



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



Rapport

R8:1979

Värmeisoleringsekonomi

Jan Sjölund

Byggforskningen

TEKNISKA HÖGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FÖR VÄG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R8:1979

VÄRMEISOLERINGSEKONOMI

Jan Sjölund

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771176-8
från Statens råd för byggnadsforskning till Tekn.dr.
Arne Johnsons Ingenjörbyrå AB, Stockholm.

I Byggnadsforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R8:1979

ISBN 91-540-2966-X
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1978 860890

INNEHÅLL

1	BAKGRUND	5
1.1	Dimensioneringsregler	6
2	TYPHUS	9
3	BERÄKNINGSRESULTAT VID MASSIVA LÄTTBETONG- VÄGGAR I KÄLLARVÄNING	11
3.1	Bestämning av energiprisutveckling ur SBN:s k-värden	11
3.2	Val av räntesatser	14
3.3	Konsekvenser av ökade energipriser	15
4	BERÄKNINGSRESULTAT VID TILLÄGGSISOLERAD LÄTTBETONG I KÄLLARVÄNING	17
5	BERÄKNINGSRESULTAT DA UTRYMMESKOSTNAD BEAKTAS	23
6	BERÄKNINGSRESULTAT VID JÄMN TEMPERATUR I KÄLLARVÄNINGEN	27
7	SAMMANFATTNING AV BERÄKNINGSRESULTAT	31
8	DISKUSSION	35
8.1	Dimensioneringsmetodens fördelar	35
8.2	Olika presentationsmöjligheter	36
8.3	Anpassning till övriga byggnadsbestämmelser	40
8.4	Värdet av tradition vid värmeisoleringsdimensionering	40
8.5	Tilläggsisolering	41
9	SAMMANFATTNING	43
BILAGA 1	Kostnads- och k-värdesberäkningar för ingående byggnadsdelar	45
BILAGA 2	Dimensionering av anslutningsdetalj med hänsyn till energikostnader	53
BILAGA 3	Bestämning av isoleringstjocklek vid tilläggsisolering	59

1. BAKGRUND

Våra tidigare värmeisoleringsanvisningars huvuduppgift var att ge oss byggnader där ett gott rumsklimat kunde upprätthållas med traditionell uppvärmningsteknik.

Detta innebar att erforderlig värmeisolering med fördel bestämdes med utgångspunkt från ett fåtal gränsvärden på värmegenomgångskoefficienten (k-värden).

På grund av de ökade energipriserna har det nu visat sig vara nödvändigt att isolera betydligt mera än vad som erfordras för att säkerställa detta goda rumsklimat.

Detta ökade krav på värmeisoleringen uttrycktes i SBN 75 Supplement 1 med hjälp av en lista med lägre k-värden än tidigare.

Är nu detta sätt att presentera de skärpta kraven tillräckligt för att vi skall kunna ta till vara på de resurser vi satsar på energibesparande ändamål på ett riktigt sätt?

En dimensioneringsregel för värmeisolering och även andra energibesparande åtgärder borde i största möjliga utsträckning ge svar på följande frågor.

1. Hur mycket skall totalt satsas på energibesparande åtgärder i ett visst projekt?
2. Hur skall denna satsning fördelas för att så mycket energi som möjligt skall sparas?
3. Hur skall man vid denna satsning kunna beakta de speciella ekonomiska och fysikaliska förutsättningar som gäller vid varje enskilt byggnadsprojekt?

För att det skall vara möjligt att ge exakt rätt svar på den första frågan är det bland annat nödvändigt att känna till den framtida energiprisutvecklingen.

Denna är ju obekant för alla och SBN 75 kan därför i princip inte klandras för en eventuell miss i denna fråga.

Den nya k-värdes-listan i SBN innebär dock onekligen att man indirekt tagit ställning i den svåra frågan om den framtida energiprisutvecklingen. Det är då en onödig brist och komplikation att det inte klart framgår vilken utveckling eller tyvärr vilka utvecklingar man rättat sig efter.

När det gäller fråga 2 och 3 är SBN 75 till mycket liten hjälp och de schablonregler som lämnas är både ofullständiga och oprecisa.

Nu är dock dimensionering av isoleringsmängd i princip ett enkelt problem med en allmängiltig lösning som ger oss svar på de tre frågorna så långt möjligt som framgår nedan.

1.1 Dimensioneringsregler

För varje byggnadskonstruktion kan följande samband uppställas.

$$BK = P \cdot d + A \quad (1)$$

där BK = byggnadskonstruktionens byggkostnad (kr/m^2)

P = kostnaden för det isolerskikt vars tjocklek man är beredd att variera för att få rätt värmeisolering. I detta skall ingå kostnader för reglar, infästningsdon, utrymmes-kostnader, kostnader för fönster och smygar och andra tillkommande delar av anslutande byggnadskonstruktioner (kr/m^3)

d = tjockleken i detta skikt, antingen ett bestämt mått eller varierande inom vissa gränser. (m)

A = en konstant kostnadsdel som innehåller alla byggkostnader som är oberoende av skiktet d (kr/m^2)

$$\frac{1}{k_1} = \frac{d}{\lambda} + \frac{1}{k_0} \quad (2)$$

där k_1 = k-värdet för hela konstruktionen $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$

λ = värmemotståndet för skiktet d . Det skall vara det verkliga medelvärde med hänsyn till eventuella köldbryggor. $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$

k_0 = k-värdet för byggnadskonstruktionen exkl skikt d . $(W/m^2 \cdot ^\circ C)$

$$N = BK + k_1 \cdot Q \cdot E_0 \cdot \frac{1 - e^{-(r-f)T}}{r - f} \quad (3)$$

$$N = BK + k_1 \cdot Q \cdot \frac{1}{(KOE)^2}$$

där N = nuvärdet av byggkostnaden och kostnaden för att täcka det framtida energiflödet ut genom konstruktionen. (kr/m^2)

Med andra ord är N den summa pengar som man behöver avsätta vid byggtillfället för att vi förräntningen r_0

nätt och jämt skall kunna täcka byggkostnaden och kostnaden för byggnadens uppvärmning under hela avskrivningstiden. (kr/m^2)

Q = gradtimantal i tusental (1000 · h · °C)

E_0 = dagens energipris (effektivvärde) (kr/kWh)

r = kalkylränta = $r_0 - i$

r_0 = den förräntning som krävs $\left(\frac{\%}{100}\right)$

i = förväntad årlig penningvärdessförsämring $\left(\frac{\%}{100}\right)$

f = förväntad årlig ökning av energipriset utöver i . $\left(\frac{\%}{100}\right)$

T = avskrivningstid (år)

$$KOE = \sqrt{\frac{r - f}{E_0 (1 - e^{-(r-f)T})}} = \text{koefficient beroende}$$

av energipris, förräntningskrav och avskrivningstid.

Där d kan varieras kontinuerligt inom konstruktionen gäller

$$k_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{r - f}{E_0 (1 - e^{-(r-f)T})}} \sqrt{\frac{P \cdot \lambda}{Q}} \text{ eller}$$

$$k_{\text{opt}} = KOE \sqrt{\frac{P \cdot \lambda}{Q}} \quad (4)$$

där k_{opt} = det värde på k_1 för vilken N blir ett minimum.

$$d_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{Q \cdot E_0 \cdot \lambda (1 - e^{-(r-f)T})}{P (r - f)}} - \frac{\lambda}{k_0} \quad (5)$$

$$d_{\text{opt}} = \frac{1}{KOE} \sqrt{\frac{Q \lambda}{P} - \frac{\lambda}{k_0}}$$

Formel (4) är det uttryck man borde använda för att dimensionera värmeisolering i byggnader. Den är i princip användbar för varje värmeisoleringsproblem och kan även omformas till att gälla de flesta andra energibesparande åtgärder.

Fortfarande är dock det svar man erhåller på fråga 1 osäkert. Vad man totalt skall satsa på till energibesparande åtgärder är alltså ett frågetecken i samma mån som den framtida energiprisutvecklingen.

Denna osäkerhet är dock ej enbart till nackdel. En ökad kunskap om energiprisutvecklingen för lång tid framåt skulle så småningom kunna bli till visst hinder att agera riktigt inför den allra närmaste framtiden med hänsyn även till andra faktorer i samhället.

Mycket talar nämligen för att just ett fastställt prognosvärde på den framtida energiprisutvecklingen är rätt instrument för att styra vår satsning på energibesparande åtgärder. När det gäller värmeisolering bör detta ske genom formel (4).

Då får man det bästa svaret på fråga 2 vilket innebär att efter att ha dimensionerat värmeisoleringen enligt (4) är det i princip omöjligt att flytta en enda bit isolering från ett ställe inom ett byggnadsobjekt utan att försämra den ekonomiska bilden oberoende av hur den framtida energiprisutvecklingen än blir. Detta gäller oberoende av om byggnadsobjektet är en liten villa eller hela landets byggnadsproduktion.

Av uppbyggnaden på uttrycket (4) framgår också hur variationer i de ekonomiska och fysikaliska förutsättningarna kan beaktas. Även effekten av andra följdkostnader av olika slag såsom underhållskostnader, försäkringspremier och utrymmeskostnader kan också beräknas med samma uttryck.

En jämförelse mellan det ekonomiska utfallet, då man strikt följer SBN 75 eller den alternativa dimensioneringsmetod som härmed presenterats, följer nu.

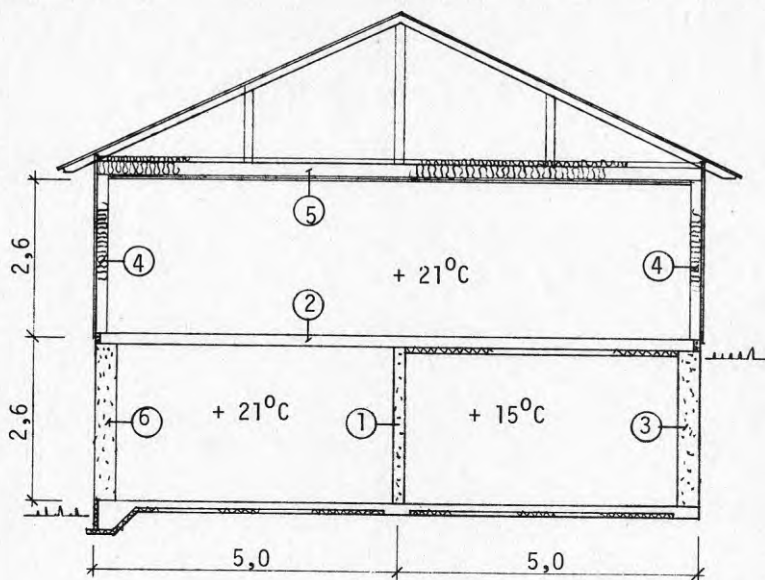


FIG. 5

En löpmeter av en byggnad med tvärsektion enligt fig. 5 studeras.

Byggnadsdelarna betecknas på följande sätt.

1	Mellanvägg	$A = 2,40 \text{ m}^2$
2	Mellanbjälklag	$A = 5,00 \text{ m}^2$
3	Lättbetong mot mark	$A = 2,16 \text{ m}^2$ (exkl fönster)
4	Träregelvägg	$A = 4,08 \text{ m}^2$ (exkl fönster)
5	Vindsbjälklag	$A = 10,00 \text{ m}^2$
6	Lättbetong mot det fria	$A = 2,04 \text{ m}^2$ (exkl fönster)

Hur de olika byggnadsdelarna är uppbyggda och hur kostnader och k-värden beräknas framgår av bilaga 1.

Inverkan av fönster och källargolv har ej beaktats. Orsaken till detta är ingalunda att dessa energiförluster skulle vara betydelselösa i detta sammanhang utan endast att de är komplicerade och ej nödvändiga för att demonstrera effekten av att optimera värmeisoleringen.

Värmebehovet i byggnaden beräknas med utgångspunkt från ett medelvärde på yttertemperaturen av $+6^\circ\text{C}$ och innetemperaturer enligt fig. 5.

3 BERÄKNINGSRESULTAT VID MASSIVA LÄTTBETONG- VÄGGAR I KÄLLARVANING

I tabell 1 första kolumnen framgår de isoleringstjocklekar som blir följden av SBN:s k-värdeslista. Härvid har för varje byggnadsdel valts den praktiska isolertjocklek som ligger närmast under det formella kravet varefter isolertjockleken ökats där detta är mest fördelaktigt d.v.s. vindsbjälklaget tills dess tillåten energiförlust för hela byggnaden underskrides.

I följande kolumner i tabell 1 redovisas k-värden ($W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$), energiförluster (kWh/år) och byggkostnader (kr) för de olika byggnadsdelarna.

På nedersta raden anges summan av energiförlusterna och byggnadskostnaderna.

I tabell 2 och 3 redovisas motsvarande resultat då byggnaden med samma principlösningar dimensioneras optimalt dels med förutsättningen att tillåten energiförlust nått och jämt skall klaras och dels med förutsättningen att byggkostnaden skall bli oförändrad.

Båda lösningarna är således sådana att inte en enda bit isoleringsmaterial kan flyttas från ett ställe i byggnaden till ett annat utan att kostnadsbilden försämras. Av tabell 2 framgår en byggkostnadsminskning på 196,43 kr d.v.s. 4,8 % och i tabell 3 finner man en energivinst på 200,87 kWh/år d.v.s. 20,7 %.

För att kunna bedöma vad denna energivinst är värd är det nödvändigt att få reda på vilket framtida energipris som skall tillämpas. Det ligger då nära till hands att söka den energiprisutveckling som passar normens värde.

3.1 Bestämning av energiprisutveckling ur SBN:s k-värden

Den k-värdeslista vi har att rätta oss efter sedan 1975 innebär nämligen indirekt ett ställningstagande i frågan om hur den framtida energiprisutvecklingen kommer att gestalta sig. Enbart k-värdet är dock inte tillräckligt för att bestämma denna prisutveckling men när det appliceras på en byggnadskonstruktion med viss byggkostnad och värmeisoleringsförmåga är det i princip enkelt att bestämma den energiprisutveckling som innebär att k-värdet ifråga har lett till en optimal konstruktion i den meningen att varje annat k-värde skulle ge en högre totalkostnad. Med totalkostnad avses här summan av byggkostnaden och nuvärdeskostnaden av den energimängd som beräknas passera genom konstruktionen under dess livslängd.

TAB. 1 Dimensionering enligt norm.

Tillåten energiförlust 973.03 kWh/år.
Massiv lättbetong i källare.

(KOE = 0,7007)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.0300	1.1112	292.03	901.50
Lättbtg mot mark	.2500	.4796	81.68	471.10
Träregelvägg	.1500	.3086	165.47	798.86
Vindsbjälklag	.1800	.1720	225.97	2899.80
Lättbtg mot det fria	.4750	.3088	82.77	741.44
Summa:			968.74	6195.26

TAB. 2 Optimal dimensionering vid tillåten energiförlust 973.03 kWh/år.

Massiv lättbetong i källare.

(KOE = 0,9703)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.1000	.5456	143.37	975.00
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1200	.3687	197.68	758.47
Vindsbjälklag	.1600	.1876	246.53	2875.60
Lättbtg mot det fria	.2000	.6579	176.35	473.69
Summa:			978.23	5898.83

TAB. 3 Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm.

Massiv lättbetong i källare.

(KOE = 0,7007)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1500	.7138	90.04	424.32
Mellanbjälklag	.1500	.4001	105.14	1027.50
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1750	.2717	145.68	831.50
Vindsbjälklag	.2000	.1587	208.57	2924.00
Lättbtg mot det fria	.3000	.4662	124.97	550.80
Summa:			767.87	6191.64

För varje konstruktion kan man alltså finna en energikostnadsutveckling eller rättare sagt ett värde på

$$\sqrt{\frac{r}{E_0 (1 - e^{-rT})}}$$

för vilket konstruktionen ifråga ger ett minimum på N .

För detta energipris kan värmeisoleringen i konstruktionen anses vara dimensionerad därför att om energipriset blev ett annat skulle det vara till fördel att ändra isolertjockleken.

Detta energipris beror både på konstruktionens typ och k -värde. Av detta följer att olika konstruktioner svarar mot olika energiprisutvecklingar även om de har ett och samma k -värde.

För en kombination av olika byggnadsdelar, d.v.s. en byggnad, finns det därför i regel inget entydigt värde på den energiprisutveckling för vilken byggnadens värmeisolering kan anses vara dimensionerad.

Den energiprisutveckling som kan beräknas för en konstruktion bygger på att man sätter likhetstecken mellan byggkostnaden för en marginell förändring av isolerskiktet och kostnaden för den marginella förändringen av energiströmmen som detta medför.

I en byggnad kan ju denna förändring genomföras på många olika sätt. Appliceras den på den för ändamålet bästa byggnadsdelen erhålles ett energipris och tillämpas den på den sämsta blir energipriset ett helt annat.

Ingen av dessa energikostnadsutvecklingar kan emellertid sägas vara representativ för byggnaden ifråga.

Om man däremot väljer ett energipris och dimensionerar alla byggnadsdelar efter det och väljer det så att den totala energiförbrukningen eller byggkostnaden för hela byggnaden härvid blir densamma som när byggnadens isolering dimensioneras enligt byggnormen har man funnit två representativa gränsvärden på den energiprisutveckling för vilken k -värdeslistan i SBN 75 kommer i så fördelaktig dager som möjligt.

Om sammanlagd tillåten energiförlust utgör det bästa mätetalet för normens mening kan denna energiprisutveckling i detta fall sammanfattas i $KOE = 0,9703$. I tabell 2 visas bästa möjliga val av isolertjocklekar med denna förutsättning.

Om däremot sammanlagd byggkostnad enligt SBN bör respekteras blir $KOE = 0,7007$ med optimala dimensioner enligt tabell 3.

Om man förutsätter att dagens energipris $E_0 = 0,10$ kr/kWh och avskrivningstiden för aktuell byggnad är 60 år innebär detta att den byggnad som redovisas i tabell 2 och 3 är rätt dimensionerad för $r_0 - i - f = 9,4$ % resp. 4,6 % vilket i stort sett är samma sak som att man förutsätter att vår framtida produktionsökning kommer att bli 9,4 % resp. 4,6 % större än energiprisökningen.

Är detta realistiskt och har vi råd med att slarva bort 4,8 % av våra byggkostnader eller göra oss av med 20,7 % energi alldeles i onödan?

Nu bör påpekas att dessa siffror gäller endast den byggnad som nu studerats. Alla tre lösningarna är dock helt normenliga och oavsett hur framtiden kommer att gestalta sig är den som trognast följer normen den sämsta, d.v.s. om vi inte blir överraskade av en halvering på energipriset.

3.2 Val av räntesatser

Vilka värden på r_0 , i och f skall man nu välja?

För den som lånar pengar efter vissa villkor är valet av r_0 i princip enkelt. Han eller hon kan i stort sett sätta likhets-tecken mellan r_0 och den ränta som måste betalas på lånet.

För den som har ett visst kapital och en alternativ investering med känd utdelning är det naturligt att jämföra r_0 med denna utdelning. Man bör då betänka att en investering i isolering är riskfri och ger garanterad utdelning under byggnadens hela livslängd.

När det gäller att bestämma i och f är situationen betydligt besvärligare.

Följande resonemang kan dock vara till en viss ledning.

För det första är ju isoleringsinvesteringen mycker säker vilket innebär att man kan ha måttliga anspråk på förräntningen.

Vidare kan man förutsätta att summan av $r_0 - i - f$ kommer att bli mera konstant än de enskilda termerna. Inflation och ränteläge har ju en tendens att följas åt och på sikt kan skillnaden ses som ett sorts mått på vår produktionsökning.

Man kan också anta att de länder som kan exportera energi kommer att notera de produktionsökningar vi hoppas skall komma och se till att de får ut en viss del av dessa men dock knappast mer än att utvecklingen går vidare i positiv riktning.

Det finns alltså en del som talar för att man i framtiden kan vänta sig ungefär följande kombinationer på $r_0 - i - f$.

$$\begin{aligned} 8 - 4 - 2 &= 2 \% \\ 3 - 1 - 0 &= 2 \% \\ 12 - 6 - 4 &= 2 \% \end{aligned}$$

Vi nöjer oss tills vidare med detta mycket tunna bevis för att isoleringsdimensionering är något som står över framtida variationer i penningpolitiken och att 2 % reell förräntning är vad som skall krävas av en energibesparande åtgärd.

Vidare antages att dagens energipris är 0,10 kr/kWh. Härvid har viss hänsyn tagits till installationskostnadernas fasta avgifter samt installationens verkningsgrad.

Även problemet att bestämma dagens energipris E_0 är således en ganska komplicerad uppgift. Ett exakt värde är ju också relativt ointressant så länge man inte kan vara säker på den framtida energikostnadsutvecklingen. I detta sammanhang är det dock praktiskt och på sikt riktigt att arbeta med ett enda energipris även om t.ex. el och olja idag uppvisar vissa kostnadsskillnader.

3.3 Konsekvenser av ökade energipriser

För $r_0 - i - f = 0,02$ och $E_0 = 0,1$ kr/kWh erhålles $KOE = 0,535$ och av tabell 4 framgår vilka isolertjocklekar som följer av denna framtidsprognos.

Nu är emellertid varken byggkostnad eller energiförluster det mest intressanta måttet på byggnadens ekonomi utan denna beskrivs bäst med nuvärdeskostnaden. I tabell 5 redovisas nuvärdeskostnaderna för de fyra isoleringsalternativ som studerats för de tre energikostnadsutvecklingar för vilka alternativen dimensionerats.

TAB. 4 Optimal dimensionering vid en framtida energikostnadsutveckling motsvarande $KOE = 0,535$.

Massiv lättbetong i källare.

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.2500	.4728	59.64	507.84
Mellanbjälklag	.2000	.3159	83.01	1080.00
Lättbtg mot mark	.2500	.4796	81.68	471.10
Träregelvägg	.3500	.1214	65.06	1040.40
Vindsbjälklag	.3400	.1020	134.08	3132.40
Lättbtg mot det fria	.3500	.4069	109.08	589.36
Summa:			532.55	6821.09

TAB. 5 Nuvärdeskostnader i kr vid massiv lättbetongvägg i källarvåning.

	r-f=0,094 KOE=0,9703	r-f=0,046 KOE=0,7007	r-f=0,02 KOE=0,535
1. Dimensionering enligt norm	7224	8168	9580
2. Optimal dimensionering med energiförlust enligt norm	<u>6938</u>	7891	9317
3. Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm	7007	<u>7756</u>	8874
4. Optimal dimensionering för $r - f = 0,02$	7387	7905	<u>8682</u>

En mera påtaglig bild av vad värdena på $r - f$ innebär erhålles om man ser framtiden mera konstant. Antag att man måste betala 4 % på investerat kapital och att man då kan räkna med att inflationen helt försvinner och att energipriset håller sig konstant under de 60 år som byggnaden antagits bestå. Då svarar $r - f = 0,094$ mot att energipriset kommer att hålla sig på 4,67 öre/kWh. Mot $r - f = 0,046$ resp. $r - f = 0,02$ svarar energipriserna 8,96 öre/kWh resp. 15,37 öre/kWh. Dessa priser skall jämföras med 10 öre/kWh som dagens energipris.

Nu kan det dock förefalla som om nära 0,5 m lättbetong skulle vara en oekonomisk lösning för källarväggen mot det fria och att detta skulle vara anledningen till att man kan finna en väsentligt bättre totallösning inom samma kostnadsram eller energiram.

Därför undersöks utfallet om vi ändrar väggtyp i källaren till en tilläggsisolerad lättbetongvägg. Resultaten redovisas i tabellerna 6 - 9.

4. BERÄKNINGSRESULTAT VID TILLÄGGSISOLERAD
LÄTTBETONG I KÄLLARVANING.

TAB. 6 Dimensionering enligt norm.

Tillåten energiförlust = 973,03 kWh/år.

Tilläggsisolerad lättbetong i källare.

(KOE = 0.9493)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.0300	1.1112	292.03	901.50
Lättbtg mot mark	.2500	.4796	81.68	471.10
Träregelvägg	.1500	.3086	165.47	798.86
Vindsbjälklag	.1800	.1720	225.97	2899.80
Tilläggsisol. lbtg	.0900	.3019	80.93	625.26
Summa:			966.90	6079.08

TAB. 7 Optimal dimensionering vid tillåten energi-
förlust 973,03 kWh/år.

Tilläggsisolerad lättbetong i källare.

(KOE = 1.1155)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.1000	.5456	143.37	975.00
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1200	.3687	197.68	758.47
Vindsbjälklag	.1300	.2173	285.50	2839.30
Tilläggsisol. lbtg	.0500	.4065	108.97	587.72
Summa:			949.81	5976.57

TAB. 8 Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm
Tilläggsisolerad lättbetong i källare.
(KOE = 0.9493)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.1000	.5456	143.37	975.00
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1200	.3687	197.68	758.47
Vindsbjälklag	.1600	.1876	246.53	2875.60
Tilläggsisol. lbtg	.1700	.1883	50.46	646.48
Summa:			852.34	6071.62

TAB. 9 Optimal dimensionering vid en framtida energi-
kostnadsutveckling motsvarande KOE = 0,535.
Tilläggsisolerad lättbetong i källare.

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.2500	.4728	59.64	507.84
Mellanbjälklag	.2000	.3159	83.01	1080.00
Lättbtg mot mark	.2500	.4796	81.68	471.10
Träregelvägg	.3500	.1214	65.06	1040.40
Vindsbjälklag	.3400	.1020	134.08	3132.40
Tilläggsisol. lbtg	.2500	.1368	36.66	667.69
Summa:			460.13	6899.43

Vi finner då att byggkostnaden vid dimensionering enligt normen sjunker med $6195,26 - 6079,08 = 116,18 \text{ kr/m}^2$.

Vid optimal dimensionering mot normens energiförluster får dock den tilläggsisolerade väggen $5976,57 - 5898,83 = 77,74 \text{ kr/m}^2$ högre byggkostnad.

Nuvärdeskostnaderna ger dock den bästa jämförelsen bland annat därför att de nästan helt raderar ut avrundningsdifferenserna.

I tabell 10 redovisas nuvärdeskostnaderna för tilläggsisoleringsalternativet och av tabell 11 framgår skillnaderna varvid + tecken anger favör för tilläggsisoleringsalternativet.

Resultatet är inte helt entydigt men den tilläggsisolerade lättbetongväggen bör nog ändå anses vara den bättre lösningen i den aktuella situationen.

TAB. 10 Nuvärdeskostnader i kr/löpm. vid tilläggsisolerad lättbetongvägg i källarvåning.

	r-f=0,094 KOE=0,9753	r-f=0,046 KOE=0,7007	r-f=0,070 KOE=0,5350
1. Dimensionering enligt norm	7106	8048	9457
2. Optimal dimensionering med energiförlust enligt norm	6985	7911	9294
3. Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm	<u>6977</u>	<u>7808</u>	9050
4. Optimal dimensionering för r - f = 0,02	7388	7837	<u>8507</u>

TAB. 11 Skillnaden i kr/löpm. byggnad mellan total kostnad vid massiv resp. tilläggsisolerad lättbetongvägg i källarvåning.

	r-f=0,094 KOE=0,9703	r-f=0,046 KOE=0,7007	r-f=0,020 KOE=0,5350
1. Dimensionering enligt norm	+ 118	+ 120	+ 123
2. Optimal dimensionering med energiförlust enligt norm	- 47	- 20	+ 23
3. Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm	+ 30	- 53	- 176
4. Optimal dimensionering för r - f = 0,02	- 1	+ 68	+ 175

Av tabellerna kan man också utläsa att vinsten av optimeringen mot byggnormens gränsvärden ej blir lika stor vid tilläggsisolerad lättbetong som då lättbetongväggen var massiv. 1,7 % av byggkostnaden resp. 11,8 % av energin jämfört med 4,8 % resp. 20,7 %.

Om man däremot dimensionerar mot ett högre energipris som också visar sig vara riktigt blir vinsten jämfört med normen något större 9580 - 8682 = 898 kr resp. 9457 - 8507 = 950 kr.

Ju mera enhetligt som isoleringen genomföres desto mindre finns nämligen att tjäna på en optimering av den totala värmeisoleringsresurs som blir följden av en dimensionering enligt SBN 75.

Utvecklingen har också gått i den riktningen att lättare mineralullslösningar där produkten av $P \cdot \lambda$ är liten väljes i allt högre grad framför konstruktioner med t.ex. lättbetong och mineralull med hög volymvikt som har högre värden på produkten $P \cdot \lambda$.

Denna utveckling medför byggkostnadsbesparingar men om man följer SBN strikt innebär det också paradoxalt nog att man värmeisolerar för allt lägre energipris.

Detta belyses av följande exempel.

Den massiva lättbetongväggen i det första exemplet har en marginalkostnad på 378 kr/m^3 och ett λ -värde på $0,16 \text{ W/m}^0\text{C}$.

När den dimensioneras för ett k-värde på $0,30 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ blir den optimal för ett jämförelsevärde på ett framtida energipris av $22,5 \text{ öre/kWh}$ (KOE = 0,4422) och den kostar $363,45 \text{ kr/m}^2$.

Den tilläggsisolerade lättbetongväggen kostar $306,5 \text{ kr/m}^2$ vid ett k-värde av $0,30 \text{ W/m}^{20}\text{C}$ och isoleringsskiktet har då marginalkostnaden 130 kr/m^3 och ett λ -värde på $0,04 \text{ W/m}^0\text{C}$. Detta innebär att väggkonstruktionen blir optimal för ett framtida energipris på $1,93 \text{ öre/kWh}$. (KOE = 1,508).

Detta innebär att det är ekonomiskt motiverat att tilläggsisolera betydligt mera i lättbetongväggar och att detta kommer att leda till betydligt större besparingar totalt än de $56,95 \text{ kr/m}^2$ som utgör skillnaden i byggkostnad.

SBN ger med andra ord inte tillräcklig belöning åt den som söker sig fram till konstruktioner där värmeisoleringsproblemet löses på ett ekonomiskt riktigt sätt.

Ett sorts övre gränsvärde på vilken isolertjocklek som bör väljas i ovanstående exempel erhålles om man dimensionerar tilläggsisoleringen efter ett framtida energipris av $22,5 \text{ öre/kWh}$.

Då erhålles

$$d = \sqrt{\frac{131,4 \cdot 0,04}{0,4422}} - \frac{0,04}{1,062} = 0,40 \text{ m}$$

$$\frac{1}{k} = 1,062 + \frac{0,40}{0,04}$$

$$k = 0,090 \text{ W/m}^{20}\text{C}$$

För den massiva lättbetongen blir totalkostnaden

$$N = 363,45 + 0,3 \cdot \frac{131,4}{0,4422^2} = 565,05 \text{ kr/m}^2.$$

För den tilläggsisolerade lättbetongen erhålles

$$N = 305,20 + 40 \cdot 1,3 + 0,090 \cdot \frac{131,4}{0,4422^2} = 417,60 \text{ kr/m}^2.$$

Det finns alltså snarare $565,05 - 417,60 = 147,45 \text{ kr/m}^2$ än $56,95 \text{ kr/m}^2$ att hämta i tilläggsisoleringen av lättbetongen.

Två väsentliga faktorer har emellertid försumrats vid denna kalkyl. För det första är det mycket tveksamt om 40 cm isolering fungerar praktiskt och teoretiskt på det sätt som förutsatts i den aktuella konstruktionen. Detta är givetvis en sak som bör undersökas innan man ger sig in på att bygga med sådana isolertjocklekar som 40 cm men i detta sammanhang förutsätts tillsvidare att normens λ -värden gäller inom aktuella intervall samt att isolerskikten kan hålla sig intakta både i byggskedet och bruksstadiet.

För det andra minskas nyttig byggyta då isolertjockleken ökas vilket bör beaktas, främst vid isolering av väggar.

Om byggnadens yttermått är låsta betyder detta mycket för isolertjockleken men om fasadlivet utan vidare kan flyttas ut blir denna påverkan normalt betydligt mindre.

Det kan även ha väsentlig betydelse om isolerskiktet placeras innanför eller utanför den bärande konstruktionsdelen. Kostnaderna för ytförlusterna kan härmed variera inom intervallet $0 - 1200 \text{ kr/m}^2$.

Vi antar nu att vi kan värdera ytförlusterna till 600 kr/m^2 lägenhetsyta i båda planen.

5. BERÄKNINGSRESULTAT DA UTRYMMESKOSTNAD BEAKTAS

I tabellerna 12 - 15 redovisas de isolertjocklekar som blir följden av att utrymmeskostnaden beaktas. 600 kr/m^2 lägenhetsyta belastar isolerskikten med kostnaden 250 d kr/m^2 .

Man kan notera att tjockleken på värmeisoleringen går ner jämfört med tabellerna 6 - 9 och att detta blir mer och mer uttalat ju högre energipris man dimensionerat för.

TAB. 12 Dimensionering enligt norm.

Tillåten energiförlust = 973,03 kWh/år.

Utrymmeskostnad beaktad.

(KOE = 0,7303)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.0300	1.1112	292.03	901.50
Lättbtg mot mark	.2500	.4796	81.68	498.10
Träregelvägg	.1500	.3086	165.47	798.86
Vindsbjälklag	.1800	.1720	225.97	2899.80
Tilläggsisol. lbtg	.0900	.3019	80.93	671.16
Summa:			966.90	6151.98

TAB. 13 Optimal dimensionering vid tillåten energiförlust 973,03 kWh/år.

Utrymmeskostnad beaktad.

(KOE = 1,0469)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.1000	.5456	143.37	975.00
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.0950	.4401	235.96	676.26
Vindsbjälklag	.1400	.2064	271.21	2851.40
Tilläggsisol. lbtg	.0500	.4065	108.97	613.22
Summa:			973.80	5931.96

TAB. 14 Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm.
Utrymmeskostnad beaktad.

(KOE = 0,7303)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1000	.9579	120.83	382.56
Mellanbjälklag	.1500	.4001	105.14	1027.50
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1200	.3687	197.68	727.87
Vindsbjälklag	.2000	.1587	208.57	2924.00
Tilläggsisol. lbtg	.0500	.4065	108.97	613.22
Summa:			834.65	6108.67

TAB. 15 Optimal dimensionering vid en framtida energi-
kostnadsutveckling motsvarande KOE = 0,535.
Utrymmeskostnad beaktad.

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Mellanvägg	.1500	.7138	90.04	454.32
Mellanbjälklag	.2000	.3159	83.01	1080.00
Lättbtg mot mark	.2000	.5488	93.47	433.51
Träregelvägg	.1750	.2717	145.68	857.00
Vindsbjälklag	.3400	.1020	134.08	3132.40
Tilläggsisol. lbtg	.1800	.1798	48.19	740.93
Summa:			594.47	6698.16

Av tabell 16 framgår vad man tjänat på genom att beakta utrymmes-
kostnaderna vid de alternativ som hittills studerats.

TAB. 16 Nuvärdeskostnader och minskningar av nuvärdeskostnader
(kr/löpmeter byggnad) genom att vid värmeisolerings-
dimensioneringen beakta en utrymmeskostnad av
600 kr/m² lägenhetsyta.

	r-f KOE=0,9703	r-f KOE=0,7007	r-f KOE=0,5350
1. Dimensionering enligt norm	7106 0	8048 0	9457 0
2. Optimal dimensionering med energiförlust enligt norm	6893 107	7842 84	9261 45
3. Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm	6902 147	7736 144	8952 170
4. Optimal dimensionering för $r - f = 0,02$	7256 474	7836 343	8702 147

6. BERÄKNINGSRESULTAT VID JÄMN TEMPERATUR I
KÄLLARVÄNINGEN.

I tabellerna 17 - 20 redovisas konsekvenserna av att ändra temperaturen till $+21^{\circ}\text{C}$ i hela källaren. Härvid erhålles en mycket enhetlig stomme både när det gäller värmeisoleringen och temperaturvariationerna. De besparingar som kan nås genom optimeringar i denna stomme kan därför ses som praktiska undre gränsvärden.

Av speciellt intresse är här den stora "missen" vid dimensionering mot den förutbestämda energiförlusten 589,20 kWh/år i tabell 18.

Anledningen till denna differens är att de lösningar som i och för sig ger energiförluster mellan 589,2 och 680,3 kWh/år och som dessutom är optimala i den bemärkelse att värmeisoleringen inte kan fördelas om med fördel ger högre nuvärdeskostnad än den lösning som presenteras av tabell 18.

För att kunna jämföra byggkostnaderna mellan tabell 17 och 18 korrigeras därför på följande sätt i tabell 18.

$$B\text{-kost}_{\text{korr}} = 4831,99 + \frac{(680,30 - 578,63)}{1,0024^2} = 4932,17 \text{ kr}$$

$$\Delta B = 4961,76 - 4932,17 = 29,59 \text{ kr.}$$

Alternativt kan motsvarande bedömning ske med utgångspunkt från tabell 19.

$$\Delta B\text{-kost} = 4961,76 - 4959,59 + \frac{578,63 - 553,23}{0,9703^2} = 29,15 \text{ kr,}$$

d.v.s. byggkostnaden minskas med $\frac{29,4}{4961} \approx 0,6 \%$.

Minskning av energiförlusten blir

$$\frac{578,63 - 553,23}{578,63} \approx 4,3 \%$$

Minskningen av nuvärdeskostnaden vid dimensionering mot KOE = 0,535 blir

$$4961,76 + \frac{578,63}{0,535^2} - 6506,91 = 474,44 \approx 9,6 \% \text{ av } 4961,76 \text{ kr.}$$

TAB. 17 Dimensionering enligt norm.
Tillåten energiförlust 589,20 kWh/år.
Jämn källartemperatur.

(KOE = 0,9703)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Träregelevägg	.1500	.3086	165.47	798.86
Vindsbjälklag	.1600	.1876	246.53	2875.60
Tilläggsisol. lbtg	.0900	.3019	166.63	1287.30
Summa:			578,63	4961,76

TAB. 18 Optimal dimensionering vid tillåten energi-
förlust 589,20 kWh/år.
Jämn källartemperatur.

(KOE = 1,0024)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Träregelevägg	.1200	.3687	197.68	758.47
Vindsbjälklag	.1500	.1966	258.28	2863.50
Tilläggsisol. lbtg	.0500	.4065	224.34	1210.02
Summa:			680.30	4831.99

TAB. 19 Optimal dimensionering med byggkostnad enligt norm.
Jämn källartemperatur.

(KOE = 0,9703)

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Träregelevägg	.1200	.3687	197.68	758.47
Vindsbjälklag	.1600	.1876	246.53	2875.60
Tilläggsisol. lbtg	.1600	.1976	109.02	1325.52
Summa:			553.23	4959.59

TAB. 20 Optimal dimensionering vid en framtida energi-
kostnadsutveckling motsvarande KOE = 0,535.
Jämn källartemperatur.

Byggnadsdel	Tjockl.	k-värde	Energi	B-kost
Träregelvägg	.3500	.1214	65.06	1040.40
Vindsbjälklag	.3400	.1020	134.08	3132.40
Tilläggsisol. lbtg	.2500	.1368	75.48	1374.66
Summa:			274.62	5547.46

7. SAMMANFATTNING AV BERÄKNINGSRESULTAT

TAB. 21

	Minskning av byggkostn. vid dimensionering mot energiförlust enl. norm.	Minskning av energiförlust vid dimensionering mot byggkostn. enligt norm.	Minskning av nuvärdeskostn. vid dimensionering mot KOE = 0,535 av byggkostnad.
Alternativ 1:			
Många isoleringsmaterial och temperaturzoner	4,8 %	20,7 %	13,2 %
Alternativ 2:			
Enhetligare isolering med många temperaturzoner.	1,7 %	11,8 %	13,8 %
Alternativ 3:			
Enhetlig isolering och två temperaturzoner.	0,6 %	4,3 %	9,6 %

Tabell 21 visar att man kan spara 1 - 5 % av byggkostnaden utan att öka energiförlusterna eller spara 5 - 20 % av energiförlusterna utan att öka byggkostnaderna genom att dimensionera med den metod som kan sammanfattas med formel (4) istället för att strikt följa SBN:s k-värdeslista.

Av tabellen framgår också att man genom att med metodens hjälp på ett riktigt sätt öka isoleringen utöver byggnormens krav med stor sannolikhet kan minska byggnadens energikostnader med 10 % av byggkostnaden för de värmeisolerande byggnadsdelarna.

Vidare avspeglas att det inom de flesta byggnadskonstruktioner finns kostnadsintervall och därmed isoleringstjocklekar som normalt ej har något existensberättigande oavsett vilken energiprisutveckling vi har att förvänta oss.

Detta framgår tydligare av diagram 22 och 23.

DIAGRAM 22 Optimala k-värden som funktion av KOE
(Energipris).

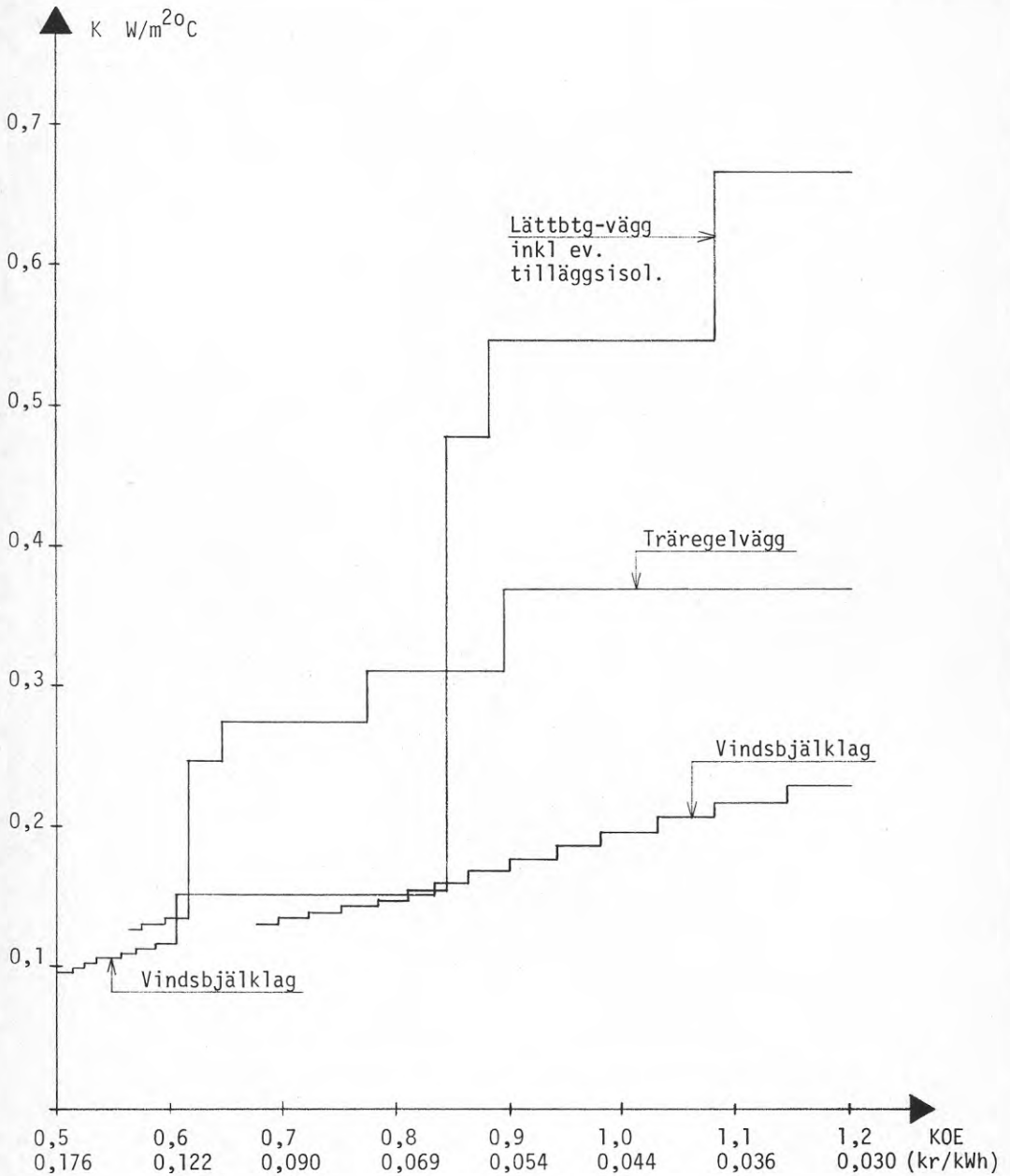
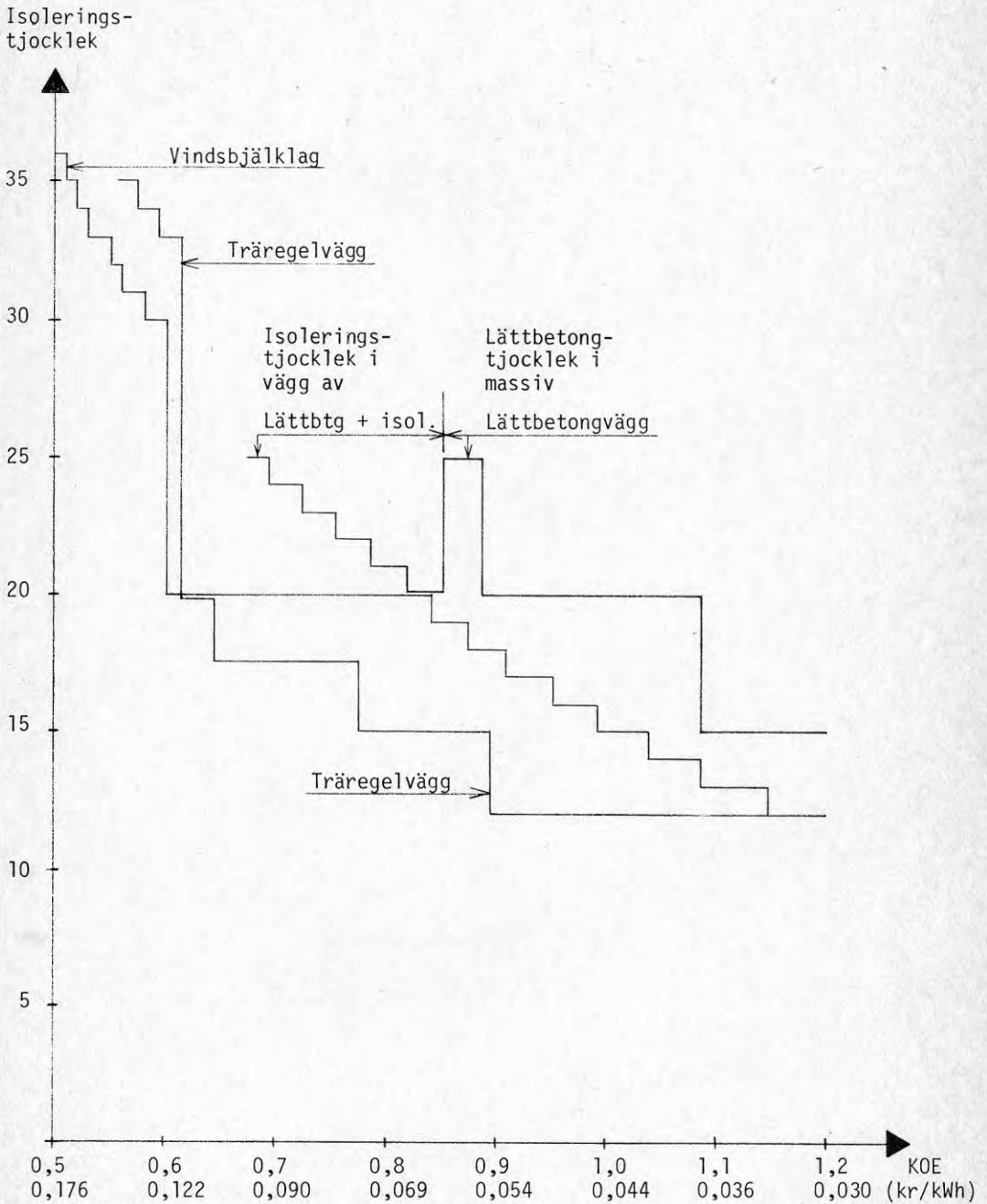


DIAGRAM 23 Optimala isolertjocklekar som funktion av KOE (Energipris).



8. DISKUSSION

8.1 Dimensioneringsmetodens fördelar

Vi har nu konstaterat att man i praktiken alltid direkt kan nå ekonomiska fördelar med den värmeisoleringsdimensioneringsmetod som nu presenterats. På matematiska grunder ger varje annat sätt att dimensionera ett sämre utbyte.

En annan fördel består i att metoden är tillämpbar för alla isoleringsåtgärder. Den gör det t.ex. möjligt att värdera olika detaljlösningar ur energi- och underhållssynpunkt som framgår av bilaga 2.

En ytterligare fördel är att den gör det möjligt att rättvist jämföra olika typer av energibesparande åtgärder med varandra. Om alla räknar med samma energiprisutveckling behöver man så att säga bara ställa resultaten bredvid varandra för att se vilket som är att föredra.

Den är mer inspirerande för vidareutveckling. Det ligger en dubbel effekt i t.ex. förbättring av isolerteknik som man inte kommer åt med fasta k-värden. Detta framgår exempelvis i tabell 4 där den mycket väl isolerade träregelväggen visade sig bli det mest ekonomiska alternativet.

Av systemet med fasta k-värden följer också att vissa tekniska lösningar blir utdömda enbart på grund av sina svagheter på energiområdet. De kan dock ha andra förtjänster som mycket väl kan kompensera dessa i vissa lägen. I vår formel kan detta beaktas på ett smidigt sätt genom att lägga in t.ex. underhålls- och försäkringskostnader direkt vid beräkningen.

Det här sättet att räkna ger oss också möjlighet att på ett enkelt sätt ta hänsyn till en mängd speciella förutsättningar som gäller vid varje byggnadsprojekt. Tre sådana som syns direkt i formeln är r , f , T och Q . Av tabellerna 12 - 15 framgår även vad det innebär för isoleringstjockleken då den kostar utbytbara yta.

Det är också värdefullt att metoden är användbar till alla problem. Den kräver heller inte några föreskrifter om temperaturintervall och vilka byggnadsdelar som skall räknas med eller inte. Allt skall naturligtvis i princip räknas med; joule som joule. Att det sedan alltid finns problem där en kalkyl av olika skäl är omotiverad är en annan sak men det är ändå alltid till fördel att man vet hur man skall räkna i den mån man skall eller anser sig behöva räkna.

Det måste rimligen också vara till fördel för våra myndigheter att kunna styra nivån för samtliga energibesparande åtgärder t.ex. genom att ange ett värde på KOE. Hur en presentation av en sådan styrmetod skall ske kan dock diskuteras.

8.2 Olika presentationsmöjligheter

Den beräkningsmetod som nu presenterats kan tillämpas på enskilda projekt varvid väsentliga fördelar kan vinnas utan hjälp av officiella styrmedel och utan att SBN:s anvisningar negligeras.

Men framför allt ur nationalekonomisk synpunkt skulle ytterligare fördelar kunna nås genom en ändring av nu gällande värmeisoleringsregler i riktning mot denna beräkningsmetod. Det är därför motiverat med en kort diskussion över hur detta skulle kunna ske.

Det kan då vara lämpligt att först studera den första delen av formel 4 som innehåller faktorerna E_0 , r_0 , i , f och T .

Av dessa är i och f de minst bekanta och följaktligen de värden man har störst behov av att få hjälp med att bestämma. Den myndighetsperson som alltså eventuellt skulle få befogenhet att bestämma dessa värden skulle i princip befria värmeisoleringsproblematiken från de enda verkliga frågetecknen. Det är naturligtvis önskvärt att den som fick ett sådant förtroende var framlyst och förständig men det räcker ändå i princip med Medel-svensson för att han skulle bli till gagn för samhället och betydligt mer än hälften av alla enskilda byggnadsprojekt om vi jämför med dagens sätt att dimensionera.

E_0 , d.v.s. i princip dagens energipris känner de flesta i branschen till något så när men det skulle ändå vara till fördel om ett lämpligt basvärde för energibesparande åtgärder fastställdes officiellt.

När det gäller r_0 och T är det i princip riktigt att välja de värden som verkligen passar aktuellt byggnadsobjekt. Därigenom skulle man undvika att förbruka resurser till isolering då bättre användningsalternativ låg för handen. I denna frihet ligger dock en viss frestelse att handla kortsiktigt och isolera mindre än vad som är riktigt åtminstone ur samhällets synpunkt.

I detta sammanhang är det naturligtvis av intresse vilken makt som ligger bakom faktorerna E_0 , i och f .

En ytterlighet består i att dessa faktorer enbart presenteras som rekommendationer utan kontrollapparat. Då är i vissa fall risken stor att ovan nämnda frihet missbrukas.

Den andra ytterligheten innebär att energin genom lämplig beskattning verkligen ges det pris vi uppmanas projektera för.

I ett sådant läge skulle säkerligen dimensioneringsreglerna både respekteras och bevakas utan omfattande kontrollapparat.

En sådan energibeskattnings skulle också på ett riktigt sätt verka stimulerande på energibesparing över huvudtaget. Det skulle exempelvis kunna bli lika lösvärt att smita från skatten genom att spara energi som att betala den genom att förbruka energi.

Man får givetvis hoppas att en sådan åtgärd skulle åtföljas av motsvarande sänkning av övrig skatt.

Om det nu är alltför kontroversiellt att i någon sorts officiella anvisningar presentera sådana storheter som framtida inflation och energipriser kan den första delen av vår formel slås samman till en enda koefficient (KOE) med den något underliga sorten

$$\sqrt{\frac{\text{kWh}}{\text{kr}}}$$

Med denna enda koefficient kan man alltså bekvämt styra värmeisolerings och även de flesta andra energibesparande åtgärder till önskad nivå på ett sådant sätt att man i varje enskilt projekt når optimal effekt av sin satsning.

Om det ändå skulle vara acceptabelt att på något sätt ange värden på inflation m.m. kan första delen av vår formel presenteras i obeskuret skick och det blir då dessutom möjligt att nyansera isoleringsnivån med hänsyn till att de ekonomiska förutsättningarna varierar mellan olika projekt.

Fortfarande finner man dock vid båda dessa alternativen i vår fullständiga formel en kontroversiell storhet nämligen byggkostnaden för isolerskiktet $P \text{ kr/m}^3$. Sorten kr har hittills varit bannlyst i Svensk Byggnorm och det är kanske riktigt att det skall vara så.

Det finns dock kompromisser som tar till vara våra möjligheter att isolera på ett riktigare sätt utan att man behöver tala om pengar.

En sådan skulle i princip kunna vara utformad på följande sätt:

"Byggnadskonstruktioner värmeisoleras så att de erhåller k-värden enligt nedanstående tabell 24. Dimensionerande för detta k-värde skall vara det skikt som har det lägsta λ -värdet. Tabellen gäller för gradtimantalet 100.000. För andra värden multipliceras nedanstående k-värden med

$$\sqrt{\frac{100.000}{Q_{\text{akt}}}}$$

TAB. 24

Material	$\gamma \text{ kg/m}^3$	$k \text{ W/m}^{2\circ\text{C}}$
Lättbetong	400	0,40
	500	0,50
	600	0,60
Mineralull	30 - 40	0,15
	50 - 65	0,20
	65 - 110	0,25

O.S.V.

OBS! att tabellvärdena i tabell 24 endast är grovt uppskattade för att belysa tendensen för lämpliga k-värden.

Som ett alternativ skulle även kunna anges godtagbara isolertjocklekar vid olika material. För just det aktuella radhuset skulle man t.ex. nå ett bättre ekonomiskt utbyte med föreskriften "Isolera $2\sqrt{Q}$ cm tjockt oavsett isolermaterial" än genom att följa SBN. (Jämför tabell 25 med tabellerna 1 - 5). Genom en något mera nyanserad föreskrift av samma typ där olika kostnader och isolerförmåga beaktades med varierande koefficienter framför \sqrt{Q} skulle man med säkerhet kunna ta till vara på våra isolerresurser bättre än genom SBN även i det allmänna fallet.

TAB. 25

Byggnadsdel	Tjockl. m	k-värde $W/m^2\text{ }^\circ\text{C}$	Energi	B-kost
Mellanvägg	0,145 \approx 0,15	0,7138	90,04	424,32
Mellanbjälklag	0,145 \approx 0,15	0,4001	105,04	1027,50
Lättbtg mot mark	0,179 \approx 0,20	0,5488	93,47	433,51
Träregelvägg	0,230 \approx 0,23	0,1908	102,30	966,96
Vindsbjälklag	0,230 \approx 0,23	0,1587	208,57	2924,00
Lättbtg mot det fria	0,230 \approx 0,25	0,5457	146,28	512,24
Summa:			745,80	6288,53

Nuvärde kr	r-f=0,094	r-f=0,046	r-f=0,02
	7036	7825	8894

En nackdel med dimensioneringsregler av ovan berörda typ skulle dock vara att man missade absolut optimum.

Med rätt utformning skulle detta dock betyda relativt lite då traditionella konstruktioner användes men så snart det var fråga om nya lösningar skulle sådana föreskrifter t.o.m. kunna bli till hinder.

Just med tanke på att det idag är mycket angeläget att ej förhindra utan på ett riktigt sätt inspirera utvecklingen inom byggnadsisoleringstekniken är det också angeläget att verkligen avslöja vad det är fråga om. Isoleringsproblemet är ju i hög grad ett ekonomiskt problem och det kan inte lösas på ett riktigt bra sätt så länge byggkostnaden för isolerskiktet ej beaktas.

I själva verket torde det vara mycket svårt att undvika att ge vissa material eller konstruktioner oförtjänta nackdelar eller fördelar om man tvingas isolera efter regler där kostnader ej får kallas kostnader.

Vid en öppen redovisning av problemställningen reduceras också risken för olyckliga gränser och inriktningar för utvecklingen.

Låt oss exempelvis göra en jämförelse mellan lättbetongväggen och träregelväggen såsom de blir värderade vid en strikt tillämpning enligt SBN 75 och enligt formel (4) vid oförändrad energiförlust.

Vid dimensionering enligt SBN erhålles, som framgår av tabell 1, en kostnadsskillnad på

$$\frac{741,44}{2,04} - \frac{798,86}{4,08} = 167,65 \text{ kr/m}^2$$

både när det gäller byggkostnad och nuvärde.

Detta leder till att det blir först när övriga plusvärden för lättbetongväggen bedöms överskrida $167,65 \text{ kr/m}^2$ som denna kommer ifråga.

I en dimensionering där endast energiförlusten enligt normen respekteras och sedan isoleringen arrangeras på bästa sätt blir byggkostnaden för lättbetongväggen

$$\frac{473,69}{2,04} - \frac{758,47}{4,08} = 46,30 \text{ kr/m}^2$$

större än för träregelalternativet såsom framgår av tabell 2.

Nuvärdeskostnadsskillnaden blir

$$46,30 + \frac{1}{0,9703^2} \left(\frac{176,35}{2,04} - \frac{197,68}{4,08} \right) = 86,70 \text{ kr/m}^2.$$

Det är i princip med utgångspunkt från dessa senare kostnadsskillnader som materialvalet borde göras.

För att kunna jämföra två konstruktionsalternativ med varandra är det dock nödvändigt att jämföra både funktion och hela byggkostnaden samt hela den förväntade framtida kostnadsbilden i form av driftskostnader och underhåll.

Vår kostnadsmodell innehåller endast byggkostnader för själva stommen och kostnaderna för den framtida energiförbrukningen.

Detta är tillräckligt för att jämföra en träregelkonstruktion med en annan och en lättbetongkonstruktion med en annan men i princip otillräckligt för en fullständig jämförelse och ovanstående siffror kan därmed betraktas som delkostnader.

När det gäller enbart värmeisolering i traditionella byggnadskonstruktioner finns det dock många möjligheter att formulera enkla dimensioneringsregler utan att direkt presentera kostnaden. Men för att få lite mer stadga i utvecklingen för nykonstruktioner inom olika områden på energisidan och för att kunna jämföra åtgärder inom olika sektorer med varandra är det dock snarast nödvändigt att någon slags officiell riktlinje på förväntad energiprisutveckling presenteras. Det är då väsentligt att ovan nämnda enkla dimensioneringsregler ges lägre status än denna officiella energikutveckling så att de ej kan komma att fungera som hinder för en riktig vidareutveckling.

Att man i dag ofta glömmet åtgärder som blir lönsamma vid ett energipris av 1 öre/kWh samtidigt som man satsar stora summor på åtgärder som behöver ett energipris av 1 kr/kWh för att förränta sig kan i och för sig vara försvarligt men att den huvudsakliga anledningen till detta ibland är att man inte anser sig ha tillgång till någon måttstock är beklagligt.

De experimenthus som utförts på senaste tiden har gett och kommer att ge ytterligare värdefull information om energibesparing i byggnader.

En byggnad där alla energibesparande åtgärder valdes och dimensionerades mot bakgrunden av dagens teknik och byggkostnads läge samt en lämplig framtida energikostnadsutveckling skulle dock säkerligen till en väsentligt lägre merkostnad ge upplysningar som var både lättare att tolka och mera direkt praktiskt användbara.

8.3 Anpassning till övriga byggnadsbestämmelser

Det är dock inte enbart med utgångspunkt från SBN 1975 som man dimensionerar värmeisolering idag. Man har också att rätta sig efter lånebestämmelser som är uppbyggda på helt annat sätt och som styr mot gränser och åtgärdstyper efter vissa schabloner som egentligen kan passa det enskilda fallet rätt illa.

Det kan naturligtvis finnas motiv att presentera t.ex. värmeisoleringskraven väsentligt olika för t.ex. byggherrar och konstruktörer d.v.s. på finansieringsplanet och på konstruktionsplanet.

Alla föreskrifter som har med energibesparing att göra kan dock och bör upprättas med full respekt för de enkla ekonomiska och fysikaliska samband som råder vilket leder till att man kommer till samma resultat var man än börjar och hur man än ser på problemet.

Det är på den vägen man kan förenkla bestämmelsekomplexet och inte genom att dölja ett enkelt samband bakom en rad skenbart enklare grova schabloner som varken passar ihop eller täcker aktuellt område fullständigt i synnerhet inte om man har ambitionen att söka sig fram mot nya och bättre byggnadskonstruktioner.

8.4 Värdet av tradition vid värmeisoleringsdimensionering

En fördel har dock SBN:s kravlista framför den metod som nu behandlats. Alla känner till den och man har vant sig vid att arbeta efter den. Denna fördel bör vägas mot följande.

En projektör är skyldig att dimensionera byggnader på fördelaktigaste sätt och är därför i själva verket förhindrad att använda byggnormens k-värdeslista till annat än ett mått på tillåten värmeegenomgång.

Projektören bör vidare välja den minst kostnadskrävande konstruktion som uppfyller vissa krav. Ju bättre han klarar av detta när det gäller värmeisolering desto mera sannolikt är det att han mer eller mindre omedvetet dimensionerar för ett energipris som är betydligt lägre än dagens.

För den beställare som är nöjd med den lägsta byggkostnaden inom normens ram är ju detta en ideallösning medan det för brukaren skulle vara till väsentlig fördel att isolera betydligt mera. Vem skall projektören hålla på i en sådan situation?

Det är alltså svårt att komma ifrån att se byggnormen som en krånglig väg fram till ett svar som visar sig vara en fråga.

8.5 Tilläggsisolering

Ett dilemma i dagens byggsituation är i vilken grad man bör satsa på tilläggsisolering och om tilläggsisolering på något sätt skall uppmuntras på bekostnad av nybyggnad.

Att isoleringsmängden i båda alternativen bör bestämmas enligt formel (4) som framgår av bilaga 3 är till viss hjälp i denna fråga men fortfarande återstår många frågetecken.

Låt oss därför jämföra en nykonstruktion och en tilläggsisoleringskonstruktion med samma marginalkostnad för isoleringen och samma kostnad för fasadskiktet.

I båda fallen skall konstruktionen i fråga ges samma k-värde som kan antas vara $0,2 \text{ W/m}^{20\text{C}}$.

Om k-värdet för den gamla väggen är $1,0 \text{ W/m}^{20\text{C}}$ medför tilläggsisoleringen en energivinst på $0,8 \text{ W/m}^{20\text{C}}$. När man bygger nytt fås en energiförlust på $0,2 \text{ W/m}^{20\text{C}}$. I en situation där de båda åtgärderna kan ses som alternativ är tilläggsisoleringen således $1,0 \text{ W/m}^{20\text{C}}$ bättre åtminstone ur samhällets synpunkt vilket vid en energiprisutveckling motsvarade $\text{KOE} = 0,535$ motsvarar ett nuvärde på den framtida energikostnaden på

$$1,0 \cdot \frac{131,4}{0,535^2} = 459 \text{ kr/m}^2!$$

Ändå framstår ofta tilläggsisolering som en ganska tveksam affär.

Anledningen till detta torde vara att det vid tilläggsisolering faller sig naturligt att kräva att minskningen i energiförbrukningen skall förränta hela byggkostnaden.

En nybyggnad däremot leder alltid till ett ökat energibehov och det är därmed helt utsiktslöst att förvänta sig någon förräntning från energisidan. I den lönsamhetskalkyl som bör ha föregått beslutet att bygga nytt finns nog energikostnaderna med men som en tämligen uppmärksam post långt ned på minussidan.

Denna differens i synsättet behöver dock i princip inte innebära att man skall behöva behandla tilläggsisolering och nybyggnad väsentligt olika från myndigheternas sida.

Vi borde säkert redan idag dimensionera mot ett energipris som ger acceptabel lönsamhet i många tilläggsisoleringsåtgärder.

Om detta energipris inte var fiktivt utan verkligt skulle i princip inte några ytterligare åtgärder från samhällets sida krävas.

Om detta energipris däremot var fiktivt och högre än vad man verkligen behövde betala skulle det vara rimligt att myndigheterna, som sålunda lurat fastighetsägarna i fråga att satsa på en olönsam åtgärd, trädde in och subventionerade för mellanskillnaden. Denna subvention skulle sålunda erfordras endast om energipriset blev klart lägre än man väntat och i ett sådant läge kan man hoppas att vårt samhälle har det gott ställt.

Om det dessutom erfordrades ytterligare uppmuntran för satsning på tilläggsisolering skulle det med hänvisning till ovanstående resonemang vara rimligt att denna utdelades i proportion till k_0 d.v.s. den ursprungliga väggens k -värde.

Detta kan vara en intressant utgångspunkt för diskussion av dagens lånebestämmelser där subventioneringens storlek är oberoende av den ursprungliga väggens isoleringsegenskaper.

9. SAMMANFATTNING

Då en byggnad värmeisolerar bör byggnadsdelar, där isolermaterialet är effektivare och mindre kostnadskrävande än byggnadens medelisolering, ges ett lägre k-värde än byggnadsdelar där isolermaterialet är dyrbart eller mindre effektivt.

Närmare bestämt bör i varje byggnad varje byggnadsdel isoleras så att dess k-värde blir proportionellt mot roten ur produkten av isolerskiktets marginalkostnad och värmeledningsförmåga dividerat med byggnadsdelens gradtimantal.

När detta villkor är uppfyllt inom en byggnad är det i princip inte längre möjligt att förflytta en enda liten del av värmeisoleringen från ett ställe på byggnaden till ett annat utan att försämra kostnadsbilden ur energisynpunkt.

Detta tillstånd är i praktiken omöjligt att nå genom att strikt dimensionera efter SBN 75 som härmed i princip kan förbättras i följande tre steg.

1. Alla byggnadsdelar i en och samma byggnad dimensioneras efter samma framtida energiprisutveckling. Enbart med hjälp av detta steg kan man utan att bryta SBN:s ram i det enskilda fallet minska byggkostnaden med 2 - 5 % eller energiförlusten med 5 - 20 %.

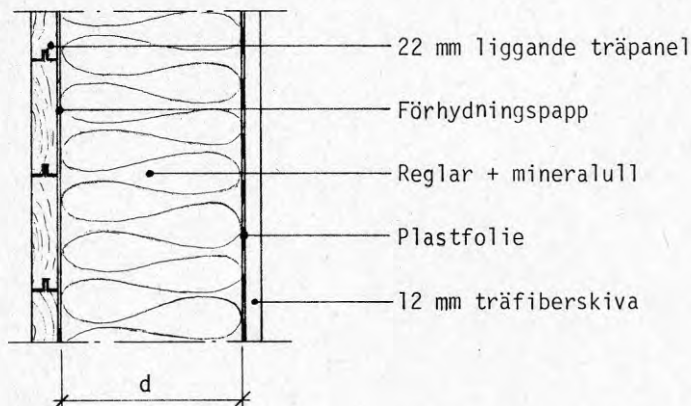
2. Alla byggnadsdelar i samtliga byggnader inom landet dimensioneras efter samma officiella framtida energiprisutveckling.

Detta steg skulle vara till väsentlig nytta ur samhällets synpunkt även om detta officiella energipris inte är riktigare än medelvärdet av de olika energipris som tillämpas i steg 1.

3. Alla byggnadsdelar i samtliga byggnader inom landet dimensioneras för en riktigare energiprisutveckling än den som skönjes i SBN 75. Det ökade kostnadsmedvetandet när det gäller värmeisolerings teknik leder nämligen vid bibehållen respekt för SBN:s fasta k-värdeslista paradoxalt nog till att man isolerar som om man väntade sig allt lägre energipris i framtiden.

Genom att eliminera denna allt vidare klyfta och dimensionera för en mera sannolik energikostnadsutveckling kan man idag påräkna en minskning av nuvärdet på summan av byggkostnad och framtida energikostnad med ca 10 % av byggkostnaden.

Alla dessa steg kan i princip nås genom dimensionering enligt ett enda enkelt matematiskt samband som rymmer stora möjligheter för såväl övergripande styrning från samhällets sida som anpassning till variationer i grundförutsättningarna för det enskilda projektet. Dimensioneringsmetoden ifråga leder vidare in på intressanta utvecklingsvägar utan att för den skull utesluta traditionella väl beprövade konstruktionslösningar.

BILAGA 1Kostnads- och k-värdesberäkningar för ingående byggnadsdelarTräregelvägg

För de delar av väggen som ligger utanför resp. innanför det värmeisolerande skikt som skall varieras gäller följande kostnader:

Fasadställning	29,40 kr/m ²
22 mm liggande panel	61,60 "
Förhydningspapp	4,30 "
Plastfolie	3,40 "
Träfiberskiva	31,00 "
	<hr/>
	129,70 kr/m ²

Värmemotståndet för denna del av väggen beräknas enligt följande:

$$m = 0,25 + \frac{0,022}{1,4} + 0,04 + \frac{0,012}{0,08} = 0,60 \text{ m}^2\text{C/W}$$

För det återstående skiktet av reglar (3,5 m² vägg) och mineralull gäller:

$$m_{\text{trä}} = \frac{d}{0,14} = 7,14 \cdot d \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$m_{\text{isol}} = \frac{d}{0,04} = 25 \cdot d \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$A_{\text{trä}} = 3,5 \cdot 0,048 = 0,168 \text{ m}^2/\text{m}^2 \text{ vägg}$$

$$A_{\text{min.u11}} = 0,832 \text{ m}^2/\text{m}^2 \text{ vägg}$$

$$m_{\text{tot}} = \frac{d}{\frac{0,832}{25} + \frac{0,168}{7,14}} = d \cdot 17,6 \text{ m}^2\text{C/W}$$

95 mm - regler

Kostnader:

Reglar	32,30 kr/m ²
Mineralull	17,50 "
	<hr/>
	49,80 kr/m ²

$$\text{BK} = 129,70 + 49,80 = 179,50 \text{ kr/m}^2$$

$$m = 0,6 + 17,6 \cdot 0,095 = 2,272 \text{ m}^2\text{C/W}$$

$$k = 0,4401 \text{ W/m}^2\text{C}$$

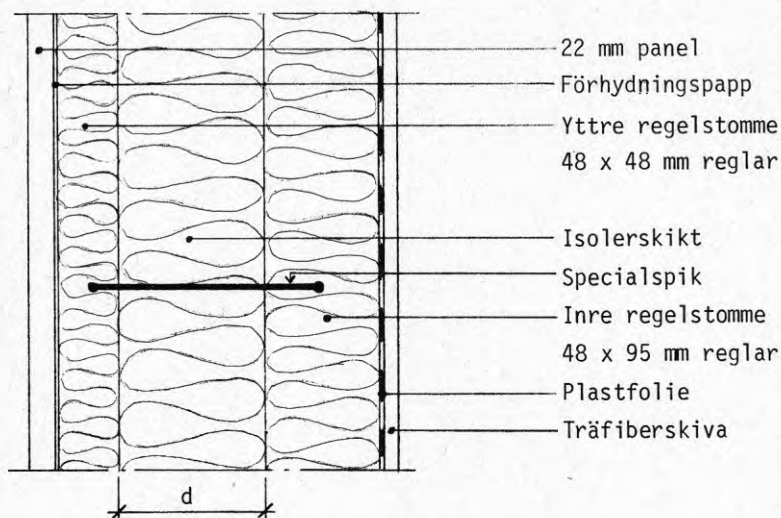
För övriga regeldimensioner erhålles på samma sätt

Regeldim. (m)	BK kr/m ²	m m ² C/W
0,120	185,90	2,712
0,150	195,80	3,240
0,175	203,80	3,680
0,200	212,90	4,120

I byggkostnaden för 0,15 - 0,20 regelväggarna har härvid medräknats kostnaden för inklädning av fönstersmygar m.m. uppgående till $1,50 + 30(d - 0,12)$ kr/m² fasadyta.

(d = regeltjocklek i m).

Träregelvägg vid stora isolertjocklekar



Kostnad för väggen exkl. d

Ytterreolar	20,40 kr/m ²
Yttermineralull	12,70 "
Innerreglar + innermineralull	49,80 "
	<hr/>
	82,90 kr/m ²

Grundkostnad

$$129,70 + 82,90 = 212,60 \text{ kr/m}^2$$

$$m = 3,24 \text{ m}^2 \text{C/W}$$

Kostnad för skikt d

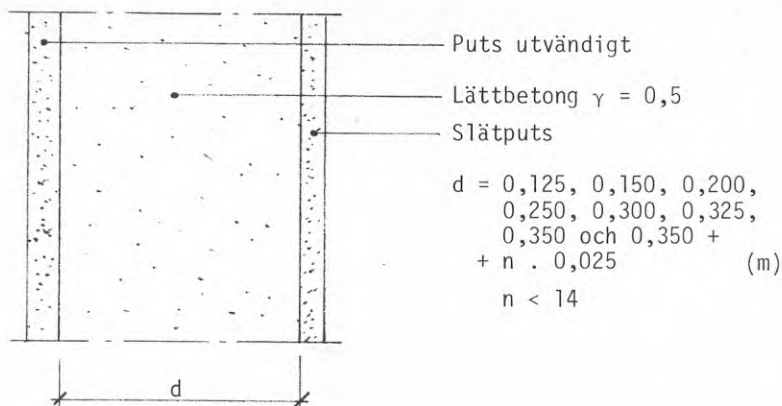
Specialspik 4 st/m ²	2 + 20d kr/m ²
Mineralull Material	1 + 100d kr/m ²
Arbete	6,70 kr/m ²
Smygkostnad	1,50 + 30 (d + 0,03) kr/m ²

Totalkostnad för väggen blir härmed

$$202,50 + 150d \text{ kr/m}^2$$

Det totala värmemotståndet blir

$$m = 25d - 0,51 \text{ m}^2 \text{C/W}$$

Lättbetong mot det fria

Kostnad exkl d.

Utvändig puts	71,40 kr/m ²
Invändig slätputs	36,40 "
Murarställning	24,50 "
	<hr/>
	132,30 kr/m ²

Detta leder till följande kostnader och m-värden vid olika tjocklekar (inkl smygkostnader).

d m	BK kr/m ²	m m ²⁰ C/W
< 0,35	156,60 + 378d	0,27 + 6,25d
> 0,35	183,90 + 378d	0,27 + 6,25d

(Vid d > 0,35 måste två väggar muras upp).

Lättbetong mot mark

Den utvändiga putsen kan förenklas och värmemotståndet i marken kan tillgodoräknas vilket leder till följande samband för kostnader och värmemotstånd.

d m	BK kr/m ²	m m ²⁰ C/W
< 0,35	131,10 + 348d	0,77 + 5,26d
> 0,35	158,40 + 348d	0,77 + 5,26d

Mellanvägg av lättbetong

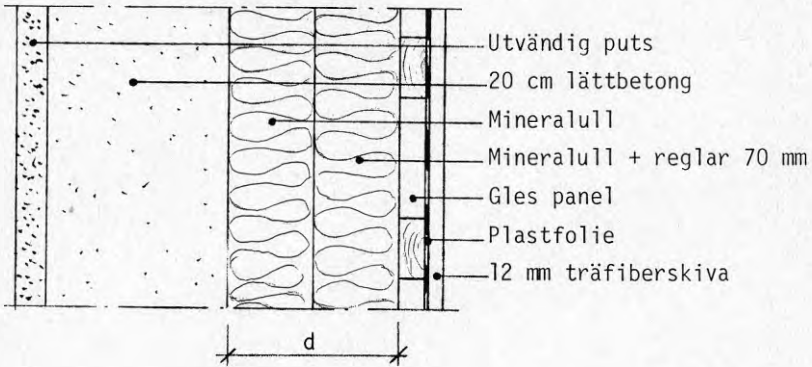
d m	BK kr/m ²	m m ²⁰ C/W
0,10 - 0,30	124,60 + 348d	0,33 + 7,14d

Tilläggsisolerad lättbetong

Utgå från 20 cm lättbetong utan invändig puts.

$$BK = 156,60 + 378 \cdot 0,2 - 36,40 = 195,80 \text{ kr/m}^2$$

$$m = 0,25 + 6,25 \cdot 0,2 = 1,50 \text{ m}^2\text{C/W}$$



Kostnad för träfiberskiva + gles panel + plastfolie $53,80 \text{ kr/m}^2$

$$\Delta m = 0,08 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Kostnad för 5 cm regelstomme inkl mineralull $33,10 \text{ kr/m}^2$

Kostnad för 7 cm regelstomme med mineralull $40,60 \text{ kr/m}^2$

För $d > 0,07 \text{ m}$ tillkommer

$$6,70 + 1 + 100d \text{ kr/m}^2$$

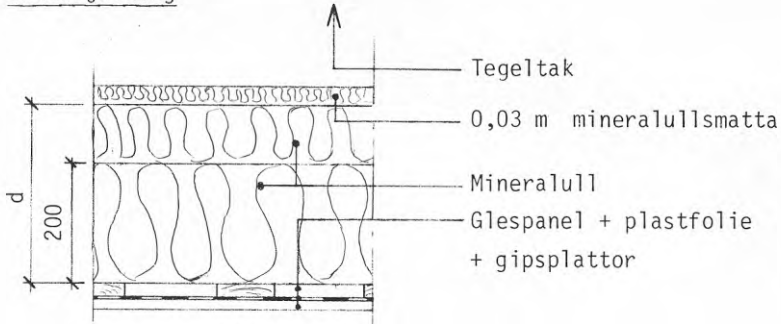
Smygkostnad

$$1,50 + 30(d + 0,08) = 3,90 + 30d \text{ kr/m}^2$$

Härav erhålles följande kostnader och m-värden

d m	BK kr/m^2	m $\text{m}^2\text{C/W}$
0	260,00	1,062
0,05	300,60	2,460
0,07	313,70	2,812
$0,08 + n \cdot 0,01$	$325,80 + 3,8 \cdot n$	$3,062 + 0,25 \cdot n$

Vindsbjälklag



Kostnad för betongplattor + mineralullsmatta

$$BK = 268,50 \text{ kr/m}^2$$

$$m = 0,25 + 0,30 + \frac{0,03}{0,04} + \frac{0,20}{1,4} = 1,45 \text{ m}^2\text{C/W}$$

Kostnader och m-värden för hela takkonstruktionen

d m	BK kr/m ²	m m ² C/W
0 < d < 0,20	268,20 + 121d	1,45 + 24,25d
0,20 < d < 0,45	272,10 + 121d	1,30 + 25d
0,45 < d < 0,70	276,00 + 121d	1,30 + 25d

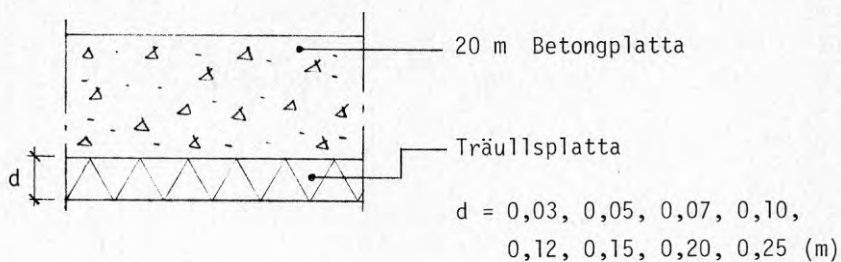
Häri ingår kostnader för extra vägg vid takanslutningen enligt följande samband.

Panel	(d - 0,2) . 61,60 kr/m ²
Papp	(d - 0,2) . 4,30 "
Reglar	(d - 0,2) . 41,60 "
	(d - 0,2) . 107,50 kr/m ²

Vilket fördelas på 5 m² takyta

$$\Delta BK = 21 (d - 0,20) \text{ kr/m}^2.$$

Tilläggsisolerad betongplatta



Kostnad för själva betongplattan

$$BK = 161 \text{ kr/m}^2$$

$$m = 0,30 + \frac{0,20}{1,0} = 0,5 \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Kostnad för träullsskiva

$$BK = 13 + 210d \text{ kr/m}^2$$

$$m = \frac{d}{0,075} = 13,33d \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

Sammanlagt för $d \neq 0$

$$BK = 173 + 210d \text{ kr/m}^2$$

$$m = 0,50 + 13,33d \text{ m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W}$$

BILAGA 2

Dimensionering av anslutningsdetalj med hänsyn till energikostnader

I en byggnad förekommer alltid knutpunkter där olika byggnadsdelar möts. De hållfasthetsmässiga aspekterna på detta är väl studerade och behandlade i våra bestämmelser. Konsekvenserna ur energisynpunkt är däremot bristfälligt beaktade i byggnormen.

Ett skäl till detta är säkerligen att det är utomordentligt svårt att i anslutning till normens uppbyggnad finna något enkelt sätt att presentera lämpliga värmeisoleringskrav.

Bara en sådan sak som att definiera vägg, bjälklag och tak på ett sådant sätt att det alltid klart framgår vad som är vad kan vara ett svårt men i detta sammanhang egentligen onödigt problem.

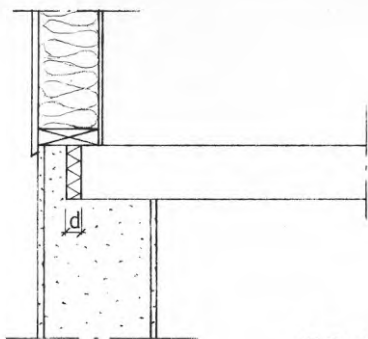
Byggnormens lösning består i en rekommendation att isolera så bra det går med hänsyn till omständigheterna. Det är ingen direkt dålig handlingslinje ty problemställningen är ofta så besvärlig och omfattningen så liten att det ofta ej är ekonomiskt försvarbart att i det enskilda fallet studera detta närmare.

Det är dock i sådana korsningspunkter vi idag hittar de ur energisynpunkt sämsta delarna av våra byggnader och det skulle därför vara mycket värdefullt att åtminstone jämföra de olika principlösningar som i dag står till buds.

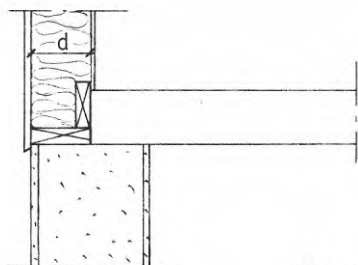
Även för detta ändamål fungerar sambandet enligt formel ④ bra och i princip bör därför t.ex. anslutningsdetaljer så att säga få delta på samma villkor som övriga byggnadsdelar i den fördelning av isoleringsresursen som ligger bakom en optimal dimensionering.

Det är med andra ord inte så att en anslutningsdetalj helt och hållet bör bestämmas av dimensioner på anslutande byggnadsdelar utan i någon mån bör dessa även anpassas efter t.ex. de energiförluster som orsakas av anslutningsdetaljer.

I nedanstående exempel studeras emellertid enbart själva anslutningsdetaljen vid följande alternativa utformningar.



ALT. 1



ALT. 2

Alternativ 1

Byggkostnader:

Puts utvändigt	0,2 · 71,40	= 14,30 kr/m
Lättbetong 7 cm	0,2 · 57	= 11,40 "
Arbete med kantisolering		= 4,20 "
		<hr/>
		29,90 kr/m

Kostnad för själva isoleringen

$$BK = 40 \cdot d \text{ kr/m}$$

Totalt

$$BK = 25,70 \text{ kr/m då } d = 0$$

$$BK = 29,90 + 40 \cdot d \text{ kr/m då } d \neq 0$$

m-värden

$$m = 0,25 + \frac{0,02}{1,0} + \frac{0,07}{0,16} + \frac{d}{0,04}$$

$$m = 0,71 + 25d \text{ m}^2\text{C/W}$$

Effektiv bredd för köldbryggan kan antas vara 0,3 m varav följer

$$m = 2,36 + 83,3d \text{ m}^2\text{C/W}$$

d väljes maximalt stort med hänsyn till anslutande väggars tjocklek så att

$$d_{\max} < \begin{cases} d_{\text{trävägg}} - 0,09 \text{ m} \\ d_{\text{lättbetong}} - 0,14 \text{ m} \end{cases}$$

Alternativ 2

Byggkostnader oberoende av d

Liggande panel	61,6 · 0,2	= 12,30 kr/m
Papp	4,3 · 0,2	= 0,85 "
Arbete för "kantform"		= 5,90 "
Plastfolie	3,4 · 0,4	= 1,35 "
		<hr/>
		20,40 kr/m

Vid $d = 0,095$ tillkommer ΔBK

Reglar	0,37 . 32,30	= 11,95 kr/m ²
Mineralull	0,15 . 17,50	= 2,65 "
		14,60 kr/m ²

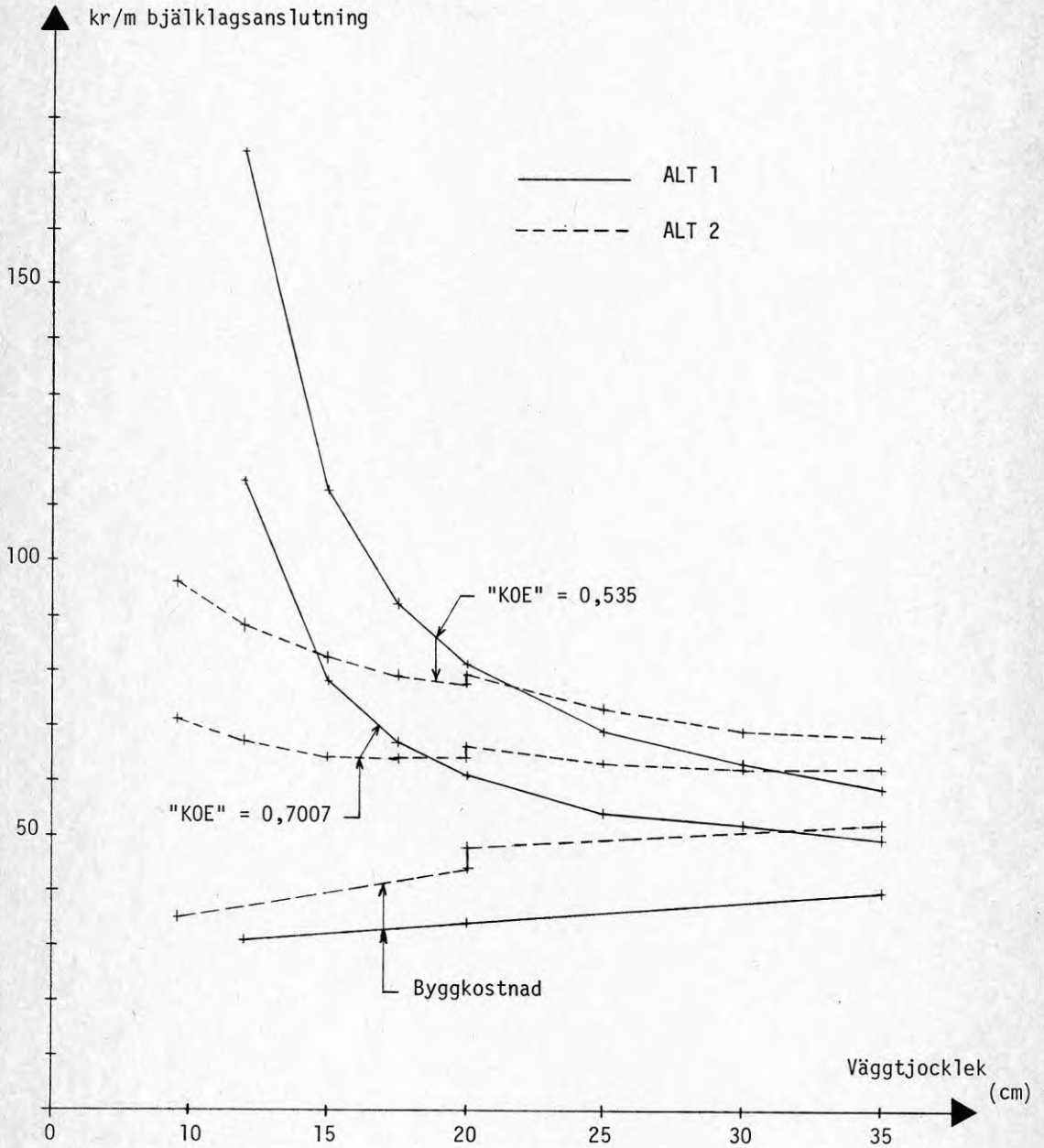
För övriga d-värden

d m		
0,12	ΔBK = 16,65 kr/m	
0,15	18,70 "	
0,175	21,00 "	
0,20	23,55 "	
> 0,20	22,40 + 24d kr/m	

m-värden

d = 0,095 m	m = 7,57	m °C/W
0,12	9,04	"
0,15	10,80	"
0,175	12,27	"
0,200	13,73	"
< 0,200	83,33d - 1,70	"

Med dessa förutsättningar visas i diagram 26 byggkostnader och nuvärdeskostnader som funktion av träväggens d-värde vid de energiprisutvecklingar som kan karakteriseras av KOE = 0,7007 resp. KOE = 0,535.



BILAGA 3

Bestämning av isoleringstjocklek vid tilläggsisolering

Vid tilläggsåtgärder kan det vara frestande att se maximum av kvoten mellan energibesparing och total kostnad som en eftersträfvärd optimalpunkt.

Detta är emellertid en sämre dimensioneringsmetod än formel (4) vilket framgår av följande exempel.

Antag att tre åtgärder, I, II och III, står till buds.

Byggekostnaderna för dessa kan beskrivas genom sambanden

$$BK = A + P \cdot d$$

$$\text{I} \quad BK = 200 + 200d \text{ kr/m}^2 \quad m = 1,0 + 20d \text{ m}^{20}\text{C/W}$$

$$\text{II} \quad BK = 300 + 200d \text{ kr/m}^2 \quad m = 1,0 + 20d \text{ m}^{20}\text{C/W}$$

$$\text{III} \quad BK = 400 + 200d \text{ kr/m}^2 \quad m = 1,0 + 20d \text{ m}^{20}\text{C/W}$$

Vid ett energipris 0,10 kr/kWh, $r_0 - i - f = 0,02$, $T = 60$ år och $Q = 120.000 \text{ h} \cdot ^\circ\text{C}$ erhålles enligt (4)

$$k_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{0,02}{0,1 (1 - e^{-0,02 \cdot 60})}} \cdot \sqrt{\frac{200}{120 \cdot 20}}$$

$$= 0,15444 \text{ W/m}^{20}\text{C} \quad \text{KOE} = 0,535$$

$$d = 0,27375 \text{ m mineralull för alla tre alternativen.}$$

Härav erhålles följande nuvärdeskostnader

$$\text{I} \quad N = 200 + 0,27375 \cdot 200 + \frac{0,15444 \cdot 120}{0,535^2}$$

$$= 200 + 54,75 + 64,75 = 319,50 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{II} \quad N = 419,50 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{III} \quad N = 519,50 \text{ kr/m}^2$$

Om man dimensionerar efter principen att kvoten mellan energibesparing och byggekostnad skall bli maximal erhålles isoleringstjockleken enligt sambandet

$$d = \sqrt{\frac{A \cdot \lambda}{P \cdot k_0}} \quad (\text{m}) \quad (5)$$

d.v.s. $d = 0,2236, 0,2739$ och $0,3162$ m
och $k = 0,18275, 0,15437$ och $0,13654$ W/m²°C

för de tre åtgärderna.

Detta leder till följande nuvärdeskostnader

$$\begin{aligned} \text{I} \quad N &= 200 + 0,2236 \cdot 200 + \frac{120 \cdot 0,18275}{0,535^2} \\ &= 200 + 44,72 + 76,62 = 321,34 \text{ kr/m}^2 \end{aligned}$$

$$\text{II} \quad N = 419,51 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{III} \quad N = 520,49 \text{ kr/m}^2$$

Kostnadsskillnaderna råkade bli små men pekar hela tiden åt rätt håll.

Om man ställer dubbelt så hårda förräntningskrav

(KOE = $0,535 \cdot \sqrt{2}$) erhålles vid dimensionering enligt formel (4)

$$\text{I} \quad N = 200 + 35,78 + 45,79 = 281,57 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{II} \quad N = 381,57 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{III} \quad N = 481,57 \text{ kr/m}^2$$

Vid dimensionering enligt (5) erhålles vid samma förutsättningar

$$\text{I} \quad N = 200 + 44,72 + 38,31 = 283,03 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{II} \quad N = 387,08 \text{ kr/m}^2$$

$$\text{III} \quad N = 491,87 \text{ kr/m}^2$$

Kostnadsskillnaderna är fortfarande måttliga men pekar åt rätt håll.

Detta innebär att isolerförmågan men ej kostnaden för de skikt som är belägna utanför eller innanför ett isoleringsskikt skall beaktas då isoleringsskiktets tjocklek bestämmes. Det är alltså exempelvis fel att försöka kompensera kostnaden för dyrbara yt-skikt med att isolera lite extra.

En annan konsekvens som framgår av exemplet är att kostnadsskillnaderna mellan optimalvärde och värden som ligger i närheten blir små. Detta skulle kunna formuleras som så, att optimaltjockleken inte är det värde man måste välja utan snarare det värde från vilket man kan avvika åtskilliga procent åt båda hållen utan att det har någon praktisk betydelse. En förutsättning för detta är givetvis att man ej passerar något kostnadsprång i konstruktionen.

Det stora antalet decimaler i denna rapport tjänar således i huvudsak endast det syftet att visa att den absolut lägsta kostnaden kan nås genom dimensionering enligt formel (4).

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 771176-8 från
Statens råd för byggnadsforskning till Tekn. dr. Arne
Johnsons Ingenjörbyrå AB, Stockholm.**

R8:1979

ISBN 91-540-2966-X

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6600908

**Abonnemangsgrupp:
Z. Konstruktioner o. material**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 1403
111 84 Stockholm**

Cirka pris: 20 kr exkl moms