade sig gøre at bestemme et nøjagtigt beregningsgrundlag. Trods dette er der forsøgt som afslutning for rapporten at opstille et beregningsgrundlag til bestemmelse af typiske energiforbrug til forskellige bygningsarter. Det viser sig da, at det traditionelle murede byggeri har det højeste energiforbrug på byggepladsen, mens betonelementbyggeriet ligger noget lavere, og let byggeri, som f.eks. træskelethuse, gennemsnitligt er det mindst energikrævende.

Intervalleret spænder fra ca. 60 kWh/m² etageareal til ca. 170 kWh/m² etageareal.

Et skøn over det samlede energiforbrug til opførelse af alle boliger i Danmark siger, at størrelsesordenen er 0.35% til foranstaltningerne på byggepladsen og 0.25% til serviceydelser i forbindelse med fremstilling af boligerne, begge procenter taget i forhold til det årlige nationale bruttoenergiforbrug.

SUMMARY

With this report I have tried to find a method for calculating energy requirements in connection with the most common activities on the building site.

The results of this report will only be of interest when compared with the results of report No. 137 "Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af boliger".

The total energy requirement is clearly dominated by artificial drying out of structures and site operations under winter conditions.

The primary site operations, i.e. erection, casting of concrete or earth works (excavation etc.) are not very energy requiring which at first is surprising.

It is not possible in this report to resolve a precise calculation, but a method is given to estimate the energy required for various, typical building methods. It appears that traditional masonry buildings have the highest energy requirement, concrete element buildings have somewhat lower energy requirements while light timberframe houses have the lowest energy requirement on the site.

The energy requirement is from 60 kWh/m² floorage up to 170 kWh/m² floorage.

The total annual energy requirement on all building sites in Denmark is estimated to 0.35% of the annual gross energy requirement.

4.0 INDLEDNING

Det direkte energiforbrug på byggepladsen til opførelse af bygninger er sjældent af afgørende betydning for de totale energiforbrug til fremstilling af bygninger, typisk af størrelsesordenen 10-15% af det totale forbrug.

Forudsætningerne for denne rapports behandling af energiforbrug er analog til dem, der gælder i [80.0]. D.v.s. at der med energiforbrug menes:

forbrug af kemisk bundet brændsel, omregnet ved hjælp af brændslets nedre brændværdi.

Energiforbruget inkluderer også de konverteringstab, der opstår ved omformning af primær energi til f.eks. fjernvarme og elektricitet.

For elektriciteten er konverteringsfaktoren 2.9.

I det følgende vil de væsentligste aktiviteter på byggepladsen blive beskrevet med hensyn til energiforbrug. Dette sker først og fremmest på grundlag af oplysninger fra eksisterende byggerier og tekniske data for materiel.

4.1 Jordarbejde

Jordarbejde defineres her som:

"en aktivitet på byggepladsen, hvorved jordmængder graves op, flyttes, jævnes ud eller fyldes i huller".

Brændselsforsyningen til disse operationer er næsten udelukkende baseret på dieselolie, der er motorbrændstof i alt større entreprenørmateriel, som f.eks. gravemaskiner, dozere, gummi hjulslæssere, trucks, dumpere eller lastbiler.

Fælles for de forskellige slags entreprenørmateriel er, at olieforbruget med god tilnærmelse er lineært afhængigt af effektforbruget [70.0]. Som en gennemsnitsværdi kan angives 0.15 l olie/HK(DIN)·h eller 1.55 kW/HK(DIN).

Indføres nogle faktorer, som tager højde for maskinens udnyttelsesgrad, kan der beregnes typiske energiforbrug i forbindelse med de forskellige operationer.

Der indføres da først en størrelse, som kaldes driftskapaciteten, f_d . Driftskapaciteten beregnes som det præsterede arbejde divideret med driftstiden svarende til, at maskinen arbejder med gennemsnitshastighed. Denne størrelse vil være typisk for hver operation.

Desuden indføres en faktor, effektivitetsfaktoren, der siger noget om, hvor godt maskinens effekt udnyttes. Effektivitetsfaktoren, f_e , beregnes som forholdet mellem den tid, maskinen ville have brugt, hvis den havde kørt med fuld effekt hele tiden, altså en fiktiv tid, og driftstiden.

Energiforbruget kan da udtrykkes som

$$E = \frac{1,55 P f_e}{f_d} \quad \text{hvor}$$

E er energiforbruget pr.arbejde, kWh/vfm³*

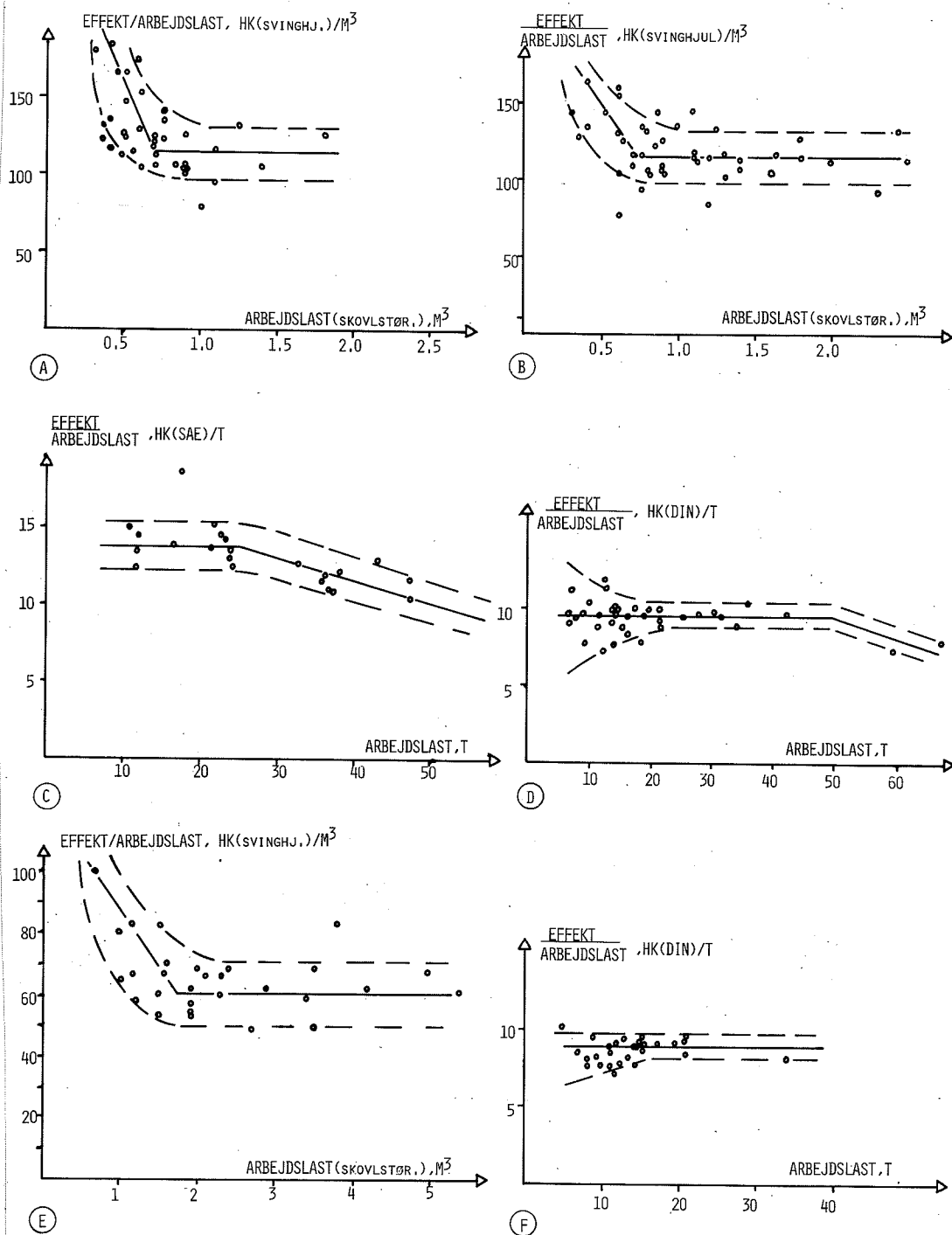
p er maskinens maksimaleffekt, HK(DIN)

f_d er driftsfaktoren, vfm³/h

f_e er effektivitetsfaktoren, dimensionsløs.

Det er altså nødvendigt at bestemme værdier for P, f_d og f_e for det mest benyttede entreprenørmateriel. Til den ende har brochurer og andre tekniske oplysninger fra firmaer, der fremstiller entreprenørmateriel, været grundlag for en fastsættelse af værdier for P.

* vfm³, virkelig fast volumen, målt mens jorden endnu er intakt.



Figur 4.1.1:

Afbildninger af forholdet mellem maksimaleffekt og arbejdslast som funktion af arbejdslasten for

- A: Gravmaskiner på hjul
- B: Gravmaskiner med bælte
- C: Scrapere
- D: Dozere
- E: Gummehjulslæssere
- F: Bæltetraktorer med skovl.

Kilde: [77.0].

En svensk statistisk undersøgelse [68.0] giver sammenhængen mellem driftskapaciteten og arbejdslasten* for maskinerne. Af brochurematerialet fremgår endvidere maksimaleffektens sammenhæng med arbejdslasten.

Ved af afbilde forholdet mellem maksimaleffekt og arbejdslast som funktion af arbejdslasten, kan der konstateres områder for alle maskintyper, hvor forholdet er konstant, se figur 4.1.1. Af disse kurver kan der således bestemmes en tilnærmet værdi for forholdet mellem maksimaleffekt og arbejdslast.

Forholdet mellem driftskapaciteten og arbejdslasten vil for nogle maskiner være konstant. Dette kan f.eks. ses af figur 4.1.2.

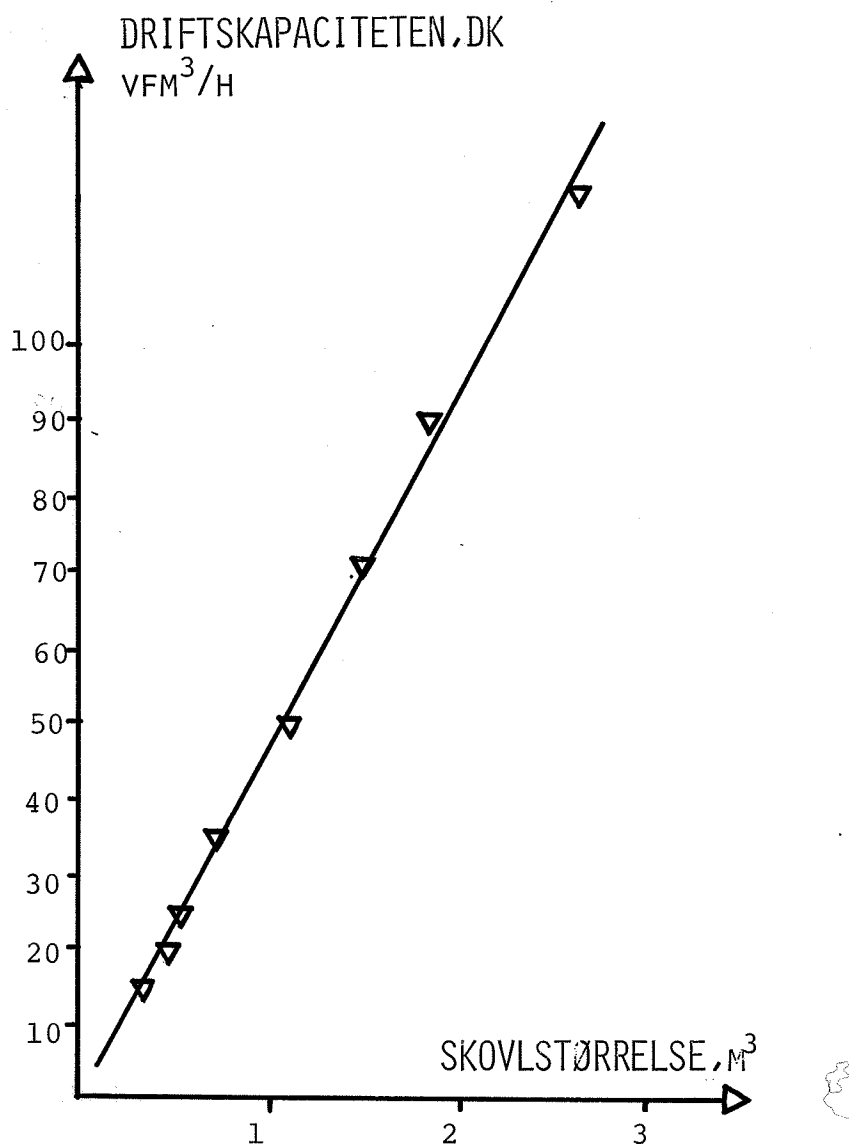
For de kombinerede grave- og transportmaskiner kan sammenhængen imidlertid ikke udtrykkes så enkelt. I tabel 4.1.1 er angivet nogle tilnærmelser til potensfunktionsudtryk for den slags entreprenørmateriel, som er fastlagt ud fra værdierne angivet i [77.0]. For nogle af de specifikke maskiner kunne en sådan sammenhæng ikke findes, idet variationerne med hensyn til f_d snarere syntes tilfældig.

	<u>maksimal effekt</u> arbejdslast	<u>driftskapacitet</u> arbejdslast	<u>maksimal effekt</u> driftskapacitet
	HK(DIN) / (÷)	vfm ³ /h / (÷)	HK(DIN) / vfm ³ /h
Gravemaskiner	120	46	2.61
Dozere	9.5	33(L) ^{-0.6}	0.29 L ^{-0.6}
Scrapere	12.5	36(L) ^{-0.5}	0.35 L ^{+0.5}
Bæltetraktor m.skovl	9.0	-	-
Gummihjuls- læssere	65	-	-

Tabel 4.1.1:

Sammenhæng mellem maksimaleffekt, driftskapacitet, arbejdslast og transportafstand L for nogle typiske entreprenørmaskiner. Tilnærmede funktioner efter værdier i [77.0].

* Arbejdslasten er en karakteristisk værdi, der angiver maskinens arbejdsområde med hensyn til læseevne, skovlsthørrelse mm.



Figur 4.1.2:

Driftskapaciteten som funktion af arbejdslasten
for gravemaskiner efter [68.0].

Med det anførte brændselsforbrug fås da følgende ligninger til bestemmelse af E:

$$\text{Gravemaskiner: } E = 1.55 \cdot 2.61 f_e = 4.05 f_e$$

$$\text{Dozere: } E = 1.55 \cdot 0.29 f_e L^{0.6} = 0.45 f_e L^{0.6}$$

$$\text{Scrapere: } E = 1.55 \cdot 0.35 f_e L^{0.5} = 0.54 f_e L^{0.5}$$

Fastlæggelsen af effektivitetsfaktoren, f_e , er nok den allersværeste. En del af tiden vil motoren gå i tomgang, en del af tiden vil motoren køre med maksimal effekt, og resten af den effektive tid vil motoren være mere eller mindre belastet. Desuden vil motoren i en del af driftstiden stå stille. I tabel 4.1.2 er der gjort forsøg på at fastlægge disse andele af driftstiden nærmere.

Motorens belastning	tidsandel	bidrag til effektivitetsfaktor
maksimal effekt	0.2-0.7	0.45
reduceret effekt	0.2-0.8	0.15
tomgang	0 -0.3	0.02
slukket	0 -0.2	0.0
ialt	1.00	0.62

Tabel 4.1.2:

Skøn over entreprenørmaskiners typiske effektbelastning i driftsperioden.

Der vælges at benytte effektivitetsfaktoren i tabel 4.1.2 for alt entreprenørmateriel til jordarbejde, hvorved energiforbruget bliver:

$$\text{Gravemaskiner: } E = 2.5 \text{ kWh/vfm}^3$$

$$\text{Dozere: } E = 0.28 L^{0.6} \text{ kWh/vfm}^3 \quad 25 < L < 100$$

$$\text{Scrapere: } E = 0.33 L^{0.5} \text{ kWh/vfm}^3 \quad 50 < L < 1000$$

hvor L indsættes i meter og betegner den gennemsnitsafstand, jorden skal transporteres og 25 m < L < 1000 m.

Fra [80.0], afsnit 2 om transport og fra [74.0] kan hentes:

Lastbiler	:	$E = 1.10 \text{ kWh/vfm}^3 \text{ km}$
Dumpers (1 m^3)	:	$E = 5 \text{ kWh/vfm}^3 \text{ km}$
Dumptrucks (10 m^3):	$E = 2$	$\text{kWh/vfm}^3 \text{ km}$

Der kan ved andre betragtningsmåder opstilles måske endda noget afvigende udtryk for energiforbruget ved jordarbejde. På baggrund af jordarbejdets ringe bidrag til det akkumulerede energiforbrug til boliger, jvf. side 63, er der ikke gået mere i detaljer her, og de tilnærmede empiriske udtryk ovenfor benyttes i de senere beregninger.

Litteratur:

- [68.0] "TRANSPORTER VID BYGGNADS- OCH ANLÄGSARBETEN I" IVA-TEK-meddelande nr. 66, Sverige 1968
- [70.0] Peurifoy:
"CONSTRUCTION PLANNING, EQUIPMENT AND METHODS" MacGraw Hill, USA, 1970
- [74.0] Bent Elbek:
"ENERGI, ENERGI, ENERGIKRISE" Munksgård, Danmark 1974
- [77.0] Erling Eiken:
"KOMPENDIUM I ANLÆGSTEKNIK, ENTREPRENØRMATERIELDATA" Instituttet for Anlægsteknik, DTH, Danmark 1977
- [80.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULERED E ENERGIFORBRUG VED FREMSTILLING AF BOLIGER" Rapport nr. 137, Instituttet for Husbygning, DTH, Danmark 1980.

4.2 Udtørring af råhuset

Når man bruger materiale til råhuset, som opnår styrke gennem en hærdeproces i vandig atmosfære, vil der, når råhuset er afbundet, ofte være en restfugtighed, som må fjernes, inden de efterfølgende byggeaktiviteter kan påbegyndes. Dette skyldes hovedsagelig, at der til råhuskomplettering er en tradition for at anvende fugtfølsomme materialer, som f.eks. træ, maling og bygningsplader, der kræver en vis minimumsfugtighed i konstruktionerne og den omgivende luft for at sikre tolerancer, vedhæftning og formstabilitet.

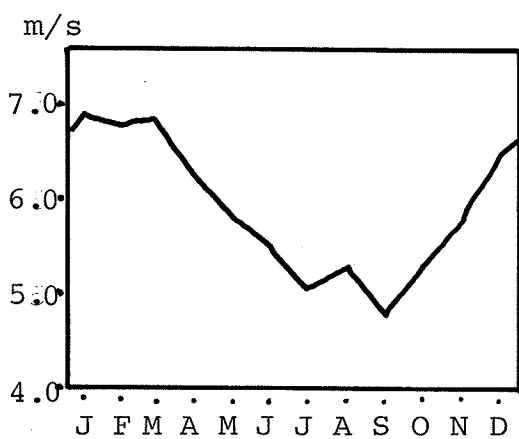
I tidligere tider blev byggetidspunktet afpasset efter årstiden, således at den nødvendige udtørring af råhuset kunne foregå naturligt. Man sigtede da efter, at råhuset netop blev færdigt i foråret og de tidlige sommermåneder, hvor luftfugtigheden i det fri er lavest, lufttemperaturen er stigende og vindhastighederne høje.

Af arbejdspolitiske grunde søgte man i 1950'erne at indføre en sæsonudjævning af byggeaktiviteterne, hvilket medførte behovet for kunstig udtørring i vinterperioden. Dertil kommer, at forrentning af byggelån idag belaster byggeøkonomien betragteligt og ofte søges udtørringen forceret for at forkorte byggeperioden.

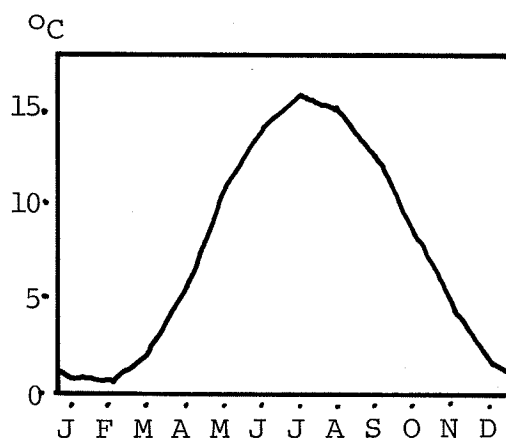
Til dette formål kan forskellige kunstige udtørringsmetoder anvendes, der kræver mere eller mindre energi.

Samtidig må der inddrages noget, man kunne kalde restudtørringen, d.v.s. udtørringen af den sidste fugtighed, indtil materialernes fugtindhold er i balance med rummets relative fugtighed, for at kunne sammenligne forskellige bygningers energiforbrug. Denne restudtørring foregår som regel i den første del af driftstiden, hvor man må bruge ekstra meget varme for at uddrive den overskydende fugt. Sådanne problemer er mere eller min-

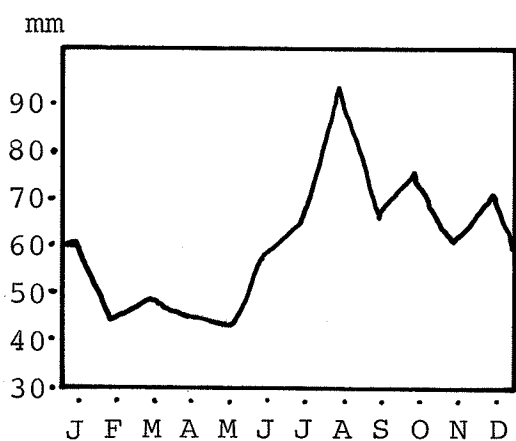
MÅNEDSMIDDELVÆRDIER for



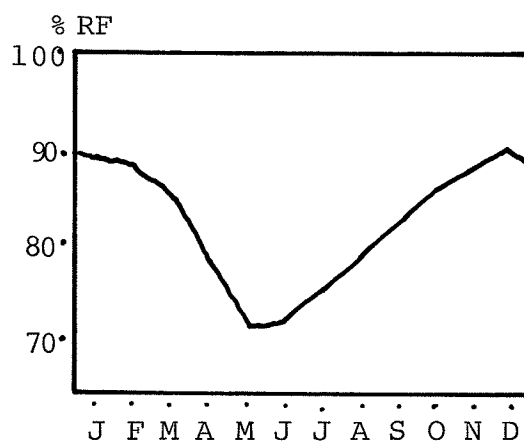
Vindstyrke i VAMDRUP
1886 - 1925



Lufttemperatur i VAMDRUP
1886 - 1925



Nedbør i VAMDRUP
1886 - 1925



Relativ luftfugtighed
25 års målinger på
Landbohøjskolen

Figur 4.2.1:

"Danmarks klima".

Det danske Meteorologiske Institut, Gads forlag 1933.

dre udtalte for forskellige materialevalg til husets konstruktioner. Et stålskelethus vil have et lille restudtørringsbehov, mens et muret hus vil have et stort restudtørringsbehov. Den energi, der kræves for at drive den sidste fugt ud, er i de fleste tilfælde proportional med den mængde vand, der skal fjernes. Der skal tilføres energi til fordampning af vandet og også til løsrivelse af vand fra dets bindinger til materialet. I tabel 4.2.1 er fugtbindingsenergien for forskellige materialer givet. Forøgelsen af transmissionstabet på grund af fugtens indflydelse på λ -værdien er med vore dages isoleringsstandard af mindre betydning.

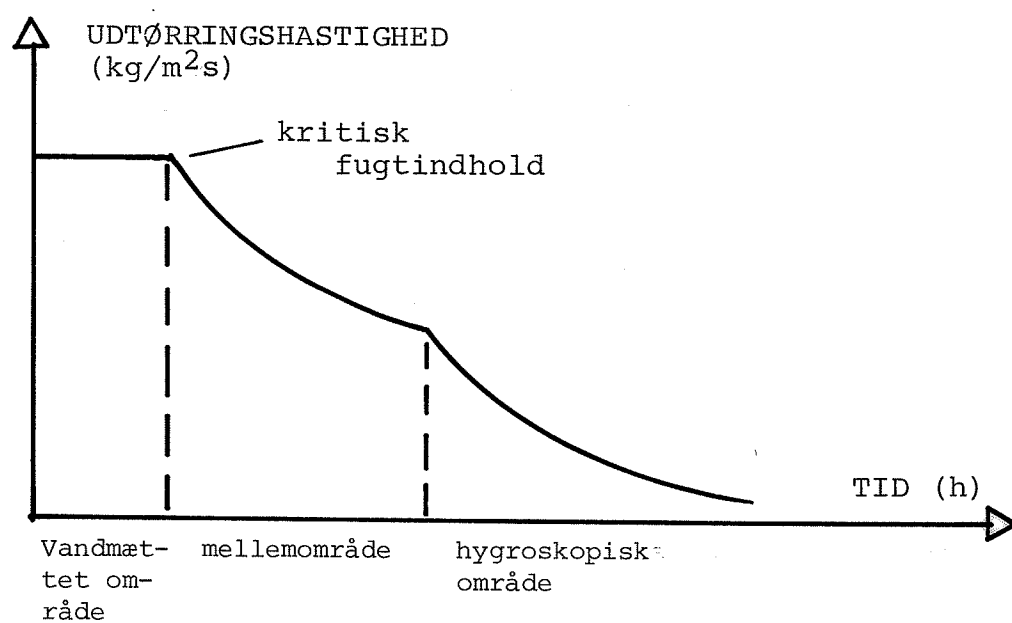
	MJ/kmol	Wh/kg vand
Beton	6,3-7,2	100-110
Klinkebeton	8,7	135
Asbestcement	8,1	125
Kalksandsten	6,4	100
Porebeton	5,8	90
Tegl	5,8	90
Træ	4,3	65
Mineraluld	8	125

Tabel 4.2.1:

Fugtbindingsenergien, Nettoadsorptionsvarmen fra forskellige materialer efter [72.0]. Fordampningsvarmen er 625 Wh/kg vand.

Restudtørringen sker i materialernes hygroskopiske område og foregår så langsomt, at der ikke kræves ekstra energi til opretholdelse af den drivende kraft for fugttransporten gennem materialet, damptrykforskellen. Af tabel 4.2.1 ses det, at energiforbruget til restudtørring er 0,69-0,76 kWh/kg vand.

I de tilfælde, hvor der er behov for kunstig udtørring, kan fugtindholdet i materialerne være



Figur 4.2.2:

Udtørningshastighedens principielle afhængighed af tiden efter [67.0]. Efter uendelig lang tid er materialets fugtindhold i ligevægt med luftens relative fugtighed.

så stort, at overfladen er vandmættet. Vandtransporten sker da ved kapilartransport og direkte fordampning oftest kombineret med konvektionsudtørring. På et tidspunkt er så meget vand fjernet fra overfladen, at materialets fugtindhold er nået ned under det såkaldte kritiske fugtindhold. Derefter sker fugttransporten ved en kombination af kapilar- og damptransport frem til overfladen. Når den vandmættede fugtfront i materialet er forsvundet, foregår fugttransporten alene som damptransport; vi er kommet ned i det hygroskopiske område.

I langt de fleste tilfælde er materialernes fugttilstand på byggepladsen enten i mellemområdet eller i det hygroskopiske område. I de tilfælde, hvor materialet endnu er vandmættet på overfladen, kan selv en moderat naturlig udtørring, på grund af den høje udtørringshastighed, nedbringe fugtindholdet til en tilstand i mellemområdet.

I dette område er den vigtigste begrænsende faktor for udtørringen den hastighed, hvormed vanddampen kan transporteres frem til overfladen. En af de grundlæggende love for vanddamptransport kan beskrives som [69.0]:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + d \frac{\partial^2 p}{\partial x^2}, \text{ hvor}$$

$\rho \frac{\partial u}{\partial t}$ = den fjernede vandmængde, $\text{kg/m}^3 \text{ s}$

d = diffusionstallet, kgm/Ns

p = vanddamppartialtryk, N/m^3 .

Grænseværdierne i vandmætningsfronten og ved overfladen for det partielle vanddampptryk, p , ændres ikke, således at størrelsen $\frac{\partial^2 p}{\partial x^2}$ kun afhænger af afstanden mellem vandmætningsfronten og overfladen. Udtørringshastigheden kan da for ligedannede konstruktioner siges at være proportional med materialets diffusionstal.

Den kunstige udtørring kræver energi til følgende formål:

- a) Opretholdelse af reduceret damptryk ved overfladen. Dette kan opnås ved at opvarme luften eller ved at tilføre ventilationsluft med lavere damptryk.
- b) Fordampning af frit vand.
- c) Løsrivning af hygroskopisk vand.

I praksis går langt det største forbrug ved kunstig udtørring til opretholdelse af det lave damptryk i rumluften. I meget grove træk bliver energiforbruget derfor proportionalt med udtørringstiden og dermed omvendt proportionalt med materialets diffusions-tal, idet den nødvendige varmestrøm til fastholdelse af rumluftsbetingelserne her kan betragtes som konstant med tiden.

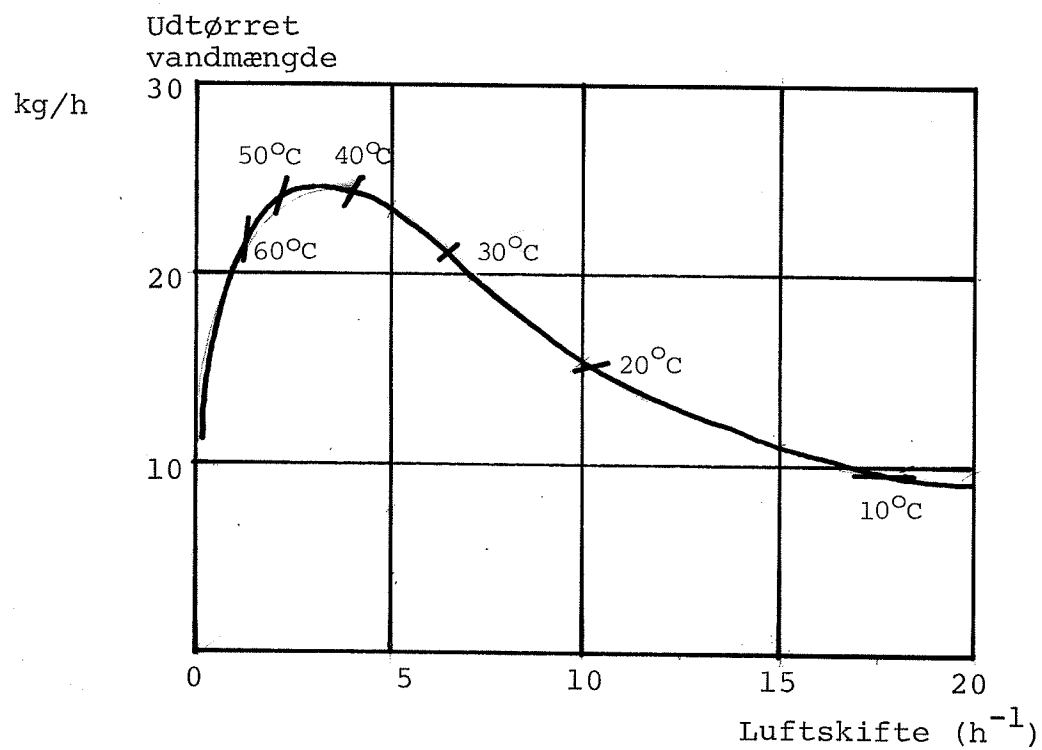
	d kgm/MN s	MN s/kgm l/d
Beton	0,10	10
Mørtel	0,25-0,30	3,1-4
Tegl	0,35	2,9
Porebeton	1,10	0,9
Klinkebeton	1,6	0,6
Kalksandsten	0,35	2,9
Asbestcement	0,55	1,8
Træ	0,28-0,40	3,0

Tabel 4.2.4:

Diffusionstallet for vanddamp for forskellige materialer, efter [67,0].

Udtørringshastigheden kan i visse tilfælde begrænses af risikoen for revnedannelser og svinddeformationer i materialerne.

Som tidligere nævnt kan de nødvendige udtørringsbetingelser opnås ved en kombination af luftudskiftning og luftopvarmning.



Figur 4.2.5:

Udtørringshastigheden ved varierende luftskifte og fastholdt varmetilførsel 50000 kcal/time. Lufttemperaturerne er også angivet. Konstruktionerne er pudsede teglvægge [68.0].

[68.0] angiver, hvorledes udtørningshastigheden varierer med luftskiftet, når varmetilførslen holdes konstant (se figur 4.2.5).

Af figur 4.2.5 ses det, at den bedste virkning opnås ved et luftskifte på ca. 3 h^{-1} i dette tilfælde. Dette svarer til et energiforbrug til udtørring på 2.3 kWh/kg vand, idet elforbruget til ventilation negligeres.

Til sammenligning kan nævnes, at udtørring i driftsperioden kræver 0.75 kWh/kg vand. Den store forskel skyldes naturligvis, at man ved den kunstige og forcerede udtørring får et unødigt varmetab, ved at ventilationsluften skal opvarmes så kraftigt, - samtidig med at varmen ikke gør anden nytte end udtørringen.

Dette varmetab kan undgås ved at benytte sig af kondensationstørring. Denne metode er baseret på en ventilator, der leder rumluften forbi en varmepumpe, hvor noget af luftens fugt kondenserer på varmepumpens køleflade, og den affugtede luft ledes så forbi varmepumpens varmeplade og opnår sin oprindelige temperatur igen. På denne måde opsamles luftfugten som væske uden tilførsel af varme. Fra [79.0], afsnit 3.7.2, kan ses, at energiforbruget til denne form for udtørring er af størrelsesordenen 1.5 kWh/kg vand for trætørring. Praksis har vist, at denne udtørringsmetode kun har fordele fremfor traditionelle, dersom råhuset er helt lukket, og luftskiftet kan kontrolleres meget nøje.

Hvor megen udtørring er der da brug for ?

Erfaringsmæssigt kan der sættes maksimumgrænser for konstruktionernes fugtindhold, når overflader skal kunne males, tapetseres, der skal opsættes beklædning eller lægges trægulve. Denne grænseværdi kan angives til 3% for beton og 5% for murværk eller letbeton.

	Fugtind- hold ved indbygning. kg/m ³	Heraf bin- des kemisk kg/m ³	Krav til fugtind- hold kg/m ³	Gennem- snitligt overskud kg/m ³	Konvek- tions- tørring kWh/m ³	Ligevægts- fugtighed 50%RF kg/m ³	Restud- tørring kWh/m ³
pladsstøbt beton	150-200	55-75	<70	40	225	30	30
do. m. superpl. tilsætningsmiddel	100-140	55-75	<70	0	0	30	20
Præfabr. vægge	70-110	0	<70	20	115	30	30
Præfabr. dæk	70-90	0	<70	10	55	30	30
Puds. teglvæg K-mørt.	110-140	÷11	<90	35	85	10-15	65
Puds. teglvæg C-mørt.	110-140	30	<90	5	60	10-15	55
Kalkmørtel	280-320	÷30	<90	210	525	10	80
Cementmørtel	280-320	80	<90	130	350	30	45
Kalksandstensvæg	140-180	÷6-+16	<90	65	150	10	60
Klinkebetonstensvæg	170-200	÷5-+12	<40	140	175	25	11
Porebetonstensvæg	160-200	÷5-+12	<35	140	190	20	11
Betonstensvæg, pudset	220-260	÷9-+24	<45	185	305	25	15
Porebetonelement	110-130	0	<30	90	105	20	8
Klinkebetonelement	110-130	0	<30	90	90	25	4
Kalksandstenselement	100-140	0	<100	20	45	10	65
Træ	60	0	<40	20	45	40	0

Tabel 4.2.6.6:

Udtørringsenergiforbrug for 15 cm vægge. Udtørring fra begge sider.

Al denne baggrundsviden er benyttet til at opstille en gennemsnitlig værdi for energiforbruget til kunstig udtørring af nogle materialer. Disse værdier må betragtes med den usikkerhed, som skyldes de tidligere gjorde antagelser og også de nedenfor gjorde forudsætninger.

- a) Udtørringsforløbet foregår alene som vandtransport ved diffusion i materialet,
- b) Varmeforbruget er omvendt proportionalt med materialets diffusionstal.
- c) Varmeforbruget er proportionalt med den mængde vand, der skal udtørres.
- d) De gennemsnitlige værdier for de indbyggede vandmængder i konstruktionerne er dels indhentet fra firmaoplysninger, dels beregnet og skønnet udfra blandingsrecepter, kritisk fugtindhold m.m.
- e) Der foregår ingen naturlig udtørring.
- f) Energiforbruget $E = (k_1 \frac{1}{d} + k_2) W$ (kWh/m³ materiale)
 hvor W = udtørringsvandmængde (kg/m³)
 d = diffusionstal (kgm/N s)
 $k_1 = 0,49 \frac{\text{kWhm}}{\text{MN s}}$ for varme-/konvektionsmetoden
 $k_2 = 0,73 \frac{\text{kWh}}{\text{kg vand}}$

Tallene i tabel 4.2.6 (på venstresiden) er teoretiske værdier, som kan ændre sig væsentligt, alt efter hvorledes nedbør og naturlig udtørring, dels ved oplagring i det fri og dels på byggepladsen, ændrer komponenternes fugtindhold. I specielt ugunstige tilfælde må man mangedoble de forbrug, der er angivet i tabellen for at opnå fornuftig udtørring. Der er således i praktiske tilfælde konstateret forbrug, der er fem gange så stort, som angivet i tabellen. Under specielt gunstige omstændigheder kan man nøjes med naturlig udtørring og måske endda opnå ligevægtsfugtforhold, allerede inden boligen tages i brug.

Der må dog peges på nogle generelle ting. Konstruktioner, hvor der anvendes kalkmørtler, kræver altid energi til udtørring, uanset om bygningen er udtørret tilstrækkelig ad naturlig vej. Dette skyldes, at mørtlen afgiver kemisk bundet fugt under hærdeningen, og denne proces går meget langsomt. Man regner således med, at et murstenshus først er udtørret helt efter mindst 1 år. Udtørring af det kemisk bundne vand er dog kun af størrelsen $5 \text{ kWh/m}^3 - 8 \text{ kWh/m}^3$ for murværk med ren kalkmørtel.

I nogle tilfælde er man interesseret i at sænke fugtindholdet i murværk til en lavere værdi end de angivne 5%, f.eks. hvis man indbygger meget fugtfølsomt træ i huset. Derved skubbes en del af rest-udtørringen over på en kunstig udtørring, hvilket øger de angivne tal betydeligt for murværk. Er maksimalkravet 1.5% fugtindhold, kræves der et energiforbrug til kunstig udtørring af størrelsesordenen $75 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$ for en upudset halvstensvæg.

Endelig bør det nævnes, at de tal, der ligger til grund for energiforbruget til udtørring fra [68.0], er målt under kontrollerede forhold. Forbruget må i praksis antages at ligge højere, afhængigt af hvor meget råhuset er lukket m.m. Udelufttemperaturen har også en betydelig indflydelse på dette forbrug, idet luften ved stigende udgangstemperatur kan påtvinges lavere damptryk.

Eksempel 4.2.1:

Fra et konkret boligbyggeri i 2 etager bestående af præfabrikerede blokke af rækkehuse er værdierne for materialeforbrug fra skemaet på næste side.

For et tilsvarende byggeri, d.v.s. samme byggesystem, samme byggetid, samme antal etager og størrelse, hvor der blev gennemført kunstig udtørring, er konstateret forbrug på $60-90 \text{ kWh/m}^2$, altså lidt højere end beregnet her.

	Indbyggede materialer m^3/m^2	Udtørrings- forbrug $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$	Energi- forbrug $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$
Præfab.vægge	0.20	115	23.0
Præfab.dæk	0.11	55	6.1
Murværk	0.01	110	1.1
In situ beton	0.08	225	18.0
Træ	0.10	45	4.5
Gasbetonelem.	0.02	105	2.1
Ialt			54.8



Der kan i øvrigt henvises til afsnit 4.8, hvor en sammenligning mellem forskellige byggerier er vist. Det fremgår heraf, at traditionelt muret byggeri har et betydeligt større energiforbrug til udtørring end f.eks. montagebyggeri. Dette skyldes først og fremmest det store vandoverskud i de in-situ støbte dæk. Dette vandoverskud blev tidligere fjernet ved naturlig udtørring, idet byggeriet ofte lå stille i et par måneder, når råhuset var færdigt.

Denne rapport søger at afdække energiforbruget på byggepladsen under ens betingelser for alle materialevalg, også med hensyn til byggehastighed. Tænker man sig, at en byggeafbrydelse på et par måneder kan gennemføres for alle byggerier, vil udtørringens energiforbrug blive minimalt for ethvert materialevalg.

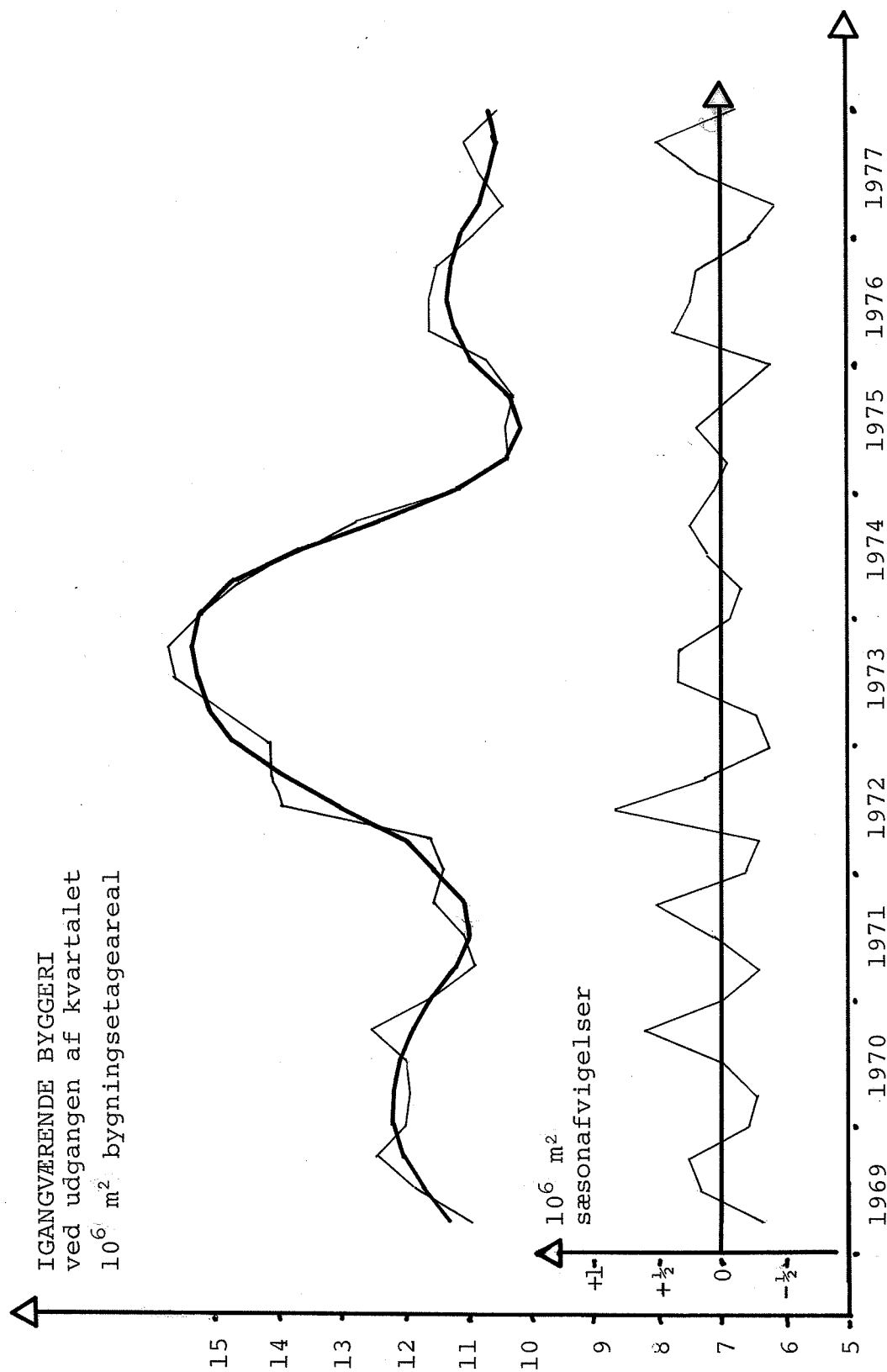
Litteratur:

[69.0] Bo Adamson m.fl.:

"BYGGNADSTEKNISKE FUKTPROBLEM"

Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen
för Byggnadsteknik, Sverige 1969.

- [33.0] "DANMARKS KLIMA"
Det danske Meteorologiske Institut,
Gads Forlag, Danmark 1933
- [50.0] Vagn Korsgaard:
"KUNSTIG UDTØRRING AF NYBYGNINGER"
Ingeniøren, vol. 59, Danmark 1950.
- [72.0] Lennart Ahlgren:
"FUKTFIXERING I PORÖSA BYGGNADSMATERIAL"
Tekniska Högskolan i Lund, Institutionen
för Byggnadsteknik, Sverige 1972.
- [68.0] L.E. Nevander:
"FUKT"
Lunds tekniska Högskola, Sverige 1968
- [67.0] P. Lund Hansen:
"FUGTTRANSPORT I BYGGEMATERIALER"
Laboratoriet for Varmerisolering, DTH,
Meddelelse nr. 15, Danmark 1967.
- [73.0] Georg Christensen:
"BYGGEMATERIALERS FUGT- OG TEMPERATURBE-
VÆGELSER"
Særtryk af Bygningsindustrien no. 6, 1973
Danmark 1973.
- [79.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULERED E ENERGIFORBRUG VED FREM-
STILLING AF BYGGEMATERIALER"
Rapport nr. 134, Instituttet for Husbygning,
DTH, Danmark 1979.
- [79.1] Lars-Olof Nilsson m.fl.:
"BYGGFUKT I BETONPLATTA PÅ MARK, TORKNINGS-
OCH MÄTMETODER, DEL 1"
Udkommer formodentlig fra Byggforskningen
1979, Sverige 1979.
- [79.2] Gösta Andersson:
"BYGGTORKENS UTVECKLING: FRÅN KOKSGRYTA
TIL AVFUKTARE"
Byggmästaren nr. 9, Sverige 1979.



Figur 4.3.0:

Igangværende byggeri ved udgangen af kvartalet, Danmarks Statistik, 1971-1978.

4.3 Vinterforanstaltninger

Vinterbyggeri blev for alvor taget i brug i begyndelsen af 1950'erne, efter at erfaringerne fra et storstilet forsøgsarbejde, udført af Statens Byggeforskningsinstitut, var blevet udbredt. Vinterbyggeri må ligesom kunstig udtørring ses som et led i rationaliserings- og industrialiseringsudviklingen, der fandt sted inden for byggesektoren på det tidspunkt.

I starten havde både vinterbyggeriet og den kunstige udtørring et klart samfundsøkonomisk sigte, som afhjælpning af boligmangelen og den traditionelle vinterledighed i byggesektoren. Idag er nødvendigheden af vinterbyggeriet og den kunstige udtørring ikke blot samfundsbettinget, men også privatøkonomisk på grund af det høje renteniveau og dermed byggeudgifternes større følsomhed over for ændringer i byggetiden. Det er da også karakteristisk, at netop vinterbyggeri og kunstig udtørring ofte foregår samtidig, og det kan være svært at adskille energiforbrugene hidrørende fra hver af disse foranstaltninger i sådanne situationer.

Vinterforanstaltninger er endnu mere afhængige af vejret end den kunstige udtørring, da de ofte skal gennemføres, mens råhuset endnu er åbent.

Af figur 4.3.0 ses det, at det igangværende byggeri ændrer sig gennem året som en art sinussvingning - perioden 1 år -. Den gennemsnitlige amplitude er af størrelsesordenen $0.3-0.35 \cdot 10^6 \text{ m}^2$ eller 2.5-3% af det totale byggeri. Dette svarer til, at 4-5% af byggeriet lægger sin byggeperiode i sommerhalvåret og undgår dermed vinterbyggeri helt. Ud af de resterende 95% foregår 56% i sommerhalvåret og 39% i vinterperioden, 1. november - 31. marts. Der er altså i gennemsnit vinterbyggeri på ca. 40% af byggeriet taget som mængde og tidsrelateret. Hvor stor en del af de 40%, der er råhusarbejder eller

færdiggørelse, når råhuset er lukket, kan ikke uddrages af Danmarks Statistik.

Den gennemsnitlige byggetid var 1-1.1 år i den i figur 4.3.0 viste periode.

Der vil i det følgende blive givet nogle eksempler på energiforbruget i forbindelse med vinterbyggeri for derigennem at fastlægge grænseværdier for vinterbyggeriets energiforbrug.

Regnskabsmæssigt - mellem bygherre og entreprenør - opdeles vinterforanstaltninger i ordinære og ekstraordinære foranstaltninger. De ordinære er økonomisk bundne i kontraktforholdene og "dekreter" fra Boligministeriet, mens de ekstraordinære vinterforanstaltninger afregnes efter forhandling. Ud fra et energisynspunkt er der ingen fornuftig grund til at skelne mellem ordinære og ekstraordinære forbrug. Energiforbrugene vil derfor i det følgende gælde både ordinære og ekstraordinære vinterforanstaltninger.

"Faste udgifter"

Til de faste udgifter, der afføder energiforbrug, hører

- etablering af belysning
- etablering af opvarmningsmateriel
- leje eller køb af afdækningsmaterialer
- leje eller køb af vintertelt.

Fra [76.0] fås, at energiforbruget til "teknisk materiel" er af størrelsesordenen 0.4 kWh/kr (1974) for engangsmateriel og 0.3 kWh/kr (1974) for materiel benyttet flere gange - se eksempel 4.3.1. Disse værdier er benyttet i analyserne, som refereres i de senere eksempler, når der er tale om udgifter til etablering af belysning, opvarmningsaggregater m.m. Energiforbruget til afdækningsmaterialer og etablering af vintertelte beregnes på grundlag af materialeindhold.

"Variable udgifter"

Energiforbrugene hørende til de variable udgifter er først og fremmest brændselsforbrug, tilsætningsmidler og ekstra energiforbrug til varm beton m.m.

Eksempel 4.3.1:

Det indirekte energiforbrug, som tilføres gennem energiindholdet i det anvendte materiel, er relativt små mængder og kan derfor beregnes efter følgende grove metode:

[76.0] oplyser energiforbrug på slutforarbejdningens virksamheden for tekniske installationer som:

montage af lysarmaturer	108 Wh/kr omsætning	} 1974
montage af dieselmotorer	122 Wh/kr omsætning	
montage af køleskabe	90 Wh/kr omsætning	
elektriske vandvarmere	85 Wh/kr omsætning	
automatik + hydrauliske komponenter	275 Wh/kr omsætning	

Med skøn over materialeforbruget til fremstilling af disse installationer fås et energiforbrug til fremstilling af tekniske installationer generelt på 0.4 kWh/kr i 1974-priser. Dette svarer til energiforbrug, som angivet i tabel 4.3.1 for andre tidspunkter:

kWh/kr	1965	1970	1974	1978
Engangsforbrug	0.7	0.6	0.4	0.3
Genbrug (leje)	0.45	0.4	0.3	0.2

Tabel 4.3.1:

Ækvivalent energiforbrug for tekniske installationer.

Eksempel 4.3.2:

Af overslagsberegninger, tilbudsmateriale m.m. fra et entreprenørfirma er der lavet en lille analyse af energiforbrugene i forbindelse med vinterbyggeriet på fire større elementbyggerier

i perioden 1965-70. I de tilfælde, hvor der er tale om store enkeltblokke, har man kunnet bygge med en kapacitet på 2000 m²/uge i montagen eller 800 m²/uge som gennemsnit over hele byggeperioden. De dele, hvor vinterforanstaltninger var påkrævede, tegner sig for en montagekapacitet på 1000 m²/uge. Ved tæt-lavt byggeri var kapaciteten mindre ca. 600 m²/uge over hele byggeperioden og en montagekapacitet på 750 m²/uge for det vinterramte byggeri. Ved større byggerier vil man derfor i tæt-lavt byggeri teoretisk skulle bygge under vinterbetingelser i en længere periode alt andet lige. Analysen af de fire byggerier resulterede i værdierne i tabel 4.3.2.

kWh/m ² br	1	2	3	4
<u>Materialer til</u>				
Belysning				
Opvarmning				
Afdækning				
Vintertelte				
<u>Direkte forbrug</u>				
Fjernvarme	-	-	-	32.4
Olie	14.6	42.3	17.5	64.1
Gas	-	-	0.2	3.3
Elektricitet	8.9	(10.0)	(10.0)	16.0
Varm beton	1.5	1.2	16.5	12.7
Sprit	-	-	-	0.2
Andre materialer	-	-	-	-
Kørsel m.m.	-	0.1	0.3	0.3
	~27	~56	~50	~134

Tabel 4.3.2:

Energiforbrug til vinterforanstaltninger i 4 beton-elementbyggerier (opvarmning af skurvogne ikke medregnet).

ad.1: Beregningen af disse tal er sket ved extrapolation ud fra opgørelser over vinterforanstaltningerne i de 3 første måneder af

1962-63 vinteren og nogle skøn over det videre forløb fra entreprenørens side. Byggeriet var på 138.000 m², strakte sig over 2 år og består af 3-4 etagers blokke.

ad.2: Til grund for disse tal ligger nogle overslag fra entreprenørfirmaet. Der er i disse overslag ikke taget højde for belysning og andet elforbrug. Al opvarmning skete med oliefyrede aggregater. Byggeriet strakte sig over 1½ år og omfattede 3-8 etagers blokke med ialt 76.000 m². 1967

ad.3: Dette byggeri og vinterforanstaltningerne er meget detaljeret behandlet, dog stadig som tilbudsmateriale. Heller ikke her er elektricitetsforbrug indregnet umiddelbart. Byggeriet løb over 2 år og omfattede 32.000 m² som 5-8 etagers blokke. 1973

ad.4: Dette byggeri er en tæt-lav bebyggelse på 58.000 m² i to etager. Der blev til opvarmning både benyttet elektriske ovne og oliefyrede ovne. Beregningerne er også her lavet ud fra overslag over vinterudgifterne. Det relativt store forbrug skyldes hovedsagelig bebyggelsens større udbredelse, den deraf afledte forøgelse af betonforbruget og forlængelsen af byggeperioden, som var ialt 2 år. 1973.

I en svensk analyse, [75.0], angives energiforbrugene til vinterbyggeri, inklusive udtørring, til 120-300 kWh/m² ved det mest ugunstige igangsætnings-tidspunkt. De laveste værdier gælder for det sydlige Sverige og de højeste for Nordsverige.

For at kunne give et udsagn om sammensætningen af energiforbruget i forbindelse med vinterforanstaltninger er det nødvendigt at adskille vinterforanstaltningerne i nogle typiske operationer. Det væl-

ges i det følgende at beskrive otte operationer, som forsøges givet et repræsentativt energiforbrug:

1. Belysning
2. Opvarmning af mandskabsskure
3. Betonudstøbning i vinterperioden
4. Opmuring i vinterperioden
5. Vintertelte
6. Opvarmning af bygning underfærdiggørelsen
7. Ekstraforbrug til udtørring p.g.a. vinter
8. Jordarbejder i vinterperioden.

4.3.1 Belysning

Kravene til belysning er ret forskellige, alt efter byggeaktiviteternes art. Belysningen kan deles op i orienterende belysning og arbejdsbelysning, hvor kravene typisk vil være 20-100 lux til den orienterende belysning og 50-500 lux til arbejdsbelysningen.

[79.0] angiver, at man i vintertiden normalt ikke vil tænde belysningen i mere end 4 timer pr.dag.

For optimale belysningsanlæg, som f.eks. til sportsanlæg, kan man bruge den tommelfingerregel, at belysningsniveauet kan opnås med 8-10 lumen pr.W. I praksis vil kravene til belysning på byggepladsen sjældent være opfyldt helt, hvilket ifølge [79.0] gælder for både indvendig og udvendig belysning.

Erfaringsværdier med hensyn til effektforbrug på byggepladser til belysning er det sparsomt med, men på en temmelig stor byggeplads som Grantofte (1967) var der installeret en effekt på 162 kW, hvor byggepladsarealet var ca. 40.-50.000 m² svarende til gennemsnitligt 32 lux over hele pladsen.

Et eksempel kan illustrere effektforbruget.

Eksempel 4.3.3:

En byggeplads er på 900 m², hvor der på halvdelen er igangværende arbejde. Bygningerne på grunden har et etageareal på 350 m², hvoraf halvdelen er lukkede. I denne bygningsdel foregår der færdiggørelse af lejligheder, som skønnes at kræve en indvendig belysning med 200 lux. På den anden del af byggepladsen er der dels en orienterende udenørs belysning, 20 lux, og en arbejdsbelysning på et begrænset areal, 100 m², som giver 100 lux på dette areal. Det samlede effektforbrug er da:

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Indvendig belysning: } 0.5 \cdot 350 \cdot 200 / 9 & = & 3900 \text{ W} \\
 \text{Orienterende belysn: } 0.5 \cdot 900 \cdot 20 / 9 & = & 1000 \text{ W} \\
 \text{Arbejdsbelysning} & : & 100 \cdot 100 / 9 \quad = \underline{1100 \text{ W}} \\
 & & 6000 \text{ W}
 \end{array}$$

□

Der vil i det følgende blive indført nogle meget grove tilnærmelser, der skal muliggøre en beregning af størrelsesordenen af energiforbruget til belysning.

Det antages, at belysningsintensiteten er konstant for alt byggeri, når det fordeles over bygningsarealet og fastsættes til 50 lux pr. m² bruttoetageareal. Dette svarer til en orienterende belysning, 20 lux, på et areal, der er 1½ gang etagearealet plus 100 lux på 1/5 af etagearealet.

Det antages endvidere, at belysningen er tændt 3 timer pr. "vinterdag" i perioden 1.11 - 31.3.

Når man da for et specifikt byggeri kan angive etagebruttoareal og det forventede antal vinterdage inden for byggeperioden, kan produktet af disse størrelser, F, udtrykt i m²·døgn, benyttes til beregning af energiforbruget til belysning nemlig:

$$E = 2.9 \cdot \frac{50}{9} \cdot 3 \cdot F \approx 48 \cdot F \cdot \frac{\text{Wh}}{\text{m}^2 \text{døgn}}$$

Som tidligere nævnt, er den gennemsnitlige byggetid 1.1 år.

Den gennemsnitlige varighed af vinterforanstaltningerne er derfor $1.1 \cdot 100 \text{ døgner} \sim 110 \text{ døgner}$. E bliver derfor $\sim 5 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ etage}}$.

4.3.2 Opvarmning af mandskabsskure:

Opvarmning af mandskabsskure er ligesom belysning normalt rubriceret under ordinære vinterforanstaltninger.

Dette punkt er behandlet ret indgående i [79.0], som bl.a. nævner, at opvarmningsmetoderne er dels gasopvarmning og dels elopvarmning.

For gasopvarmningens vedkommende anslås det i [79.0], at ca. 40% af skurvognene i Danmark opvarmes ad denne vej med et gennemsnitligt gasforbrug for nyere skure på 0.25-0.50 kg gas pr.døgn/pr.mand svarende til 3-6 kWh/døgn/mand.

De elopvarmede skure har en gennemsnitlig installeret effekt på 30-40 W/m² overflade eller 150-350 W/mand.

Ud fra målinger på en aktuel byggeplads er der i [79.0] konstateret et elforbrug på 2.7 kWh el pr. m² gulv pr.døgn i en periode omkring juletid. Baseret på en udnyttelse på 3*mand/m² kan energiforbruget omregnes til $\sim 23.5 \text{ kWh/mand/døgn}$.

I måleperioden var indetemperaturen i vognene konstant reguleret til 20°C ved hjælp af termostater, dog til ca. 18°C i juleferien. Udetemperaturerne var i perioden ret lave i forhold til normale år og den øvrige fyringssæson. I vintersæsonen kan man for en gennemsnitsvinter regne med en repræsentativ udetemperatur på 1.5°C, hvilket ville korrigere de ovenfor angivne 23.5 kWh/mand/døgn til 19.5 kWh/mand/døgn.

*) [79.0] angiver den totale skurvognpark til 460000 m² gulvar. som benyttes af en arbejdsstyrke på omtrent 150000 mand.

Fra en anden byggeplads er der konstateret et gasforbrug for ældre gasopvarmede skurvogne svarende til 13 kWh/mand/døgn.

En repræsentativ værdi for opvarmningsenergiforbruget til skurvogne i vintersæsonen kan da være

17 kWh/mand/døgn eller 3.0 kWh/mandtime.

4.3.3. Betonudstøbning i vinterperioden.

Ved betonudstøbning under lufttemperaturer mindre end 5°C er det nødvendigt at sikre, at betonens temperatur er over nulpunktet hele tiden. Det kan især være vanskeligt under selve udstøbningen, idet betonen da er helt ubeskyttet. Senere under hærdningen udvikler beton selv varme, når cement hydratiserer. Da kan det i visse tilfælde være vigtigt at sikre en vis overfladetemperatur for at undgå så store temperaturgradienter i betonen, at der dannes revner, allerede inden betonen er hærdet færdig.

For almindelige betonkonstruktioner til husbygningsbrug benyttes meget ofte cementens hydratisering til at gøre betonen frostfri. Der bruges rapidcement med en hurtig varmeudvikling, samtidig med at konstruktionerne isoleres med vintermåtter.

I de fleste tilfælde er energiforbruget til frostsikring af betonen da et varmekonsum for forhåndsopvarmning af tilslag og tilsætningsvand. Ifølge [79.0] bliver næsten al varm beton til vinterudstøbning leveret til byggepladsen som færdigblandet beton.

Energiforbruget er da fortrinsvis henlagt til færdigbetonfabrikker. På fabrikken består energiforbruget da af:

- opvarmning af tilslag, som ofte foregår ved, at tilslagssiloerne gennemblæses konstant af en varm luft, hvormed der uundgåelige er forbundet store tab.

- opvarmning af vand, som kan foregå betydeligt mere kontrolleret.
- eventuel opvarmning af den friske beton under blandingen.

Som regel kan betonen ikke opvarmes under transporten med betonkanonerne, men må da gives en ekstra varme inden transporten for at kunne sikre en given leverancetemperatur, som normalt vil være 25°C .

I [79.0] angives der et teoretisk energiforbrug til opvarmning af beton, idet der er regnet med 35% tab, på $1.3 \text{ kWh}/^{\circ}\text{C m}^3$. Ud fra dette tal skulle man ved en opvarmning på byggepladsen til 25°C fra $\sim 0^{\circ}\text{C}$ skulle bruge $32.5 \text{ kWh}/\text{m}^3$.

Oplysninger fra en betonfabrik i [79.1] angiver imidlertid et ekstraforbrug til varm beton på gennemsnitligt $145 \text{ kWh}/\text{m}^3$ for en vintersæson.

Forskellen kan dels forklares ved, at man på fabrik har et konstant forbrug til opvarmning af tilslag, som kan være forbundet med meget betydelige tab og desuden må give betonen en vis overtemperatur på $5-10^{\circ}\text{C}$ for at sikre en given leverancetemperatur. Desuden vil de i [79.0] givne tal nok være i underkanten af, hvad man i praksis vil konstatere, idet et tab på 35% er meget lille under de normalt interemistiske forhold, der hersker på byggepladser med hensyn til opvarmning.

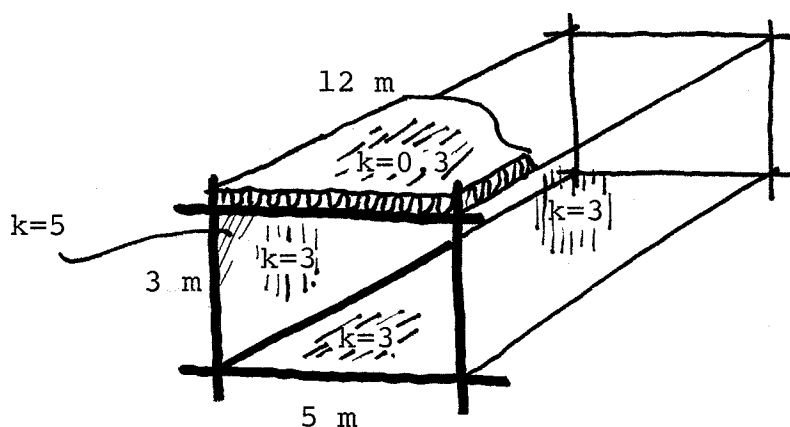
Når betonen er udstøbt, kan der i visse tilfælde være brug for en løbende opvarmning, nemlig, i de tilfælde hvor en isolering af betonen ikke er praktisk mulig, og hvor der kræves store betonstyrker i den afhærdede beton. Dette er typisk tilfældet ved undersiden af vandrette konstruktionsdele, f.eks. udstøbte betonplader. Derudover kan det være nødvendigt, når man skal udstøbe fuger mellem præfabrikerede dækelementer, hvor varmen i den udstøbte beton hurtigt afgives til de kolde elementer.

I sådanne tilfælde vil man isolere dækoverside og lukke rummet ved undersiden, der opvarmes med varmekanoner. Et alternativ kan være at indstøbe elektriske varmetråde i betonen, som da opvarmes elektrisk. Opvarmningsperioden er normalt af størrelsesordenen 4-6 døgn.

Begge de to metoder er ret energikrævende, fordi konstruktionerne er ubeskyttede på undersiden.

Det vil naturligvis være teknisk muligt også at isolere vandrette konstruktioner på begge sider. Det har blot indtil nu været for dyrt i forhold til at opvarme undersiden.

Eksempel 4.3.4:



pladetykkelse 15 cm

$t_u = -5^\circ\text{C}$

$t_i = 25^\circ\text{C}$

luftskifte 4 h^{-1}

Transmissionstab =

$$\left((60 + 2 \times 30) \times 3 + 60 \times 0.3 + 25 \times 5 \right) \times 30 = 15100 \text{ W}$$

Ventilationstab =

$$0.34 \times 4 \times 60 \times 2.5 \times 30 = \frac{6100 \text{ W}}{21.2 \text{ kW}}$$

En nyudstøbt betonplade, 15 cm tyk, der spænder 5 m fra væg til væg, isoleres på oversiden med vintermåtter. Facaderne er endnu ikke monteret, så der monteres pressenninger for åbningerne til det fri.

Med de ovenfor viste betingelser kan opvarmningsforbruget i de første 4 døgn beregnes til 226 kWh/m³ beton.

I [75.0] angives målte eksempler på opvarmning af den i eksemplet beskrevne metode, hvor der var et forbrug på 49 kWh/m² betonplade ved en udetemperatur på $\pm 11.7^{\circ}\text{C}$.

Benyttes metoden til opvarmning af præfabrikerede dæk som frostsikring af udstøbte dækfuger, bliver varmekonsumet 5000-6000 kWh/m³ udstøbt beton, hvilket synes helt grotest, jvf. nederst side 28.

Der ligger derfor store muligheder for energibesparelser på dette punkt, f.eks. ved at benytte opvarmning ved hjælp af varmetråde (se tabel 4.3.1).

Det er, som det ses af det ovennævnte, svært at sige noget generelt om energiforbruget ved udstøbning i vinterperioden.

Når der skal angives energiforbrug, må disse altså tillægges en betydelig usikkerhed.

I det følgende benyttes følgende værdier:

$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^3}$	Lodrette konstruktioner, in situ	Vandrette konstruktioner in situ	Vandrette konstruktioner præfab. pr.m ³ præf.
Varm beton	145	145	6 (varmetråde)
Vintermåtter	12	6	3
efter opvarmning	-	225	40
Ialt	~155	~375	~50

idet der er regnet med, at vintermåtter kan anvendes 10-15 gange, og at det i eksempel 4.3.4 givne tilfælde er repræsentativt for størrelsesordenen af efteropvarmningsforbruget.

	Elforbrug kWh	Betonmængde m ³	Energiforbrug kWh/m ³
Brodæk	486	7.2	196
Kældergulv	1216	19.4	182
Betonmure	558	9.4	172
Betontag*	5520	30	530
Betontag A*	1680	30	162

* På grund af måleforsøgene kørte opvarmningen i op til 33 dage, men allerede efter 7 dage blev isoleringen fjernet. Tallene for Beton A er således det forbrug, der ville have været, hvis strømmen var blevet afbrudt efter 7 dage.

Tabel 4.3.1:

Energiforbrug til elektrisk opvarmning af betonkonstruktioner med fire forsøg (modstandstråde).
Kilde [75.0].

Opvarmningsperioden normalt 4 døgn. □

Desuden vil det blive forudsat, at de ovennævnte forbrug vil være nødvendige de dage, hvor døgnmiddel-temperaturen er under 5°C, hvilket er tilfældet i gennemsnitligt 85% af vintersæsonen.

4.3.4 Opmuring i vinterperioden

Energiforbruget i forbindelse med opmuring i vinterperioden kan deles i fem forskelligartede forbrug:

- 1) Opvarmning af mørtel sker som regel ved at opvarme tilsætningsvandet ved hjælp af en el- eller gasgennemstrømsvandvarmer. Derved kan mørtelen opvarmes 5-25°C.
- 2) Brug af frysepunktssænkende middel - næsten udelukkende sprit - hvorved frysepunktet kan sænkes op til 5°C, hvilket i mange tilfælde vil være tilstrækkeligt. [79.0] angiver et forbrug på 10 l sprit/m³ mørtel/°C.
- 3) Opvarmning af sten kan være nødvendig, når man på grund af styrkekrav til mørtelen ikke kan

anvende frysepunktssænkende midler. Endvidere er det en fordel, at stenene er så tørre som muligt under murerarbejdet, så de kan opsuge overskydende vand fra mørtelen.

- 4) Det kan i sjældne tilfælde være nødvendigt at beskytte murværket mod frysning, f.eks. når det ikke har været muligt at tilsætte sprit til mørtelen, eller der er meget stærkt frostvejr, ved opvarmning af murværket.
- 5) Opvarmning af murværk og puds under pudsearbejde sker som regel kun ved indre overflade, når råhuset er delvis eller helt lukket. Da det er et krav, at temperaturerne da skal være over 0°C , kan det ved visse udeklimaforhold være nødvendigt med en interemistisk rumopvarmning ved hjælp af varmekanoner.

For et muret byggeri, som uheldigvis foregik i vinterperioden, og hvor der ikke kunne tilsættes sprit til mørtelen, blev der konstateret følgende energiforbrug:

- opvarmning af vand til mørtel	9 kWh/m ³ murværk
- opvarmning af murværk og vintertelt med varmekanoner	1195 kWh/m ³ murværk*
- vintermåtter	<u>33 kWh/m³ murværk</u>
	<u>~1240 kWh/m³ murværk</u>

* heraf formodentlig ca. 450 til vintertelt.

Dette forbrug er ret ekstremt. Sprittens brændværdi 6.6 kWh/l svarer til ca. 17 kWh/m³ murværk, når man vil sænke frysepunktet blot 1°C .

Betragtes spritten som et alternativt brændsel, svarer det til et energiforbrug - idet det jo går tabt - på omkring 85 kWh/m³ murværk, hvis frysepunktet skal sænkes til 5°C , altså betydeligt lavere end de 1240 kWh/m³ murværk.

1	Opvarmning af mørtelvand til 60°C (tørkalk+sand+vand → 25°C)	45 kWh/m ³ mørtel
1	Opvarmning af sand (lasket kalk+sand → 25°C)	100 kWh/m ³ mørtel
3	Opvarmning af sten i telte til 25°C	240-400 kWh/ton
4	Opvarmning af murværk	1150 kWh/m ³

Tabel 4.3.4.1:

Energiforbrug til opvarmning af murværk efter [75.0].

På et andet muret byggeri var vinterarbejdets energiforbrug i 1966-67 i alt fra entreprenørens side anslået til 33 kWh/m² etageareal, hvoraf murerarbejdet kun udgjorde 5-6%, altså 1.5-2 kWh/m². Det relativt lille forbrug kan naturligvis skyldes, at f.eks. olieforbruget, som udgjorde 37% af energiforbruget, gælder for byggeriet generelt, selv om det var opført under betonarbejde.

Et gennemsnitsforbrug kunne da være:

Med frysepunktssænkende middel:

Opvarmning af mørtel	10 kWh/m ³ mur
Vintermåtter	20 kWh/m ³ mur
Frysepunktssænkende midler	85 kWh/m ³ mur
	115 kWh/m ³ mur

Uden frysepunktssænkende middel:

Opvarmning af mørtel	5 kWh/m ³ mur
Vintermåtter	20 kWh/m ³ mur
Opvarmning af sten	205 kWh/m ³ mur
	230 kWh/m ³ mur

For pudsearbejde er der yderligere et forbrug til rumopvarmning, som alt efter omstændighederne vil kræve et varmekonsum på 30-70 kWh/m³ mur, når rå-

huset forudsættes lukket mere eller mindre, og ellers samme forudsætninger som i eksempel 4.3.4 er gældende. I mange tilfælde vil man dog kunne vente, til huset er helt lukket, så varmetabet til tilstødende rum bliver mindre (se da. under punkt 4.3.6).

4.3.5 Vintertelte

I nogle situationer er det nødvendigt at udføre forberedende arbejde, f.eks. tømrerarbejde, armeringsarbejde eller støbearbejde, også i vintersæsonen.

Der anvendes da i nogle tilfælde vintertelte til beskyttelse af arbejderne og materialerne. Vinterteltene opvarmes som regel ved hjælp af varmekanoner til temperaturer omkring 15-20°C.

Selve vinterteltene består normalt af stålørersbuer overdækket med pressenning og kan overdække arealer fra 30-50 m². Der findes endnu ingen faste regler for, hvornår vintertelte bør anvendes og i hvor stort omfang. Et eksempel kan give en størrelsesorden for energiforbruget.

Eksempel 4.3.5:

Et vintertelt af stålørersbuer med en spændvidde på 10 m og en længde på 20 m opvarmes med en varmekanon til 15°C ved en udetemperatur på ÷5°C. Utæthederne svarer til et luftskifte på 1 h⁻¹, og pressenningen har en k-værdi på 4 W/°C m².

Varmetabet vil da være, idet tab til jord negligeres:

$$\begin{array}{lcl} \text{Transmission} & \left(\frac{1}{2} \cdot 10 \cdot \pi \cdot 20 + 5^2 \cdot \pi \right) \cdot 4 & = 1.57 \text{ kW/}^\circ\text{C} \\ \text{Ventilation} & 1 \cdot 0.34 \cdot \frac{1}{2} \cdot 5^2 \cdot \pi \cdot 20 & = 0.27 \text{ kW/}^\circ\text{C} \\ & & \underline{1.84 \text{ kW/}^\circ\text{C}} \end{array}$$

hvorved varmeforbruget bliver

$$1.84 \cdot 20 \cdot 24 = 883 \text{ kWh/døgn} \sim 0.9 \text{ MWh/døgn}$$

Regnes dette omtrentlige tal at være gældende for det førstnævnte murede byggeri de sidste afsnit, vil det ved en gennemsnitsudetemperatur på 0°C svare til 460 kWh/m^3 af de angivne 1195 kWh/m^3 murværk. I det aktuelle tilfælde blev vinterteltet imidlertid benyttet til tømrerarbejde.

I mange tilfælde er det naturligvis kun nødvendigt at opvarme vinterteltet i arbejdstiden, f.eks. når det drejer sig om armeringsarbejde, hvilket ville svare til et forbrug, der er 3 gange så lille, som angivet ovenfor, 0.3 MWh/døgn .

Overflade/volumen-effekten vil betyde, at varmeforbruget i små telte er relativt større. For et telt, der spænder $5 \text{ m} \times 10 \text{ m}$, vil varmetabet ca. være dobbelt så stort, som angivet i eksemplet, beregnet pr. overdækket areal.

Som en meget grov værdi, svarende til opvarmning til 15°C i forhold til en udetemperatur på 0°C , kan angives et energiforbrug på $2.5 \text{ kWh/døgn pr. m}^2$ overdækket areal.

4.3.6 Opvarmning af bygning under færdiggørelsen

Under færdiggørelsen er råhuset som oftest helt lukket, og der kræves af materiale-mæssige grunde ofte en vis minimumstemperatur, ligesom der af komfort-mæssige grunde kan være ønske om en vis opvarmning. Transmissionstab i huset ligger da i samme størrelsesorden som i driftsperioden. Forskellen ligger alene i, at facadekonstruktionerne stadig indeholder en del fugt, hvorved deres k-værdi øges en smule. Desuden kan opvarmningsmetoden være mere eller mindre effektiv, og den nødvendige rumtemperatur kan være forskellig fra forholdene i driftsperioden.

Opvarmningen er som regel kombineret med et ønske om udtørring af råhuset.

Her betragtes alene den varmemængde, der kræves til opretholdelse af et acceptabelt arbejdsklima. Al op-

varmning op til $+10^{\circ}\text{C}$ betragtes som komfortopvarmning, mens opvarmning derudover betragtes som udtørring.

Varmetabet for bygninger udført efter BR77 vil typisk være $30-45 \text{ W/m}^2$ etageareal ved en dimensionerende udetemperatur på $\pm 12^{\circ}\text{C}$. Dette svarer til $17-25 \text{ W/m}^2$ etageareal som et gennemsnit for vintersæsonen.

Som et groft middeltal benyttes i det følgende et energiforbrug på $0.35 \text{ kWh/døgn/m}^2$ etageareal til opvarmning udover udtørringsbehovet under færdiggørelsen, svarende til opvarmning i 24 timer pr. døgn til en indetemperatur på 10°C og en nyttevirkning af opvarmningen på 0.7.

Færdiggørelsen af boligen, efter at råhuset er lukket, forløber normalt over en periode på $2\frac{1}{2}-4$ måneder, ret uafhængigt af byggeriets art. Som en repræsentativ værdi vil der her blive benyttet en varighed af godt 3 måneder eller 100 døgn, idet der regnes med, at man også varmer bygningerne op i week-enderne. Denne periode er den tid, der går fra råhuset er lukket, til boligen bliver beboet.

Energiforbruget til opvarmning bliver da:

$$0.35 \cdot 100 \text{ kWh/m}^2 \text{ etageareal} = 35 \text{ kWh/m}^2 \text{ etageareal}.$$

4.3.7 Ekstraforbrug til udtørring på grund af vinterforhold

Det kan synes svært at adskille energiforbruget til udtørring fra de førnævnte energiforbrug. F.eks. vil man både ved frostsikring af udstøbte betondæk og murværk og under færdiggørelsen opnå en udtørring sideløbende med opvarmningen af konstruktionerne. Det vælges derfor at se bort fra et eventuelt ekstraforbrug til udtørring på grund af vinterforhold for at kompensere for overlappningen.

Der er til dels taget højde for denne overlappning, idet der ved bestemmelse af energiforbruget til restudtørring kun er medtaget varmemeforbruget til fordampning af overskudsvandet.

4.3.8 Tørring ved tagpapklæbning

Når tagpap skal klæbes på et underlag af træfiber- eller krydsfinérplade, skal overfladen være tør. For at byggeriet ikke skal gå i stå, foretages der, hvis pladerne er blevet våde ved længerevarende regnskyl eller snefald, en tørring af pladerne med flammekastere (gas). Der har ved et konkret byggeri været benyttet denne metode, hvor der regnedes med gennemsnitligt $0.14 \text{ kg gas pr. m}^2$ samlet tagflade eller 1.75 kWh/m^2 . Hvor stor en del af tagfladen, det var nødvendigt at udtørre, kunne ikke oplyses, men 1.75 kWh/m^2 må være et minimumforbrug ved brug af flammekastere. Oplysninger fra et tagdækningsfirma siger, at gasforbruget ligger mellem 0.15 og 0.35 kg/m^2 eller 1.9 – 4.4 kWh/m^2 udtørret tagflade.

Det foreslås her at regne med en gennemsnitsværdi på 3 kWh/m^2 .

4.3.9 Jordarbejder i vinterperioden

Vanskelighederne ved jordarbejde i vinterperioden er at holde jorden frostfri, så man kan arbejde med den. Der anvendes ikke nogen form for opvarmning af jordmasser, men jorden afdækkes i nogle tilfælde med vintermåtter og må hugges op ved hjælp af trykluft-hammer, når den er frossen. Energiforbruget hertil er om muligt endnu sværere at gøre op end de hidtidige punkter.

Det er imidlertid ret små energimængder i forhold til andre forbrug, idet der som regel ikke anvendes varme.

Afdækning af jord med vintermåtter svarer alene til 0.5 – 1.0 kWh/m^2 jord. Det vælges at se bort fra ekstraenergiforbruget til jordarbejder i vinterperioden, da størrelsesordenen normalt er så lille.

	E _o Energiforbrug	f m ² /m ² Andel
1. Belysning i vinterperioden	5 $\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{ etage}}$	40%
2. Opvarmning af mandskabsskure	17 $\frac{\text{kWh}}{\text{mand d\o g n}}$	52%**
3. Tørring af tagflader	3 kWh/m ²	20%
4. Udstøbning af beton i vinterperioden		
lodrette dele in situ	150 kWh/m ³	*17%
vandrette dele in situ	375 kWh/m ³	*17%
vandrette dele præfab.	50 kWh/m ³	*17%
5. Opmuring i vinterperioden		
almindeligt murværk	115 kWh/m ³	*17%
højstyrkemurværk	230 kWh/m ³	*17%
indvendig pudsning,		
åbent råhus	130 kWh/m ³	*17%
6. Vintertelte	2.5 $\frac{\text{kWh}}{\text{d\o g n m}^2 \text{ telt}}$	20%
7. Opvarmning af bygninger under færdiggørelsen	35 $\frac{\text{kWh}}{\text{d\o g n m}^2 \text{ etage}}$	75%

Tabel 4.3.10.2:

Energiforbrug og andel af vinterramt arbejde for forskellige aktiviteter.

* For udstøbning af beton og opmuring i vinterperioden forudsættes kun vinterforanstaltninger, når døgnmiddeltemperaturen er under 5°C.

** [79.0] angiver at fyringssæsonen for vognskure er 200 døgn pr år, altså længere end vinterperioden 1.11 - 31.3..

4.3.10 Vinterbyggeriets andel af den totale byggeaktivitet

Som tidligere nævnt, kan et forsigtigt skøn over den gennemsnitlige andel af byggeaktiviteterne, der er belastet med vinterbyggeri, være 40%.

I de fleste tilfælde vil man stile efter at få lukket råhuset, inden vinteren sætter ind. Det må derfor anslås, at den største del af de 40% er færdiggørelsesarbejder, mens kun en mindre del er råhusarbejder* eller jordarbejder.

Det antages, at 65% af arbejdet i vinterperioden er færdiggørelse, mens 30% er råhusarbejder og 5% er jordarbejde.

Ud fra tidsplanlægning af byggeaktiviteterne på 5 byggepladser er det forsøgt at bestemme de tidsmæssige andele af de tre nævnte aktivitetsgrupper, som vist i tabel 4.3.10.1. Igen som et groft gennemsnit vil man få en fordeling med hensyn til jordarbejder, råhusarbejder og færdiggørelsesarbejder, som svarer til 10% : 55% : 35%.

	Ud- grav- ning	Råhus- arbej- der	fær- diggø- relse	
højhus in situ beton	5%	63%	32%	SBI-anv.
lavhus in situ beton	6%	54%	40%	nr. 93
trad.rækkehus	10%	35%	55%	SBI.anv.91
højhus præfab beton	10%	60%	30%	Gran-
terrassehus do.	15%	58%	27%	toften

Tabel 4.3.10.1:

Eksempler på tidsmæssig fordeling af de primære byggearbejder i forhold til den samlede byggetid.

Af dette og omstående kan uddrages, at $30 \cdot 0.4 / 0.55 = 22\% \sim 20\%$ af råhusarbejdet er belastet med vinterforanstaltninger, $65 \cdot 0.4 / 0.35 = 74\% \sim 75\%$ af

* Ved råhusarbejder forstås her både beton-, tømrer- og murerarbejder, der foregår, inden råhuset er lukket.

færdiggørelsesarbejdet er belastet med vinterforanstaltninger, og $5 \cdot 0.4 / 0.10 = 20\%$ af jordarbejdet er belastet med vinterforanstaltninger.

Disse tal er naturligvis bestemt med en stor usikkerhed og gælder kun for en grov gennemsnitsbetragtning.

De kan dog nok bruges, når man vil danne sig et billede af energiforbrugets størrelse i forbindelse med vinterforanstaltninger. De angivne procenter (20%, 75% og 20%) kan benyttes til at simulere en gennemsnitsbetragtning for de forskellige byggeaktiviteters energiforbrug til vinterforanstaltninger.

Kort resumeret kan i et sådant tilfælde anvendes de i tabel 4.3.10.2 viste tal.

Døgn	$\leq -5^{\circ}\text{C}$	$< 0^{\circ}\text{C}$	$-5^{\circ}\text{C} < t < +5^{\circ}\text{C}$
Januar	4	17	27
Februar	2	16	26
Marts	0	7	28
November	0	1	17
December	3	13	27
Total	9	54	125
%	6%	35%	80%
- Opvarmning af betonkonstruktioner - Opvarmning af murværk/sten			- Varm beton - frysep.senk. middel - Varm mørtel - Vintermåtter

Tabel 4.3.10.3:

Fordeling af de gennemsnitlige døgnmiddelværdier for udetemperaturer for perioden 1959-69.

Kilde [74.0].

Desuden er angivet de nødvendige forholdsregler ved betonarbejder og murerarbejder i vinterperioden.

Litteratur

- [74.0] "REFERENCEÅRET - VEJRDATA FOR VVS BEREGNINGER"
Statens Byggeforskningsinstitut, rapport nr.89
Danmark 1974.
- [75.0] Jan Åke Jonson:
"KARTLÄGGNING AV ENERGIKRÄVAMDE ÅTGÄRDER VID
VINTERBYGGE"
Statens Råd för Byggnadsforskning,
Sverige 1975 (Foreløbig kopi)
- [76.0] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976
- [79.0] Peter Andersen m.fl:
"BRANCHE-ANALYSE VEDRØRENDE ENERGIBESPA-
RELSESMULIGHEDER I FORBINDELSE MED VINTER-
BYGGERI"
Teknologisk Institut, Afdelingen for Bygge-
teknik, Danmark 1979
- [79.1] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED FREM-
STILLINGEN AF BYGGEMATERIALER"
Rapport nr. 134, Instituttet for Husbyg-
ning, DTH, Danmark 1979.

4.4 Materialespild på byggepladsen

Spild af materiale, enten i form af kasserede byggekomponenter, overskydende bygningsmaterialer eller bortkastet emballage, optræder i meget varieret omfang på byggepladserne. Spildprocenterne vil nedsættes ved anvendelse af præfabrikerede komponenter og ved anvendelsen af dyre materialer.

Desværre har der ikke kunnet findes danske angivelser af materialespildet. [78.0] angiver imidlertid for den engelske byggeindustri tilladelige standardtal for materialespild varierende fra $1\frac{1}{4}\%$ til 10% for forskellige arbejdsoperationer og materialer. Disse tal er gengivet i tabel 4.4.1.

<u>Standard allowances for waste on building materials</u>	
Concrete work	5%
Brick work	$2\frac{1}{2}\%$
Mortar	5%
Block work	5%
Asphalt work	$2\frac{1}{2}\%$
Slates and tiles	$2\frac{1}{2}\%$
Slate battens	5%
Carpentry	$7\frac{1}{2}\%$ (cutting and waste)
Joinery	$7\frac{1}{2}\%$
Cast Iron work	5%
Copper tubes	2%
Polythene tubes	$1\frac{1}{4}\%$
Plaster work	5%
Wall and floor tiling	5%
Glazing	$7\frac{1}{2}\%$
Painting and decorating	10%

Tabel 4.4.1:

Standard for tilladeligt materialespild på byggepladsen i England.

I Sverige, [74.0], har man undersøgt byggeaffaldet fra byggepladsen for 7 typiske byggerier. Affaldsmængden varierer her fra 0.8 m³/lejlighed til 6.3 m³/lejlighed, mindst for præfabrikeret beton-elementbyggeri og størst for murede huse og betonhuse støbt på stedet. Heraf består 10-25% af emballage, og yderligere en stor del er tømmer, hvilket betyder, at vægten af affaldet ligger mellem 0.5 tons/lejlighed og 8.1 tons/lejlighed.

Ifølge tabel 4.4.2 er de angivne materialespild - som i [74.0] er specificeret for forskellige materialegrupper - gengivet koncentreret og brugt til at udregne et omtrentligt energiforbrug hidrørende fra spildmaterialerne.

Byggeriets art	faste m ³ pr.lejl.	ton pr.lejl.	kWh pr.lejl.
A: Præfab.rækkehus af træelementer og teglgavle	2.9	1.58	7700
B: Præfab.villaer af træelementer og teglgavle	5.8	2.63	7200
C: Rækkehus af beton støbt på stedet og teglfacader	3.0	3.48	3350
D: Rækkehus som C	6.3	8.1	5400
E: Bolighus m.forretning af insitu beton og præfab.betonelementer	3.2	3.0	4250
F: Rækkehus af præfab.betonelem.	0.8	0.50	2650
G: Rækkehuse af præfab.træelem.	1.0	0.62	3100

Tabel 4.4.2:

Spildmateriemængder for typiske byggerier efter [74.0]. Overslag over energiforbruget repræsenteret ved materialespildet.

Det ses, at selv inden for samme bygningstyper varierer materialespild og det tilsvarende energiforbrug kolossalt. (A, B og G kan sammenlignes og C og D.) Inden for samme boligtype er der således afvigelser på op til 60%, hvilket ikke alene kan skyldes lejlighedernes forskellige størrelse, men i højere grad forskellige entreprenørfirmaers "politik" med hensyn til materialeudnyttelse. Regnes der for de 7 boligtyper i tabel 4.4.2 med et bruttoareal på 100 m² pr. lejlighed, vil energiforbruget hidrørende fra spildmaterialerne være 27-77 kWh/m² svarende til ~3-8% af den totalt anvendte matrialemængde.

Der kan som en grov regel tages hensyn til materialespildet ved i beregningerne at tillægge 4% på matrialemængderne for de behandlede byggerier, svarende til et niveau, der er "bedre" end gennemsnittet i tabel 4.4.1 og 4.4.2, hvilket må formodes at være et opnåeligt mål i praksis.

Det skal påpeges, at denne generelle betragtningsmåde vil favorisere in situ-byggeri overfor præfab byggeri i beregningerne, men dog ikke så meget, at resultaterne påvirkes væsentligt, idet usikkerheden på mængdeberegningen er af størrelsesordenen ±3%

Litteratur

- [74.0] Urban Erikson m.fl.:
"TRANSPORTER FRON BYGGPLATSEN, SPECIAL-STUDIER AV BYGGAVFALLET"
Byggforskningen Rapport R1:1974
Sverige 1974

- [78.0] E.N. Morris:
"HOUSING ENERGY ECONOMICS"
Building and Environment, vol. 13,
Edinburgh 1978

4.5 Projektering og anden servicevirksomhed

Denne overskrift lægger parallelt til afsnit 0 i [80.0] op til en diskussion af grænserne for analyseområdet. Idag arbejder den største del af den arbejdende befolkning i servicesektoren som i 1978 tegnede sig for 11.6% af vort samlede nettoenergiforbrug.

Hvor stor en del af denne energi kan tilskrives fremstilling af boligen ?

Teoretisk er der næsten ingen grænser for, hvor mange af de forskellige serviceydelser, der har relation til selve boligfremstillingen. Tænk bare på f.eks. kommunalt bygningstilsyn, uddannelse af byggeteknikere eller forskning i byggeteknologi. Disse ting har en indirekte forbindelse til fremstillingsprocessen.

Imidlertid er energiintensiteten af serviceydelser generelt ret ringe, sammenlignet med de direkte forbrug i industrien og på byggepladsen.

Der kan da med god tilnærmelse alene regnes med de serviceydelser, der er direkte knyttet til boligfremstillingen.

Det drejer sig da hovedsagelig om arkitekt- og ingeniørarbejde i forbindelse med projektering, tilsyn og planlægning.

I forbindelse med en kortlægning af erhvervslivets energiforbrug, [76.0], er der beregnet et nøgletal for energiforbruget til opvarmning af administrationsbygninger, afhængigt af antal ansatte funktionærer eller kontorpersonale, $11300 \text{ kWh/mand/år}$.

Med rundt regnet 1900 arbejdstimer pr.år svarer det til 6 kWh/mandtime for funktionærarbejde. Det er

* I [76.0] angives nøgletallet til (1974) årligt $7.2 \text{ MWh varme} + 1.4 \text{ MWh elektricitet pr.funktionær}$, som omregnet giver $7200 + 2.9 \times 1400 = 11260 \text{ kWh/mandår}$.

rimeligt at sammenligne almindeligt funktionærarbejde med ingeniør/arkitektarbejde, idet der også heri indgår kontorarbejde, tegnearbejde m.m., og da energiforbrugsmønstret kan formodes at være det samme.

Der vil derfor i det følgende blive brugt en lignende værdi, som ovenfor nævnt, men idet der må være en stor usikkerhed indbygget i tallet på grund af overarbejde og andre parametre, afrundes tallet til 5 kWh/mh.

Opgørelser over arbejdskraftforbruget i forbindelse med ingeniør og arkitektvirksomhed er det meget sparsomt med, specielt for ingeniørernes vedkommende.

Forsøg på at beregne f.eks. mand-time forbruget pr.m² etageareal er praktisk taget umuligt ud fra det statistiske materiale, der foreligger, [77.0] og [77.1].

For arkitektarbejdet er der lavet grundige undersøgelser af Praktiserende Arkitekters Råd for at finde arbejdskraftforbruget for arkitektarbejdet på byggeri. Det har vist sig, at mandtimeforbruget pr.m² etageareal har holdt sig bemærkelsesværdigt konstant gennem de sidste mange år. I tabel 4.5.1 er nogle vejledende værdier for arbejdskraftforbruget i forbindelse med arkitektarbejde på byggeriet angivet.

Bygningsart	Undersøgt byggeri m ²	Gennemsnitlige mandtimer pr.m ² etage
Etageluse:		
0-2500 m ²	35000	1.25
2501-5000 m ²	65000	0.80
5001-10000 m ²	175000	0.65
10001-20000 m ²	230000	0.50
20001- m ²	1270000	0.40
Eenfamiliehuse	29200	2.25
Række-kædehuse	280000	0.40
Kontorbygninger	155000	1.35
Fabr.og værksteder	229000	0.65
Skoler	650000	0.95

Tabel 4.5.1:

Sagstimeforbrug*for arkitektfirmaer på byggeri.
Efter opgørelser foretaget af Praktiserende Arkitekters Råd, 1977.

* kun de huse, der har været arkitektbistand på af PAR's medlemmer. Sagstimer angiver timeforbruget for alle ansatte i arkitektfirmaet.

Udover disse timeforbrug er der timeforbrug i forbindelse med tilsyn, entreprenørers planlægning og administration, ingeniørrådgivning m.m. Ud fra skønnede nøgletal for byggeomkostninger til disse poster (500 kr/m²) og timesatser (200 kr/h) vil det samlede timeforbrug være af størrelsesordenen 1.5 - 3.5 h/m².

Transport af arbejdere

Energiforbruget i forbindelse med transporten af arbejdskraft til og fra arbejdspladsen er beskrevet i [80.0] afsnit 2, og skal blot nævnes her som værdier.

Transportarbejdet kan med god tilnærmelse tillægges et energiforbrug på 1.85 kWh pr.mandtime.

Af Skifter Andersens arbejde (SBI) kan følgende afrundede værdier for mandtime-forbruget benyttes:

mandtimer pr.m ²	byggeplads	fabrik*	totalt
Traditionelt byggeri	15	15	30
Traditionelt/montage	10	17	27
Montagebyggeri	5	18	23

Tabel 4.5.2:

Arbejdskraftforbrug på byggepladsen og på fabrikker (inkluderet udenlandsk produktion).

Litteratur

- [76.0] Søren Klokhøj:
"KORTLÆGNING AF ERHVERVSLIVETS ENERGIFORBRUG"
Dansk Kedelforening, Danmark 1976.
- [77.0] "VURDERING AF UDVIKLINGSTENDENSER FOR BYGGE-
OG ANLÆGSSEKTOREN"
Teknologirådets arbejdsgruppe, Danmark 1977.

[77.1] "RÅDGIVENDE INGENIØRERS HONORAR OG IND-
TJENINGSFORHOLD, 1973 OG 1974"
Monopoltilsynet, Danmark 1977.

[80.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED FREM-
STILLING AF BOLIGER"
Rapport nr. 137, Instituttet for Husbygning,
DTH, Danmark 1980.

4.6 Primære byggepladsarbejder

De primære entreprenørmæssige aktiviteter på byggepladsen er paradoksalt nok de mindst energikrævende af dem, vi indtil nu har set på. Som i afsnittet om jordarbejde vil dette afsnit støtte sig på tekniske specifikationer om materiel ved beregningen af energiforbrug til udførelse af arbejde på byggepladsen.

4.6.1 Formarbejde

Energiforbruget i forbindelse med formarbejde skyldes udelukkende fabrikation af formene og de indgående materialer. Anvendelsen af formene er meget forskelligartet, især med hensyn til hvor mange gange formene kan genanvendes. Der er tilfælde, hvor formene kun anvendes én gang og andre tilfælde, hvor de genanvendes måske 100-200 gange. Det er derfor meget svært at give et generelt udsagn om energiforbruget ved formarbejde.

Det vælges i stedet at belyse energiforbruget gennem nogle eksempler, som kan give visse typiske værdier.

Eksempel 4.6.1.1: Træforme

Den traditionelle træform er udmærket belyst i [55.0] for etageadskillelser. Heraf fremgår det, at træforbruget i typiske situationer vil være $0.42-0.50 \text{ kbf/m}^2$ form eller $0.012-0.014 \text{ m}^3/\text{m}$. I disse tal er medregnet lodret og vandret afstivning og en afskrivning af formenes forskellige dele (se [55.0], side 50) på gennemsnitlig 25%. Hertil svarer et forbrug af energi på $8.5-10.0 \text{ kWh/m}^2$ form. Tages der hensyn til spild og anvendte søm m.m., må tallene forøges med ca. 10% til $9.4-11.0 \text{ kWh/m}^2$.

For mere komplicerede forme kan de ovenstående tal ikke bruges. I sådanne tilfælde kan materialeforbruget vokse til $0.031 \text{ m}^3 \text{ træ/m}^2$, svarende til 22.5 kWh/m^2 (se [71.0]).



Eksempel 4.6.1.2: Kasetteforme

Et alternativ til den traditionelle træform er kasetteformene, som kan være stressed-skin elementer med flanger af vandfast krydsfinér. Sådanne forme kan i fordelagtige situationer genanvendes 20-30 gange, typisk nok 15-20 gange. Følgende regnestykke kan da gøres på grundlag af tegninger fra firmaet Kristian Stærk A/S.

Energiforbrug til dækforme som kassetter med stillads	materiale- forbrug	antal gange benyt- tet	Energifor- brug pr.m ² form kWh/m ²
<u>Kassetter:</u>			
tømmer	0.024 m ³ /m ²	18	0.95
formfinér	0.0125 m ³ /m ²	18	2.75
produktion			1.00
<u>Træstillads:</u>			
tømmer	0.025 m ³ /m ²	9	2.00
beslag m.m.	~0.20 kg/m ²	9	0.25
spild			0.10
			7.05

Også her vil det gælde, at energiforbruget vil stige ved mere komplicerede forme muligvis til det tredobbelte af ovennævnte (se brochurer for PLYFA-støbeformfinér). □

Eksempel 4.6.1.3: Kombinerede stål- og plywood forme

Fuldt tidssvarende er de kombinerede dæk- og væg-
letvægtsforme af galvaniserede tyndpladeprofiler
og støbeformfinér. Disse kan typisk genanvendes op
til 50-100 gange og kræver ikke megen understøt-
ning eller afstivning. Igen for en vandret udstøb-
ning er følgende udregninger repræsentative:

Energiforbrug til dækforme som letvægts- kassetter	materiale- forbrug kg/m ²	antal gange benyt- tet	Energi- forbrug kWh/m ²
<u>Kassetter:</u> støbejern	9.6	50	1.0
Galv.profiler og beslag m.m.	32.0	50	6.1
fabr.af kassett.		50	0.7
<u>Afstivning:</u> galv.stålrør	31.8	100	2.9
			10.7

(se brochurer fra Hünnebeck-letform)

Eksempel 4.6.1.4: Lamelforskalning

Som et eksempel på et stålformsystem skal nævnes lamelforskalningen, som består af Z-profiler, der lægges op ad hinanden og skal understøttes med normale afstande. En meget almindeligt anvendt type har en vægt på 24 kg/m² og en spændvidde på 2 m. Lamelforskalningen kan teoretisk genanvendes mange gange, 100-200 gange, men på grund af byggeopgavers forskellige geometrier fra tilfælde til tilfælde vil der være spild af lameller ved tilvirkningen i de enkelte tilfælde, som efterhånden afkorter lamellerne og gør dem ubrugelige. Mere realistiske skøn vil således være en genanvendelse svarende til 50-100 gange.

Energiforbrug til dækform som lamelfor- skalning	materiale- forbrug	antal gange benyt- tet	Energi- forbrug kWh m ²
lameller	24 kg/m ²	75	2.7
træstillads som i eksempel 4.6.1.2	0.018 m ³ /m ²	9	1.8
(se [67.0])			4.5



Eksempel 4.6.1.5: Glaton-forskalning

Sluttelig skal en "fremtidsforskalning" kommenteres. Danske firmaer er i øjeblikket i færd med at markedsføre en permanent forskalning til bjælker, som er fremstillet af glasfiberarmeret beton. Fordeleene er især en forenklet afstivning og understøtning, idet forskalningen er selvbærende, og derudover en meget fin overflade, som ikke skal efterbehandles.

Betragtes en T-bjælkeform, bredde 90 cm og højde 40 cm, fås et energiforbrug pr. løbende meter bjælke, som vist i tabellen, idet understøtningen ligger med 5 meters afstand som eksisterende vægge og en mellemunderstøtning.

Energiforbrug til bjælkefor- skaling som glatonform	materiale- forbrug	antal gange benyt- tet	Energi- forbrug $\frac{\text{kWh}}{\text{m}}$
glasfibre	3.1 kg/m	1	21.7
cement	36.2 kg/m	1	84.5
fint sand	18.1 kg/m	1	0.3
fabr.af forme	68 kg/m	1	3.5
Mellemunder- støtning - tømmer	0.013 m ³ /m ²	20	0.5
			110.5

Der er i dette eksempel ikke regnet med besparelser i beton eller armering i bjælken på grund af den permanente forskalning. Det er endnu ikke eftervist, at formen bidrager væsentligt til bæreevnen af bjælken (se [79.0]). □

Af de fem eksempler kan det ses, at normale betonforme bidrager til energiforbruget til fremstilling af betonkonstruktioner med 5-20 kWh/m² form. For normale tykkelser på dæk og vægge svarende til

10-25 cm, kan man dermed angive et groft skøn for energiforbruget til forarbejde pr. betonavolumen som

70 kWh/m³ for dæk
 120 kWh/m³ for vægge
 240 kWh/m³ for søjler
 og 140 kWh/m³ for bjælker

4.6.2 Blandestationer

Betonblandere kan både være elektriske og benzin-drevne. I de fleste tilfælde er blanderne dog elektrisk drevne og kun disse vil blive betragtet i det følgende:

[71.0] angiver tabeller for entreprenørmateriel med samhørende værdier for motorens maksimaleffekt og maskinens maksimalproduktion. Med antagelser om gennemsnitligt motorbelastningsniveau og gennemsnitlig kapacitetsudnyttelse kan tilnærmelsesværdier for energiforbruget i forskellige arbejdsoperationer udregnes.

For blandere vil der her blive forudsat en motorbelastning på 90% i 75% af tiden og en motorbelastning på 20% i 25% af tiden, svarende til blandeproces og tomgang. For kapacitetsudnyttelsen vil blive forudsat 50% udnyttelse, idet der tages hensyn til, at man ikke altid benytter den kortest mulige blandedetid og kan lade maskinen blande i "venteposition".

For de i [71.0] angivne blandertyper ligger det herudfra udregnede gennemsnitsforbrug af elektricitet meget tæt omkring 1.05 kWh/m³ (0.91-1.15 kWh/m³) for kapacitetsstørrelserne 200 l - 6 m³. Dette svarer til et energiforbrug på 3.05 kWh/m³ ~ 3 kWh/ton.

4.6.3 Tårnkraner

For tårnkraners vedkommende forudsættes, at løfteoperationen foretages i 40% af tiden med en 80% udnyttelse af motoreffekten, at vandret transport

	1	2	3	4
Løfteevne, ton	0.9-3.0	1.5-4	2-6	2-9
udlæg, m	16-6	20-10	25-10	30-10
kranens stål- vægt, ton	11.5	18.5	33.0	50.0
Energiforbrug til stål, kWh	110000	180000	320000	485000
Gennemsnitligt løft, ton	1.2	2.0	3.0	4.0
"Energiforbrug" til kranløft, kWh/ton	0.61	0.60	0.70	0.79

Tabel 4.6.3.1:

Energiforbrug til fremstilling af tårnkraner, fordelt på den løftede mængde gennem kranens levetid. I de tyske normer, DIN 15018, angives tårnkraners levetid til 10 år og det dimensionerede antal dynamiske påvirkninger er $6 \cdot 10^5$, svarende til ca. 150000 løftecykler. Dette tal er anvendt i tabellen. Det samlede energiforbrug til kranløft er derfor af størrelsesordenen $(2.4 + 0.7) \text{ kWh/ton} \cong 3 \text{ kWh/ton}$.

foretages 50% af tiden med en udnyttelse af motoreffekten på 60%, mens motoren i 10% af tiden går i tomgang svarende til 10% udnyttelse (ialt 63%).

Med en løftecyklus på 0.1 min/m.udlæg og en kapacitetsudnyttelse på 30% i gennemsnit fås for tårnkraner med en maksimalløfteevne fra 3 til 20 t et gennemsnitligt elektricitetsforbrug på 0.82 kWh/t ~ 0.8 kWh elektr/ton ~ 2.4 kWh/ton. (se figur 4.6.3.1).

4.6.4 Trykluftkompressor

Der angives i [71.0] et brændstofforbrug (olie) på 25 g olie/m³ luft. Det er imidlertid svært at bestemme luftforbruget på byggepladsen. Et eksempel kan være en luftdrevet stavvibrator, som bruger fra 18 m³ luft/h til 97 m³ luft/h og kan præstere at vibrere fra 5 til 25 m³ beton pr.h, d.v.s. omregnet 95 g olie/m³ beton ~ 1.05 kWh/m³ beton ~ 0.45 kWh/ton.

4.6.5 Betonpumper

Der angives i de tekniske specifikationer både en maksimaleffekt og en maksimalkapacitet for de enkelte maskiner. Det antages, at effektforbruget tilnærmet kan beskrives som proportionalt med kapaciteten ved novenlunde fastholdte rørlængder. Ved typiske rørlængder eller pumpeafstande på 50-100 m vil effektforbruget kun være 50-60% af maskinens maksimaleffekt. Ved sådanne afstande kan energiforbruget regnes ud til at være 9-13 kWh/m³ beton ~ 11 kWh/m³ ~ 5 kWh/ton.

4.6.6 Afstivningskonstruktioner

Afstivningskonstruktioner anvendes i forbindelse med byggegrupper, hvor det er den omkringliggende jord, der skal afstives, og i forbindelse med montage, hvor det er bygningselementer, der skal afstives.

Der skal her gives tre eksempler, som belyser energiforbruget ved afstivning.

Eksempel 4.6.6.1: Spunsvægge mod jord

En byggegrube på 5 m dybde, 5 m bredde og 25 m længde afstives ved hjælp af nedrammede spunsjern og stålprofilafstivning.

Jordtrykket er 35 kN/m^2 , og afstivningen fastgøres 1 m fra toppen. Der kræves da spunsjern Z-profiler svarende til 110 kg/m^2 en omløbende dra-ger på 117 kg/m og 6 tværdragere á 61 kg/m .

Spunsjernforbruget er 325 m^2 á 110 kg	=	35.8 tons
Afstivningsprofiler	=	7.7 tons
Samplingsbeslag m.m.	=	<u>0.3 tons</u>

Spunsjernene kan genanvendes 3 gange, mens halvdelen af afstivningsprofilerne kan genanvendes 1 gang.

D.v.s. energiforbruget bliver

Spunsjern (inkl. spild 10%)	330 kWh/m ² væg
Afstivning (inkl. spild 10%)	198 kWh/m ² væg
Svejsearbejde	5 kWh/m ² væg
Ramning (skøn)	<u>20 kWh/m² væg</u>
	553 kWh/m ² væg
	<u>~550 kWh/m² væg</u>

□

Eksempel 4.6.6.2: Tømmerafstivning af jord

Samme byggegrube som i eksempel 4.6.6.1 tænkes nu afstivet med tømmer. Der anvendes $1\frac{1}{2} \times 9''$ planker og fuldtømmer $8 \times 8''$. De vandrette remme ligger pr. 50 cm, som understøttes pr. 1,5 m af $7 \times 7''$ tværtømmer.

Det antages, at halvdelen af tømmeret og plankerne kun anvendes yderligere én gang.

Planker (inkl. 10% spild)	16.6 kWh/m ²
Afstivningstømmer	107.0 kWh/m ²
Beslag	<u>5.0 kWh/m²</u>
	128.6 kWh/m ²
	<u>~130 kWh/m²</u>

□

Eksempel 4.6.6.3: Afstivning af betonelementer

Til afstivning af betonelementer benyttes de såkaldte blå drenge, som er fremstillet af stålør. De må gennemsnitligt anbringes med en afstand af 1.8 m. En blå dreng vejer ca. 10 kg og kan formodentlig genanvendes gennemsnitligt 100-200 gange. Dette giver et energiforbrug til midlertidig understøtning af betonelementvægge på 0.1-0.2 kWh/m² væg, d.v.s. meget små energimængder.

□

Det ses, at afstivningen kræver meget forskellige energimængder afhængigt af materialevalg og af afstivningens formål. Det i eksempel 4.6.6.1 fundne energiforbrug kan med de nuværende lejepriser omregnes til 1.45 kWh/kr lejeomk., mens det i eksempel 4.6.6.2 fundne energiforbrug vil resultere i et energiforbrug på 0.8 kWh/kr baseret på materialeprisen inkl. moms. En meget grov regel kan da være, at afstivning af byggegruber med dagens priser kræver et energiforbrug på 1 kWh/kr baseret på afstivningens totale materialepris (1.1.79).

4.6.7 Stilladser

Stilladser bruges til mange forskellige formål. Mest almindelige er de nok som facadestilladser i forbindelse med opmuring, reparation eller overfladebehandlinger. Idag anvendes næsten udelukkende stålørstilladser, som er demontérbare og kan anvendes utallige gange. Energiforbruget til stålstilladserne skyldes udelukkende materialeindholdet i stilladserne, som må afskrives over dets levetid. Udlejningsfirmaer afskriver stålstilladser over 10 år, men stilladsernes enkeltkomponenter har som regel en længere levetid. I løbet af levetiden er der et spild af komponenter især af langsgående rør på grund af tilskæring og tilpasning til specielle opgaver. Sættes dette spild til 5-10% og sættes stålstilladsets levetid til 12 år, mens plankernes levetid sættes til 6 år, kan følgende eksempel belyse energiforbruget.

Eksempel 4.6.7.1:

En seks etagers ejendom skal laves med murede facader. Der rejses et stillads i takt med opmuringen på facadens yderside, som benyttes under opmureringen og fugningen.

Stilladset står der i 14 måneder og har længden 25 m, bredden 120 cm og benafstand 2.0 m. Der er udlagt gangbrædder, $1\frac{1}{2} \times 9$ " på 3 etager, og stilladset har et centralt trappetårn. Udfra de givne oplysninger kan følgende beregnes:

Facadeareal	$17.2 \cdot 25 \text{ m}^2$	=	430 m^2
Samlet vægt af stålstillads		=	8950 kg
Samlet plankeforbrug:			
	gangplanker	=	2.57 m^3
	underlag ved ben	=	0.43 m^3

Stålstilladset benyttes da i $14/12 \cdot 12 = 9.7\%$ af dets levetid.

Plankerne benyttes i $14/12 \cdot 6 = 19.4\%$ af dets levetid.

Antages de vandrette langsgående dele i stålstilladset at udgøre 35% af den totale vægt, fås følgende:

Energiforbrug til stålstillads (inkl. 10% spild på de langsgående dele)

$$1.035 \cdot 8950 \cdot 0.097 \cdot 9.7/430 = 20.2 \text{ kWh/m}^2$$

Energiforbrug til planker (inkl. 10% spild)

$$1.10 \cdot 3.10 \cdot 0.194 \cdot 720/430 = 1.1 \text{ kWh/m}^2$$

$$\text{Ialt} \quad 21.3 \text{ kWh/m}^2$$

□

For andre stilladsformål vil energiforbruget formodentlig kunne beskrives proportionalt med lejeudgifterne. For det i eksemplet givne formål er den tilsvarende lejeudgift ekskl. moms, idag af størrelsesordenen $0.35\text{--}0.40 \text{ kr/m}^2 \text{ dag}$. Omregnet svarer energiforbruget i eksemplet til $21.3 \text{ kWh}/160 \text{ kr} = 0.133 \text{ kWh/kr leje}$ (lejen ekskl. moms). I overslags-

beregninger kan man altså med rimelighed benytte sig af et energiforbrug hidrørende fra stålstilladser svarende til 0,13 kWh/kr lejeudgift ekskl. moms.

En anden måde at beregne energiforbruget på kunne være ved at benytte produktet af stilladsmængde og tid som mål, d.v.s. at stilladsforbruget skal udtrykkes i et antal m^2 døgn. For facadestilladser vil energiforbruget da være 0.051 kWh/m^2 døgn for de i eksemplet givne tal.

4.6.8 Klæbning af asfaltpap

Asfaltpap som tagdækning udføres normalt som en flerlagsdækning bestående af et antal lag tagpap klæbet til underlaget. Underlaget er som regel en træfiber- eller krydsfinérplade, som skal være tør ved klæbningen.

Der anvendes tre forskellige klæbemetoder.

Varmklæbningen foregår ved, at bitumen varmes op i flytbare beholdere og påføres underlaget i flydende tilstand.

Koldklæbningen foregår med en opløsning af bitumen i terpentint (60% bitumen, 40% terpentint), som er flydende, men som "størkner" ved terpentintens fordamning.

Svejsning foregår ved, at asfaltpappets underside opvarmes med en blæselampe, bliver klæbrig, og asfaltpappet presses mod underlaget.

Ifølge oplysninger i [79.1], side 174-175, er der ved laboratorieforsøg hos en tagdækningsfabrikant målt følgende energiforbrug ved normal fuld klæbning:

varmeklæbning	0.63 kWh/m ² klæbelag
svejsning	1.05 kWh/m ² klæbelag
koldklæbning	~5 kWh/m ² klæbelag

Ved koldklæbningen er der forudsat, at 85% af terpentinens fordampning, og dennes brændværdi kan da ikke udnyttes senere og må beregnes som et energiforbrug.

De mest forekommende tagdækninger består af én gang varmeklæbning til træpladen af en uldfilt pap, hvorpå der svejdes en svær glasfiberoverpap. Dette svarer til et energiforbrug på 1.70 kWh/m² tagdækning.

I ældre tagdækninger anvendtes både tre og firelags dækninger. For disse kan det foreslås at regne med et gennemsnitsenergiforbrug på 0.85 kWh/m² klæbelag.

4.6.9 Andre byggepladsarbejder

Der er endelig nogle typer af foranstaltninger på byggepladsen, som ikke har generel anvendelse, men som må tages i brug i atypiske situationer enten på grund af vejrlig eller på grund af byggegrundens bundforhold.

Dertil hører grundvandssænkning, midlertidige grundforstærkninger, dræning m.m. Disse foranstaltninger vil, sammen med andre mere specielle foranstaltninger, ikke blive behandlet her, men må i de enkelte tilfælde tillægges energiforbrug, der må beregnes efter lignende metoder som benyttet i denne rapport.

Litteratur

- [55.0] "DÆKFORME I BOLIGBYGGERI"
SBI-anvisning nr. 15, Statens Byggeforskningsinstitut, Danmark 1955
- [67.0] A. Gaarslev:
"FORMMATERIEL"
Byggeindustrien, vol. 18, p.16-23
Danmark 1967

- [71.0] A. Jespersen m.fl.
"MATERIEL OG UDFØRELSESMETODER"
Lærebog i anlægskundskab, bind B
Polyteknisk Forlag, Danmark 1971
- [79.0] Per Jensen, Michael Vesterlørkke:
"GLASFIBERARMERET BETON SOM PERMANENT
FORSKALNING UNDER BRANDBELASTNING"
Eksamensprojekt, Instituttet for Husbygning,
DTH, Danmark 1979.
- [79.1] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG TIL FREM-
STILLING AF BYGGEMATERIALER"
Rapport nr. 134, Instituttet for Husbygning,
DTH,
Danmark 1979.

4.7 Beregningsmodel for bygningers samlede energiforbrug på byggepladsen

I de foregående afsnit er der for de vigtigste foranstaltninger på byggepladsen og den dertil knyttede servicevirksomhed beskrevet faktorer, der er afgørende for energiforbruget på byggepladsen.

Når man skal opstille en beregningsmodel for det samlede energiforbrug på byggepladsen, må den være enkel, og det er væsentligt, at de nødvendige forudsætninger for beregningerne er indbygget i de specifikke beregningsværdier og ikke først skal skønnes af brugeren på mængdeberegningssiden.

Den i det følgende beskrevne metode er blot en summation af produkter, hvori der indgår et specifikt forbrug og en mængde, e og M . Mængden kan bestå af mange ting, afhængigt af hvilken operation/foranstaltning, der betragtes. Mængdens art fremgår af det specifikke forbrugs enhedsangivelse.

Det har været et spørgsmål om at afveje mængdernes antal og deres tilknytning til operationerne med det praktisk gennemførlige i bestemmelsen af mængderne. Derfor kunne man tænke sig et andet grundlag for beregning af mængderne, end her angivet, men det kræver et større arbejde med fastsættelse (ud fra statistiske oplysninger, som sandsynligvis endnu ikke findes) af forudsætninger for en entydig beregning af mængderne.

Et eksempel på en forenkling af parametrene er fremgangsmåden i afsnit 4.3.1, hvor energiforbruget er blevet uafhængigt af bygningens art, hvilken kan synes urimeligt, men har været nødvendigt for at komme igennem med enkle og entydige beregninger.

Foruden de i afsnittene indførte forenklinger og antagelser skal der også her tilføjes nogle enkelte med hensyn til udtørring.

Det vælges at opdele energiforbrugene i nogle fællesgrupper analogt til fremgangsmåden i afsnittet om byggematerialer i [79.1]. De fire grupper bliver

- 1-10 Jordarbejde
- 11-20 Primære byggepladsarbejder
- 21-30 Vinterforanstaltninger
- 31-40 Udtørring af råhuset

For udtørringens vedkommende indføres den forudsætning, at 30% af alle råhuskonstruktioner udtørres kunstigt til viderebehandling, og alle råhuskonstruktioner udtørres med hensyn til restudtørring ved hjælp af permanent varmeanlæg.

Disse forudsætninger skal sammen med de i afsnittene givne repræsentere en slags normalbyggeri, som afspejler de gennemsnitlige energiforbrug for en bygningstype. Det er således først og fremmest parametre, som klima, tilfældighed, byggetidspunkt, byggetid m.m., der er forsøgt normaliseret, mens parametre som materialevalg, metodevalg m.m. stadig står åbne i beregningerne.

Desuden udelades serviceydelserne af beregningerne, da grundlaget for beregningen af energiforbruget til disse er for usikkert (det gælder bestemmelsen af mandtimeforbrug for arkitekt/ingeniørarbejde).

De fundne værdier er opført i tabel 4.7.1. Beregningen foregår derefter blot ved en summation over de relevante foranstaltninger af produktet af specifikt energiforbrug og mængde.

JORDARBEJDE

1	Alment	—
2	Udgravning (Gravemaskine)	2.5 kWh/vfm ³
3	Påfyldning/afgravning (Dozer 10 m)	1.1 kWh/vfm ³
4	Grundudjævning (Dozer 60 m/scraper 100)	3.3 kWh/vfm ³
5	Lokal bortkørsel (Dumpers 1000 m)	5.0 kWh/vfm ³
6	Bortkørsel fra byggeplads (5000 m)	6.0 kWh/vfm ³
7	Efterudjævning (Dozer 30 m)	2.2 kWh/vfm ³
8	Tromling (2 gange)	0.05 kWh/m ²
9	Afstivning af byggegrube	200 kWh/m ² væg
10	Fællesgruppe	—

ANDRE BYGGEPLADSOPERATIONER OG -INDRETNINGER

11	Alment	—
12	Vibrering af beton	0.45 kWh/ton
13	Blanding af beton	3 kWh/ton
14	Pumpning af beton	5 kWh/ton
15	Påleramning	5 kWh/m ² påloverfl.
16	Formarbejde	10 kWh/m ² form
17	Stilladser *	40 Wh/døgn m ³ still.
18	Mandskabsskure	0.8 kWh/m ² etageareal
19	Kranløft	3.0 kWh/ton
20	Klæbning af tagpap	0.85 kWh/m ²

VINTERFORANSTALTNINGER

21	Tørring af tagflader før klæbning	0.6 kWh/m ²
22	Belysning	2 kWh/m ² etage
23	Mandskabsskure	1.6 kWh/mandtime
24	Vinterudstøbning: Lodrette dele in situ	11 kWh/ton
25	Vandrette dele in situ	28 kWh/ton
26	Vandrette dele præfab	3.7 kWh/ton
27	Vinteropmuring, normalt murværk	13.5 kWh/ton tegl
28	højstyrkemurværk	27 kWh/ton tegl
29	Vintertelte	0.5 kWh/døgn m ² telt
30	Opvarmning p.g.a. færdiggørelse	26 kWh/m ² etage

UDTØRRING AF RÅHUSET

31	Alment	—
32	In situ beton, standard	45 kWh/ton
33	In situ beton, super	10 kWh/ton
34	Kalksandsten	45 kWh/ton
35	Kalkmørtel	135 kWh/ton
36	Cementmørtel	85 kWh/ton
37	Gasbetonsten/elementer	115 kWh/ton
38	Lecabetonsten/elementer	45 kWh/ton
39	Præfabrikerede betonelementer	25 kWh/ton
40	Bygningstømmer	15 kWh/m ³

Tabel 4.7.1:

De specifikke energiforbrug på byggepladsen.

* m³ hentyder til det volumen, der ligger inden for stilladsets ydre begrænsninger.

4.8 Beregnede fordelinger af energiforbruget på byggepladsen

På grundlag af modellen, som skitseret i afsnit 4.7, kan energiforbruget på byggepladsen og dets fordeling bestemmes for ethvert byggeri, idet forudsætningerne for beregningsmodellen må erindres. Dette er gjort i hovedrapporten [80.0], afsnit 7, for en lang række boligbyggerier, og der henvises hertil med hensyn til yderligere belysning af emnet.

Tænker man sig andre forudsætninger for beregningen af energiforbrugene til vinterforanstaltninger og udtørring, der er de mest usikre bidrag til det samlede energiforbrug, vil man naturligvis komme til andre resultater end givet i tabel 4.8.1.

For at belyse usikkerhedens størrelse er der derfor antaget to alternative par forudsætninger med hensyn til vinterforanstaltningernes fordeling på de tre arbejdsområder (jvf. side 37 f.n.) og med hensyn til anvendelsen af kunstig udtørring. De alternative forudsætninger er givet i tabel 4.8.4. som tilfælde (-1) og tilfælde (+1).

<u>Vinterforanstaltninger.</u>	Råhusarbejder	Færdiggørelse	Jordarbejder
Tilfælde (0)	30%	65%	5%
Tilfælde (-1)	10%	85%	5%
Tilfælde (+1)	50%	45%	5%
<u>Udtørring</u>	Naturlig udtørring	Kunstig udtørring	Kunst. restudt.
Tilfælde (0)	30%	70%	100%
Tilfælde (-1)	10%	90%	100%
Tilfælde (+1)	50%	50%	100%

Tabel 4.8.1:

Forudsætninger om fordeling på arbejdsområder af vinterforanstaltninger og udtørring.

kWh/m ² etageareal	Nordhus AB			Udstillingshus			Boligmin.index			Montageb.index		
	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1	-1	0	+1
Jordarbejder		1.10			1.60			10.9			12.8	
Byggepladsarb.+ indretning		1.30			2.40			15.8			4.8	
Vinterforanstaltninger	53.2	47.5	42.3	62.4	59.3	57.6	74.2	92.9	119.0	44.5	40.4	37.3
Udtørring	4.4	8.9	12.5	19.8	36.8	51.5	25.2	47.8	67.1	9.9	15.8	19.8
Ialt	60.0	58.8	57.2	86.2	100.1	113.0	126.0	167.3	212.7	72.0	73.8	74.7
	Enfamiliehus i 1½ etage uden kælder. Bærende konstruktion af masonitbjælker, beklædning er træfiberplader og brædder.			Traditionelt et- planshus i tegl. Vægge som mur- værk og tagkon- struktion af tømmer.			Traditionelt 3- etagers bolig- blok. Murværk, in situ støbte betondæk, tag- værk som træ- gitre. Kælder under hele bygningen.			Montagebyggeri i 3 etager + fuld kælder. Bærende tværvægge og dæk er præfab. beton- elementer. Faca- der både tunge og lette. Tag som trægitter- spær.		

Tabel 4.8.2:

Energiforbrugsfordelinger beregnet efter modellerne givet i tabel 4.8.1.

Idet alle andre forudsætninger ikke ændres, er tilfælde (0) det samme, som gælder for værdierne i tabel 4.7.1. Tilfælde (-1) svarer til en indskrænket brug af energikrævende hjælpemidler på byggepladsen (i vinterperioden), mens tilfælde (+1) svarer til en udvidet brug af sådanne.

Beregningsresultater for de tre tilfælde er vist i tabel 4.8.2 for fire byggerier, der også indgår i undersøgelserne i [80.0] (se i øvrigt appendix A-1 og A-2 til [80.0] med hensyn til mængder).

Som det ses af tabel 4.8.2 er der temmelig stor spredning på resultaterne.

Energiforbruget til jordarbejdet influeres kraftigt af udgravning til kældre og det deraf følgende jordarbejde med overskudsjorden. Fleretageshusene har desuden et merenergiforbrug i forhold til enfamiliehusene på grund af jordarbejdet med tilknyttede parkeringspladser, stianlæg m.m., som ikke optræder ved enfamiliehusene. Dette arbejde vil sammen med anden terrænregulering afhænge meget af den aktuelle grund og bygherres ønsker.

Byggepladsarbejdets energiforbrug påvirkes i højere grad af byggemetoden, d.v.s. in-situ støbning kontra præfabrikation, traditionel opmuring kontra elementmontage o.s.v. Det ses, at energiforbruget for den traditionelle 3-etagers blok er betydeligt større end for de andre byggerier på denne post. Det skyldes først og fremmest formarbejdet og stilladserne til opmuringen. For de præfabrikerede blokke er det især støbning af beton i kælderen og kranløft, der påvirker energiforbruget, der dog stadig er ret behersket af størrelse.

Energiforbruget til vinterforanstaltninger består af et nogenlunde fast bidrag fra belysning, opvarmning af skurvogne og opvarmning af bygningen under

færdiggørelsen, samt et meget varierende bidrag fra vinterudstøbningen og vinteropmuringen. Idet det konstante bidrag er af størrelsesordenen 30-40 kWh/m² for tilfælde (0), varierer det resterende energiforbrug altså fra 5-10 kWh/m² til 50 kWh/m², d.v.s. med en faktor 5-10. Det store energiforbrug for den traditionelle 3-etagers boligblok er beregnet på grundlag af den nuværende byggeskik. På det tidspunkt, hvor disse boliger blev bygget (1951), var der imidlertid tradition for at afbryde de primære råhusarbejder, netop de som giver den store variation i energiforbruget til vinterforanstaltninger ovenfor, i vinterperioden. Vil man opretholde sæsonudjævningen for byggearbejderne på samme måde som idag, er tallene i tabellen dog repræsentative.

Det ses yderligere, at de to andre tilfælde (-1) og (+1) ændrer energiforbruget til vinterforanstaltninger i mindre grad. Dette hænger sammen med, at forudsætningen om vinterbyggeriets omfang, 40%, ikke er ændret, men alene fordelingen af de enkelte delarbejder. Et øget energiforbrug til de primære råhusarbejder modsvares derfor af et mindsket energiforbrug til færdiggørelsen. Dette er årsagen til, at energiforbruget stiger for tilfælde (-1) de steder, hvor omfanget af de primære råhusarbejder er lille.

Endelig kan der om energiforbruget til udtørring siges, at det varierer lige så kraftigt som energiforbruget til vinterforanstaltninger og påvirkes meget direkte af de ændrede forudsætninger i tilfælde (-1) og (+1). Der er ret stor forskel på energiforbruget for de traditionelle opførelsesmetoder og "montage"byggerierne. Samme bemærkning som under vinterforanstaltninger om tidligere byggetradition gælder her. Det ses, at energiforbruget totalt varierer (tilfælde (0)) fra 60-170 kWh/m².

Regnes det gennemsnitlige energiforbrug for alle byggerier at svare til montagebyggeri og traditionelt enfamiliehus, 85 kWh/m^2 , bliver det samlede energiforbrug på byggepladsen til bygninger 925-950 GWh/år i Danmark. Dette svarer til 3.5% af vort årlige bruttoenergiforbrug (se [80.0], afsnit 1).

I en svensk undersøgelse, [77.0], har man foretaget en omfattende dataindsamling om energiforbruget på byggepladsen.

Det viser sig, at man generelt i Sverige bruger meget elektricitet, også til opvarmningsformål. En direkte overføring af analysens tal til sammenligning med resultaterne i denne rapport ville derfor være misvisende.

Der er forsøgt at tage højde for dette ved at overføre den el-opvarmning, som kunne være udført ved hjælp af olie, til olieforbrug.

De korrigerede resultater er da vist i tabel 4.8.3.

Der skal peges på nogle faktorer, som ændrer forholdene for tabellens værdier i forhold til dansk byggeri.

For det første er klimaforholdene for de undersøgte byggepladser ugunstigere end de, der er gældende i Danmark. Dette forklarer til dels, hvorfor energiforbruget for fleretagershusene er så højt.

For det andet er konstruktionsvalget nok noget anderledes end i Danmark. F.eks. er alle de undersøgte fleretagershuse udført i in situ beton, og en stor del af et-etages husene er lette træhuse.

Set under disse forbehold ser det ud til, at de resultater, beregningsmetoden vil give, er rimeligt samstemmende med faktiske målinger.

kWh/m ³ bygn.vol.	netto energi- forbrug	heraf elek- trici- tet	brutto- energi- forbrug	kWh
				m ² etageareal
Et-etages huse, Nord- og Midtsverige	35	11.3%	43	110
Fleretageshuse, Nordsverige	63	5%	72	205
Kontorbygninger m.m., hele Sverige	25	28.4%	38	120
Produktionsbygninger, Nord- og Midtsverige	18	9%	21	80-130

Tabel 4.8.3:

Resultater af analysen i [77.0]. Middelværdier af energiforbruget på byggepladsen og de korrigerede værdier.

Samme forhold gør sig gældende for fordelingen af energiforbruget på de forskellige grupper i tabel 4.8.2. Det ses, at fordelingen i grove træk er sammenfaldende med den i tabel 4.8.4 givne.

	et-etages boliger	fleretages * boliger	kontor- bygninger	produktions- bygninger
Belysning				
Mandskabsskure	25.0%	49.8%	42.9%	19.8%
Damp				
Opvarmn.af jord eller rum	8.9%	-	0.7%	1.8%
Tørreaggregater	60.4%	30.9%	31.2%	69.8%
Jordarbejde + primære operat.	5.7%	19.3%	25.2%	8.6%

Tabel 4.8.4:

Korrigeret fordeling af energiforbruget på byggepladser efter resultaterne i [77.0].

* Disse tal er ret atypiske på grund af måleperiodens tidspunkt, som var dels i starten af byggeriet, og dels i slutfasen af byggeriet.

I [79.1] angives et skønnet energiforbrug for alle Danmarks byggepladser svarende til 1200 GWh/år til vinterforanstaltninger og til udtørring. Dette ligger ca. 35% over det, man kan forvente af den givne beregningsmetode. Forklaringen ligger formodentlig i, at grundlaget for skønnet i [79.1] udelukkende er større byggerier, hvor der har været vinterbyggeri. Energiforbruget er også højt i forhold til de svenske tal, idet totalforbruget svarer til ca. 110 kWh/m², alene til vinterforanstaltninger og udtørring.

Det skal endnu engang påpeges, at værdier, der er givet i afsnit 4.7 og 4.8, kun er beregnet til gennemsnitsbetragtninger. Til beregning af energiforbruget på byggepladsen i individuelle tilfælde må værdier fra afsnittene 4.1 - 4.6 benyttes.

Besparelser

Det er karakteristisk for energiforbrugsfordelinger, at de største potentielle besparelser ligger i de primære operationer, som i dette tilfælde er de normale byggepladsoperationer. På byggepladsen er det imidlertid i forbindelse med vinterforanstaltninger og udtørring, d.v.s. sekundære foranstaltninger, der er væsentlige besparelser at hente. Det har desværre, i de undersøgelser der er lavet indtil nu, ikke været muligt at sætte tal på disse mulige besparelser.

Et gennemgående træk er, at der kan opnås hurtige og gode resultater ved at kontrollere alle former for opvarmning både med hensyn til midlertidige klimaskærme og elektrisk styring og kontrol af fyring m.m. Det er naturligvis noget, der fordyrer byggeriet og kan komme i konflikt med bygningshåndværkernes arbejdsgang, når opførelsen, der ofte er noget midlertidigt, skal belastes med mere sofistiskerede foranstaltninger. En anden måde at spare energi på byggepladsen kunne da være at vælge kon-

struktioner til vinterbyggeriet, som er helt eller delvis præfabrikerede. Derved kan man flytte de dyre energibesparende foranstaltninger til en permanent produktion, som er bedre egnet til omhyggelig kontrol af energianvendelsen.

Vælger man i en given situation at benytte præfabrikerede elementer i stedet for in situ byggeri i vintertiden, vil der til den opnåede energibesparelse på byggepladsen svare et merforbrug på fabrikken, som i visse tilfælde kan være større end besparelsen.

Af beregningerne i [80.0] kan der uddrages, at dette vil være tilfældet, hvis der vælges præfabrikerede elementer med stort indhold af metaller eller plast, mens lette elementer af cementshærede materialer eller træ også vil give besparelser totalt set.

Endelig kan der være den mulighed at begrænse byggeaktiviteten i vinterperioden. Dette vil nok give den største besparelse, men vil i højere grad end de tidligere nævnte ting være betinget af politiske afgørelser og overvejelser og skal derfor ikke kommenteres. Der skal blot peges på den mulige besparelse, som ved et totalt stop for vinterbyggeri vil være omkring 0.2% af vort bruttoenergiforbrug, svarende til driftsforbruget af godt 20000 nye énfamiliehuse opført efter BR-77 krav til isolering.

Litteratur:

- [77.0] "BYGGPRODUKTIONENS ENERGIPROFIL"
Svenska Byggnadsentreprenörföreningen
Rapport nr. 19
Sverige 1977
- [79.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED
FREMSTILLINGEN AF BYGGEMATERIALER"
Rapport nr. 134, Instituttet for Husbygning,
DTH, Danmark 1979
- [79.1] "BRANCHEENERGI-ANALYSE VEDPØRENDE ENERGI-
BESPARELSESMULIGHEDER I FORBINDELSE MED
VINTERBYGGERI"
Byggeteknik, Teknologisk Institut,
Danmark 1979.
- [80.0] Sigurd Andersen:
"DET AKKUMULEREDE ENERGIFORBRUG VED
FREMSTILLING AF BOLIGER"
Rapport nr. 137, Instituttet for Husbygning,
DTH, Danmark 1980.