



LUND UNIVERSITY

Bygga - Bruka - Riva : Energianvändning i småhus ur ett kretsloppsperspektiv

Adalberth, Karin

1995

[Link to publication](#)

Citation for published version (APA):

Adalberth, K. (1995). *Bygga - Bruka - Riva : Energianvändning i småhus ur ett kretsloppsperspektiv*. [Licentiatavhandling, Avdelningen för Byggnadsfysik]. Byggnadsfysik LTH, Lunds Tekniska Högskola.

Total number of authors:

1

General rights

Unless other specific re-use rights are stated the following general rights apply:

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

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

Read more about Creative commons licenses: <https://creativecommons.org/licenses/>

Take down policy

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

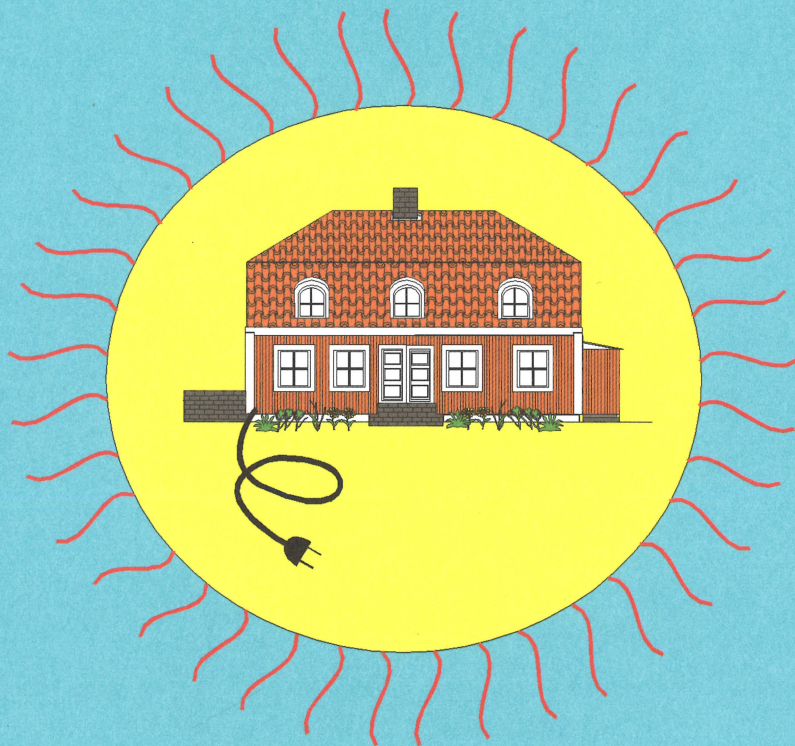
LUND UNIVERSITY

PO Box 117
221 00 Lund
+46 46-222 00 00

LUND UNIVERSITY
Dept. of Building Physics



LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
Inst. för Byggnadsteknik
Avd. för Byggnadsfysik
RAPPORT TVBH-3027



Bygga Bruka Riva

Energianvändning i småhus
ur ett kretsloppsperspektiv

Karin Adalberth

ISRN LUTVDG/TVBH--95/3027--SE(1-158)
ISBN 91-88722-04-X

Bygga Bruka Riva

Energianvändning i småhus
ur ett kretloppsperspektiv

Karin Adalberth

Avdelningen för Byggnadsfysik
Lunds tekniska högskola
Lunds universitet
Box 118
221 00 LUND
046-222 73 85

© 1995 Karin Adalberth
Illustrationer: Lilian Johansson och Peter Nilsson
Omslag: Peter Nilsson
Tryck: Grahns Boktryckeri
Upplaga: 355 exemplar
ISBN 91-88722-04-X

Abstract

This report deals with single-unit dwellings built in 1991 and 1992 in a city called Örebro, Sweden. The houses are prefabricated and the frameworks are made of wood.

The aim of the essay is to present the total use of energy during the life-cycle of single-unit dwellings, taking their mode of construction into account. The life-cycle of a house is divided into the following periods: production (manufacturing of the building materials, transportation of the materials and erection of the single-unit dwellings); management (occupation and renovation); and, finally, destruction (demolition and removal of debris). The management period is assumed to be 50 years.

Key-words: single-unit dwellings, energy, energy use, life-cycle

Innehållsförteckning

1. Bakgrund	17
1.1. Syfte	18
1.2. Avgränsningar	18
1.3. Metodik	18
1.4. Beskrivning av småhusområdet på Bo92	19
1.5. Disposition	21
2. Miljövärderingsmodeller - en litteraturstudie	23
2.1. En modell för miljöbedömning av svenska småhus	23
2.2. Modeller för att miljöbedöma byggnader	26
2.2.1. Englands modell: Environmental Standard	26
2.2.2. Kanadas modell: Building Environmental Performance Assessment Criteria	29
2.2.3. Diskussion	31
3. Dokumentering av byggteknik och utförande	33
3.1. Bakgrund	33
3.2. Metodik	34
3.2.1. Besök av byggarbetsplats	34
3.2.2. Dokumentation av ritningar	34
3.2.3. Förvaring av dokumentation	35
3.2.4. Dagboksanteckningar över byggverksamheten	35
3.2.5. Fotografering	35
3.2.6. Dokumentationens innehåll	36
3.3. Avslutande kommentarer	36
4. Energiflöden under brukartid	37
4.1. Bakgrund	37
4.2. Metodik	37
4.2.1. Förutsättningar	37
4.2.2. Beräkningsprogram	38
4.3. Inneluftsventilerad krypgrund	39

4.3.1. Beskrivning	40
4.3.2. Förutsättningar	40
4.3.3. Resultat	40
4.3.4. Slutsats	42
4.4. Modifierad platta på mark	43
4.4.1. Beskrivning	43
4.4.2. Förutsättningar	43
4.4.3. Resultat	44
4.4.4. Slutsats	44
4.5. Oventilerad kryppgrund med golvvärme	45
4.5.1. Beskrivning	45
4.5.2. Förutsättningar	47
4.5.3. Beräkningsmodell	48
4.5.4. Resultat	55
4.5.5. Beräkningsmodell för radiatoruppvärmning	56
4.5.6. Relation mellan golvvärme och radiatoruppvärmning	57
4.5.7. Slutsats	57
4.6. Ytterväggar	58
4.6.1. Resultat	59
4.7. Tak	60
4.7.1. Resultat	63
4.8. Energibalans för småhusen	64
4.8.1. Förutsättningar	64
4.8.2. Resultat	69
4.8.3. Slutsatser	74

5. Energibehov för att bygga, bruka och riva 77

5.1. Bakgrund	77
5.2. Metodik	78
5.2.1. Tidsfaser	78
5.2.2. Ingångsdata	78
5.2.3. Förutsättningar	79
5.2.4. Energikonvertering	80
5.2.5. Avgränsningar	81
5.3. Beskrivning av de tre studerade småhusen	82

5.3.1. Hus 1	82
5.3.2. Hus 5	85
5.3.3. Hus 19	87
5.4. Resultat	90
5.4.1. Tillverkningsenergi	90
5.4.2. Transportenergi under produktion, renovering och destruktion	100
5.4.3. Processenergi vid uppförande och nedrivning	103
5.4.4. Brukareenergi under förvaltning	105
5.5. Sammanfattning	109
5.6. Diskussion	110
5.7. Parameterstudie av hus 1	111
5.7.1. Husets livslängd varieras	112
5.7.2. Brukarberoende parametrar varieras	113
5.7.3. Inomhustemperatur varieras	115
5.7.4. Ytterväggars värmeisoleringstjocklek varieras	116
5.7.5. Antal glas i fönster varieras	119
5.7.6. Grundläggningsmetod varieras	120
5.7.7. Energieffektiv utformning och användning	123
5.7.8. Mindre energieffektiv utformning och användning	126
5.7.9. Hushålls- och fastighetselens verkningsgrad varieras	129
5.7.10. Sammanfattning	131
5.7.11. Slutsatser	133
6. Avslutande diskussion	135
7. Referenser	139
Bilaga A: Sammanställning av Englands miljöbedömningsmodell	143
Bilaga B: Transmission- och ventilationsförluster för hus 30	145
Bilaga C: Beräkningsalgoritmer i datorprogrammet ENORM	147
Bilaga D: Indata till ENORM	149
Bilaga E: Antagna körsträckor för byggmaterial	157

Sammanfattning

I vårt dagliga liv använder vi mycket energi utan att egentligen reflektera över det. Energi kräver som bekant någon form av energikälla för att produceras. Energikällan kan t.ex. vara olja, kol, biobränsle, sol, kärnkraft eller vattenkraft. Vid förbränning av olja bildas koldioxid, svaveldioxid, kväveoxider m.m. och dessa bidrar i hög grad till skador på den mänskliga och naturliga miljön. Några av de miljöpåverkande effekterna är växthuseffekten och försurningen i mark och vatten. Dessa effekter är ett hot mot vår egen överlevnad och vi måste därför hushålla med energin.

Syfte

Syftet med detta arbete är att ta fram kunskaper om den totala energiåtgången för småhus under deras livscykel med hänsyn tagen till det praktiska utförandet av småhusen. De olika tidsfaserna under livscykeln är tillverkning, transport, uppförande, brukande, renovering och rivning. Brukarfasens livslängd är antagen till 50 år.

Syftet med arbetet är också att jämföra energiåtgången mellan de olika tidsfaserna. Vid jämförandet av energiåtgången under de olika tidsfaserna utförs också en parameterstudie för att analysera vilken inverkan olika lösningar (parametrar) har på den samlade energianvändningen under en byggnads livscykel.

Förutsättning

Rapporten behandlar ett antal småhus som byggdes under 1991 och 1992 för att visas upp på den Svenska Bostadsmässan Bo92 i Örebro. Småhusen är prefabricerade och deras stomme består av trä. Husen har planerats noggrant av ett Vetenskapligt Råd. Medlemmarna i rådet är verksamma inom områdena energiteknik, byggteknik, arkitektur, medicin, ventilation och inomhusklimat.

Metod

Energibehovet under brukarstadiet d.v.s. till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel beräknas med hjälp av datorprogrammet ENORM (Munther K, 1992). Värmeflödet genom grundläggningskonstruktionerna under brukarstadiet beräknas med hjälp av datorprogrammen CRAWL (Hagentoft C-E, 1986) och SLAB (Hagentoft C-E, 1988a).

För att erhålla kunskap om det praktiska utförandet har byggverksamheten studerats, fotograferats och dokumenterats noggrant. Arbetsplatsbesök har gjorts en gång i månaden under ca 1½-års tid.

För att beräkna det totala energibehovet under ett småhus livscykel har ingångsdata hämtats ur ett par andra arbeten. Ingångsvärden för beräkning av tillverkningsenergin och processenergin under uppförandet och nedrivningen av småhusen har hämtats ur ett forskningsarbete gjort på Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark (Andersen S et al, 1993). Basdata för energibehovet av olika transportarbeten baseras på en utredning gjord av Transportrådet (Transportrådet, 1985).

Resultat och slutsatser

I Bo92-projektet har fotograferingen och dokumenteringen av byggverksamheten fått en viktig funktion. I början av projektet fanns nämligen en dialog mellan Vetenskapliga Rådet, konstruktörer, entreprenörer och hantverkare för att klarlägga och förmedla olika kunskaper och

idéer om husen. Tyvärr gick byggföretaget som uppförde småhusen i konkurs varför information och kunskap gick förlorad då nya entreprenörer fick färdigställa småhusen. Följderna är bl.a. att några material och vissa konstruktionsutförningar avviker från ursprungliga intentioner. Dessutom är inte själva arbetsutförandet utfört såsom ursprungligen avsågs. Förändringen är dokumenterad dåligt av entreprenören. Det är därför svårt att i efterhand bedöma konsekvenserna av gjorda avvikelser.

Ur energisynpunkt blir konsekvensen den att det beräknade uppvärmningsbehovet ökas med 10% i genomsnitt för hus nummer 1 t.o.m. 24. Det beräknade medelvärdet för uppvärmningsbehovet för hus 1 t.o.m. hus 30 är $81 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})$ samt det totala energibehovet för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel är $142 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})$.

Vid energiberäkningar på olika grundläggningsmetoder framgår att den modifierade plattan på mark har stora köldbryggor i sitt konstruktionsutförande. Köldbryggorna beräknas ge ett "extra" energiflöde på ca $2600 \text{ kWh}/\text{år}$. Utan hänsyn till köldbryggorna är värmegenomgångskoefficienten för grunden $0,260 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Med hänsyn till köldbryggorna är värmegenomgångskoefficienten $0,500 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, vilket motsvarar en obruten värmeisolering med en tjocklek på 30 mm under en "vanlig" platta på mark! Temperaturen på golvytan förväntas också bli låg. Grundläggningsmetoden rekommenderas inte utan betydande förändringar.

En modell för att beräkna värmetransporten genom en oventilerad kryppgrund med golvvärme i bottenbjälklaget är också utvecklad. De teoretiska beräkningarna visar att den oventilerade kryppgrunden har en hög värmegenomgångskoefficient på $1,16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$. Orsaken till det höga värdet är att värmerören i bottenbjälklaget ökar värmetransporten ner i krypprummet samt att "värmeisoleringsförmågan" mellan värmerören och kryppgrunden är låg. En jämförande beräkning utförs också mellan golvvärme och ett uppvärmningssystem med radiatorer. Resultatet visar att ca 15% större effektbehov föreligger för huset om golvvärme används istället för radiatorer!

Vid beräkningen av energibehovet under småhusens livscykel framgår att energin för att tillverka alla byggnadsmaterial vid produktion och renovering motsvarar ca 15% av det totala energibehovet. Transportenergin och processenergin under uppförandet och nedrivningen av småhusen utgör mindre än 1% av det totala energibehovet. Dessa tidsfasers energibehov är litet sett ur husens hela livscykel.

Huvudandelen av energianvändningen, ca 85%, sker under brukartiden. Det är därför mycket viktigt att producera hus med låga transmissionsförluster, med få köldbryggor, som utnyttjar solinstrålning, som är lufttäta, med väl fungerande ventilation och värmeåtervinning, med hög verkningsgrad på värmeanläggningen och med energieffektiva hushållsmaskiner. Observera att husen, i det utförandet som de redan är, är att betrakta som lågenergihus.

Resultatet från parameterstudien visar att val av fönster (dess värmegenomgångskoefficient) har stor inverkan på det totala energibehovet under småhusets livscykel. Av resultatet framgår också att brukaren bör välja 4-glas fönster (istället för 3-glas fönster) framför alternativet med ökad värmeisoleretjocklek (från 290 till 490 mm) i ytterväggarna.

Slutligen bör påpekas att det studerade småhusets totala energibehov från "vaggan till grav" kan minskas med ytterligare ca 1/4-del med i dag kommersiell tillgänglig teknik. Detta förutsätter att husets konstruktioner har låga transmissionsförluster (490 mm värmeisoleretjocklek i ytterväggar; 200 mm cellplast under en platta på mark; 700 mm lösull i takkonstruktionen; 4-glas fönster), har en täthet i ytterskalet på $1 \text{ m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad, har en värmeåtervinning ur frånluften på 80% och där de boende hushållar med varmvattnet och hushållselen samt sänker inomhustemperaturen med en grad till 19°C .

Summary

Every day of our lives, we use a lot of energy without reflecting on it. Naturally, some kind of source is needed in order to produce that energy. This source might, for example, be oil, coal, biofuels, solar energy, nuclear power or hydro power. During the combustion of fossil fuels such as oil, pollutants like carbon dioxide, sulphur dioxide and nitrogen dioxide are released. These pollutants have adverse effects on health, the environment and the climate; the greenhouse effect and acid rain may be quoted as examples. These effects are threatening our own existence; therefore we must use energy more carefully.

Objectives

The aim of this essay is to present the total use of energy during the life-cycle of single-unit dwellings, taking their mode of construction into account. The life-cycle of a house is divided into the following periods: production (manufacturing of the building materials, transportation of the materials and erection of the single-unit dwellings); management (occupation and renovation); and, finally, destruction (demolition and removal of debris). The management period is assumed to be 50 years.

Another aim is to compare the consumption of energy from one period to the next. In connection with these comparisons, various parameters of the single-unit dwellings are analysed with a view to examining the impact of the relevant parameter on total energy use during the life-cycle of the building.

Background

This report deals with single-unit dwellings built in 1991 and 1992. The houses are prefabricated and the frameworks are made of wood. The single-unit dwellings were constructed for a Swedish exhibition in a city called Örebro. They were planned and designed by a special committee whose members are experts in the following areas: architecture; construction technology; energy; medicine; ventilation and indoor climate.

Method

Energy utilisation during the management phase was calculated with the aid of the computer program ENORM (Munther K, 1992). The flow of heat through the foundations during the period of occupation was by means of the computer programs CRAWL (Hagentoft C-E, 1986) and SLAB (Hagentoft C-E, 1988a).

In order to obtain knowledge of the period of construction, the site was visited, investigated and photographed every month for a period of 1½ years.

The data needed for calculating the entire energy consumption during the manufacture of the building materials, the erection phase and the demolition of the single-unit dwellings were collected from research performed by the Danish Building Research Institute (Andersen S et al, 1993). The data required for the transportation period were derived from the research of The Swedish Board of Transport (Transportrådet, 1985).

Results and conclusions

The knowledge gained during visits to the building site became very important for this study. At the beginning of the erection phase, the project manager, the architect, specialists and craftsmen communicated with one another in order to understand the new ideas and different

designs that featured in the construction. Unfortunately, the construction company went bankrupt halfway through the erection stage and was obliged to transfer the work to another firm. The new company did not have much communication with the other parties involved. This resulted in some incorrect material purchases: in addition, some structures and work performed at the building site deviated from the original intentions. If the erection phase had not been carefully monitored, it would have been difficult to determine afterwards how the houses were actually built.

One of the consequences of above-mentioned bankruptcy is that energy utilisation increased by an average of 10 per cent (theoretically calculated) in respect of the single-unit dwellings. The calculated energy use for heating purposes was $81 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ usable floor area} \cdot \text{year})$ on average. The total average energy requirement for heating, hot water and electricity was $142 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ usable floor area} \cdot \text{year})$.

Calculations of the flow of energy through the foundations showed that the modified slab on ground had a large thermal bridge, which resulted in an extra energy flow of approximately 2600 kWh/year . The U value without the thermal bridge was $0.260 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ compared with $0.500 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ with the thermal bridge (an U value of $0.500 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ corresponds to a foundation made up by a slab on the ground with 30 mm polystyrene underneath). In winter-time, too, when it is cold outside, the floor of the modified slab on ground is likely to entail problems with cold surface temperatures. This foundation is obviously not to be recommended without substantial changes.

In order to calculate the flow of heat through an unventilated crawl-space with underfloor heating, a model was developed. The theoretical calculations showed that the unventilated crawl-space with underfloor heating has a very high U value, amounting to $1.16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. The reason for the poor U value is that the underfloor heating increased the heat flow through the lower floor down to the crawl-space, and that this phenomenon occurred in combination with inadequate insulation between the underfloor heating and crawl-space. This calculation was compared with the situation which prevailed when the heating system consisted of radiators. The result was that the underfloor heating system requires 15 per cent more energy than the radiator system.

Calculations of the total utilisation of energy during the life-cycle of these single-unit dwellings demonstrated that 15 per cent of the total energy consumption "from the cradle to the grave" is made up of energy required in the manufacturing of building materials. The energy required for transportation, erection of the single-family house and demolition accounts for less than 1 per cent of the total energy utilisation. Therefore, these factors are negligible in the context of the entire life-cycle of the house.

The period during which the largest proportion of the energy is needed, 85 per cent, is the actual occupation of the house (heating, hot-water production and electricity). Therefore, it is essential to produce houses with low heat transmissions, few thermal bridges, which are able to take advantage of solar energy, evince a low degree of infiltration, possess well-functioning ventilation with heat exchangers and are equipped with highly efficient heating systems and electrical equipment.

The parameter-evaluation component in the life-cycle assessment also demonstrated that the U value of the windows has a large influence on the total energy use from the cradle to the grave. The results showed that 4-glazed windows (instead of 3-glazed ones) are a better alternative compared with thicker insulation (from 290 mm to 490 mm) when it comes to energy use during the life-cycle of the single-unit dwellings.

Finally, it should be emphasised that the total energy utilisation for one of these houses could be reduced by additional one quarter still using commercial technology. This calls for constructions with low heat transmission (achieved by increasing the insulation thickness in

the external walls from 290 to 490 mm, below the slab on ground from 100 to 200 mm and in the ceiling from 550 to 700 mm), 4-glazed instead of 3-glazed windows, decreased air infiltration from 3,8 to 1,0 m³/(m²·h) 50 Pascal air differential pressure, an increase of the heat recovery in the exhaust air from 50 to 80 per cent, a careful use of hot water and electricity and a reduction of the indoor temperature by one degree to 19°C.

Förord

Denna rapport baseras på tre andra rapporter, nämligen *En byggteknisk dokumentation och utvärdering av 26 småhus*, *Energianvändning i småhus* samt rapporten *Energi för att BYGGA BRUKA RIVA småhus*. De småhus som titlarna syftar på är byggda i Örebro 1991-1992 till den svenska bostadsmässan Bo92. Småhusen är projekterade och prefabricerade av företaget Boro AB.

Många personer har hjälpt och stöttat mig i arbetet. Professor Arne Elmroth vid Avdelningen för Byggnadsfysik LTH har varit min handledare. Han har med energi och stora kunskaper samt hans vidare perspektiv på livet väglett mig i arbetet. Lilian Johansson och Peter Nilsson har ställt upp och ritat mina skisser till snygga figurer. Johan Claesson, Carl-Eric Hagentoft och Clarence Hector har undervisat och handlett mig i energiberäkningar. Lars-Erik Svensson, Bengt Krantz och Peter Nilsson på f.d. Boro AB har gett mig ritningar på småhusen och värdefull information om Boro:s elementtillverkning och monteringsmetoder. Ett stort och hjärtligt TACK till alla Er!

Författaren önskar läsaren en givande timme!

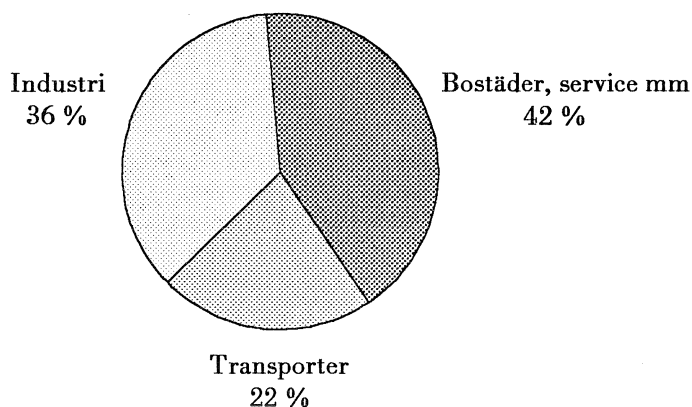
Lund i november 1995

Karin Adalberth

1 Bakgrund

I vårt dagliga liv använder vi mycket energi utan att egentligen reflektera över det. Energi kräver som bekant någon form av energikälla för att produceras. Energikällan kan t.ex. vara olja, kol, biobränsle, sol, kärnkraft eller vattenkraft. Vid förbränning av olja bildas koldioxid, svaveldioxid, kväveoxider m.m. och dessa bidrar i hög grad till skador på den mänskliga och naturliga miljön. Några av de miljöpåverkande effekterna är växthuseffekten och försurningen i mark och vatten. Dessa effekter är ett hot mot vår egen överlevnad och vi måste därför hushålla med energin.

Energianvändningen i byggnader för uppvärmning, varmvatten och elektricitet utgör idag 42% av Sveriges totala energianvändning. Resten används i industrier och till transporter, se figur 1.



Figur 1: Slutlig energianvändning i Sverige uppdelat på olika sektorer (NUTEK, 1994).

Egentligen borde delar av energianvändningen inom industri- och transportsektorn belasta byggnadssektorns energianvändning, eftersom husets ingående byggnadsmaterial kräver energi vid tillverkning och transport. Vanligen beräknas dock enbart värmeenergiebehovet för byggnadens uppvärmning under projektering. Denna beräkning baseras uteslutande på ett ritningsunderlag.

Vid en total miljöbedömning av en byggnad spelar energianvändningen under dess livscykel (för att bygga, bruka och riva) en viktig roll. Tyvärr har hänsyn till detta inte tillägnats något större intresse.

I detta arbete redovisas energiberäkningar gjorda på småhus under dess livscykel. Energibehovet under brukarstadiet, speciellt värmeenergiebehovet, behandlas mer ingående då just detta energibehov har stort inflytande på det totala energibehovet från "vaggan till graven". Dessutom refereras olika miljövärderingsmodeller som finns i England och Kanada.

1.1 Syfte

Syftet med arbetet är att beräkna och ta fram kunskaper om den totala energiåtgången under en byggnads hela livscykel. I detta ingår också att ta hänsyn till praktiskt utförande av byggnaden och med kännedom härom beräkna sannolik energianvändning under brukstiden.

Syftet med arbetet är också att jämföra energiåtgången mellan de olika tidsfaserna under livscykeln. De olika tidsfaserna är tillverkning, transport, uppförande, brukande, renovering och rivning.

Syftet med arbetet är även att med hjälp av en parameterstudie bedöma vilken inverkan olika lösningar (parametrar) har på den samlade energianvändningen under en byggnads livscykel.

1.2 Avgränsningar

Detta arbete avgränsas till att behandla energianvändning i småhus. Studien omfattar ett småhusområde som byggts för utställningen Bo92 i Örebro. Byggverksamheten av småhusen studeras och fotograferas noga. Med kunskap om byggtekniken beräknas sedan småhusens energiflöde genom konstruktioner och energibehov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel. Tre hus väljs särskilt ut för analys av deras energibehov under livscykeln, d.v.s. från "vaggan till graven".

1.3 Metodik

Arbetet genomförs i olika etapper. Till en början görs en litteraturstudie inom ämnesområdena energi, värmebalansberäkningar och miljö. Samtidigt besöks byggarbetsplatsen en gång i månaden.

Vid dessa besök studeras bl.a. konstruktioners avvikelser från ritningar, vissa arbetsmoment t.ex. täthetsutförande, övertäckning av material och konstruktioner mot nederbörd (fuktsäkerhetsaspekter) etc. Dessutom tas diabilder för att dokumentera byggverksamheten.

Efter detta beräknas energiflöden genom konstruktioner teoretiskt. Speciellt studeras energiflöden genom åtta grundkonstruktioner.

Nästa steg är att beräkna ett teoretiskt energibehov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel under brukarstadiet. Med hjälp av ritningar på småhusen och erfarenheter från byggarbetsplatsbesöken kan detta genomföras.

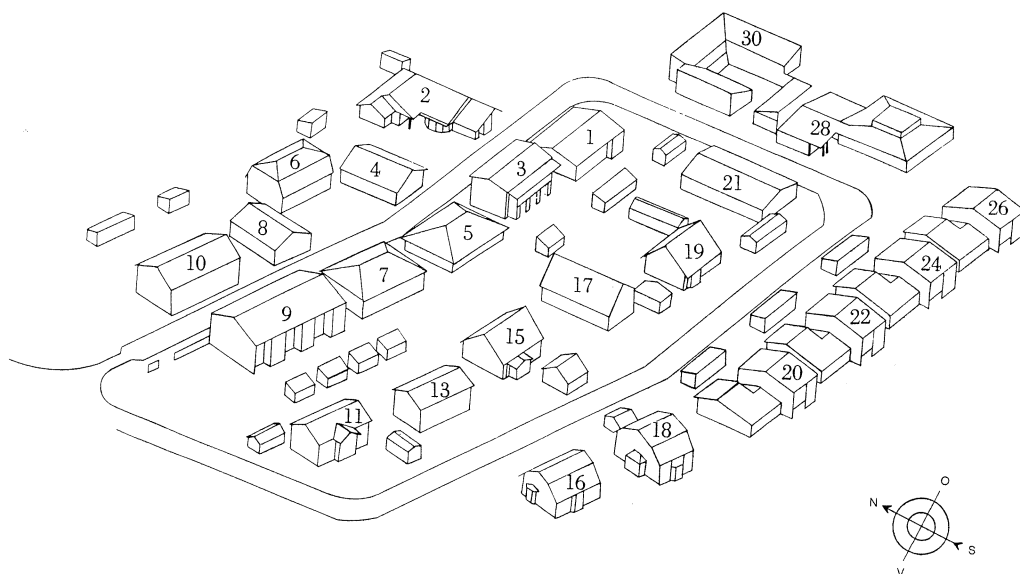
I nästa etapp väljs tre småhus ut för att beräkna deras teoretiska energibehov från "vaggan till graven". För detta arbete görs först en kartläggning av vilka företag som tillverkat byggnadsmaterialen i husen. Därefter beräknas materialmängder i husen, vilket är ett omfattande arbete. Med kunskaper om materialmängder, materialtillverkare, arbetsmoment på byggarbetsplatsen, energibehov under brukarskedet och byggmaterialmängder vid renovering (olika livslängder antas för respektive byggmaterialen) beräknas det totala energibehovet från "vaggan till graven".

Studien avslutas med en parameterstudie där olika ingångsparametrar (t.ex. värmeisoleringsstjocklekar, glasantal i fönstren, inomhustemperaturer och livslängder) för ett av de tre

utvalda småhusen varieras. På detta sätt kan parametrarnas inverkan på den samlade energianvändningen analyseras.

1.4 Beskrivning av småhusområdet på Bo92

I figur 2 finns en skiss över småhusområdet på Bo92. Småhusen är planerade av Vetenskapliga Rådet tillsammans med småhusföretaget Boro AB¹. Boros dotterbolag, Riquma Bygg AB, bygger till en början småhusen men efter konkurs i november 1991 övertas byggverksamheten av Facio Bygg AB.



Figur 2: Skiss över småhusområdet på Bo92. Småhusen har tillägnats namnet "Den nya trästaden" eftersom husen är byggda med träkonstruktioner och har träfasader. I figuren anges också respektive hus nummer.

¹ Till Bo92 projektet knöts ett Vetenskapligt Råd bestående av specialister inom områdena arkitektur, byggnadsteknik, energi, inomhusklimat, medicin och ventilation. Dessa specialister har tillsammans med byggföretaget Boro AB skapat småhusen på Bo92.

Karaktären på småhusen är olika. I norra delen av området finns två kataloghus från Boro AB. Här finns också mindre småhus för äldreboende, "allergianpassade" småhus, småhus med flexibel planlösning, radhus och parhus.

I östra delen finns två "framtidshus" med mycket elektronik inbyggt. Dessa två småhus avviker i utseendet från de övriga småhusen. De är relativt stora, 215 m² respektive 217 m², och har gröna plåttak. Fasadmaterialet på det ena framtidshuset är dessutom av vitputsad tegelfasad till skillnad från övriga småhus vars fasadmateriäl utgörs av träpanel.

I sydöstra hörnet finns fyra s.k. ekologiska småhus. I husen och i anslutning till finns utrymme för växtodling, matförvaring, källsortering, kompostering, toalett som separerar fekalier och urin, system för omhändertagning av spillvatten från tvättställ, dusch och kök, material med låga emissioner som klinkers och trägolv etc.

I sydvästra hörnet av området är småhusens utseende av lokal sekelskifteskaraktär. Husen är avsedda att passa in i en kulturhistorisk känslig miljö och för detta finns ett samarbete med länsmuséet i Örebro.

Det övergripande temat för småhusen är att de skall vara *vackra, energisnåla och sunda*. Är husen vackra trivs folk med att bo i dem och är husen sunda kan människor och må bra bo i dem, förhoppningsvis också bättre.

1.5 Disposition

Efter att ha beskrivit bakgrunden till denna rapport följer en litteraturstudie i kapitel 2. I litteraturstudien sammanfattas Englands och Kanadas miljöbedömningsmodeller för byggnader - Environmental Standard och Building Environmental Performance Assessment Criteria. I kapitlet presenteras också faktorer som kan tänkas ingå vid en svensk miljöbedömning av småhus.

I det nästkommande kapitlet, kapitel 3, presenteras erfarenheter från byggarbetsplatsbesök och hur dessa inhämtas. Med kunskap om det praktiska utförandet av byggnaderna kan en trolig energianvändning under brukstiden beräknas. Kapitel 3 är delvis en sammanfattning av rapporten "En byggteknisk dokumentation och utvärdering av 26 småhus" (Adalberth K, 1993).

I kapitel 4 sammanfattas olika energiberäkningar som görs på grundkonstruktioner, ytterväggar, takkonstruktioner, uppvärmnings-, varmvatten-, hushåll- och fastighetselbehovet. Åtta olika grundkonstruktioner analysers med avseende på energi. Kapitel 4 är en sammanställning av rapporten "Energianvändning i småhus, Bo92" (Adalberth K, 1994a).

Kapitel 5 är hämtat från rapporten "Energi för att BYGGA BRUKA RIVA småhus, Bo92" (Adalberth K, 1994b). Rapporten beskriver en modell för att beräkna energibehovet från "vaggan till graven" för småhus. Som beräkningsexempel väljs tre småhus på Bo92 ut. Metodik, resultat och slutsatser presenteras i kapitel 5.

Rapporten avslutas i kapitel 6 med en diskussion av rapportens framlagda resultat och slutsatser.

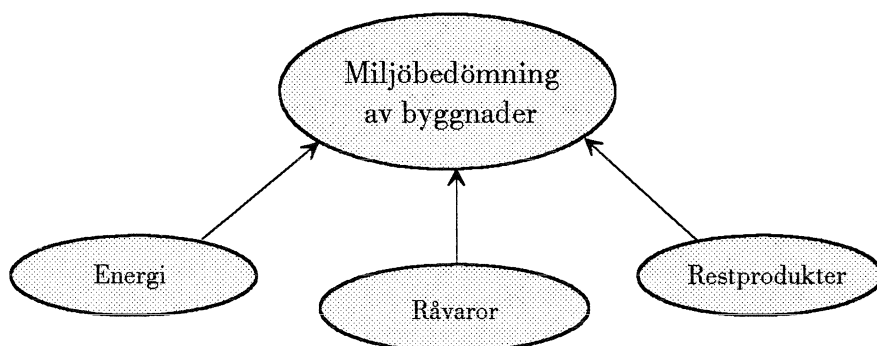
2 Miljövärderingsmodeller - en litteraturstudie

2.1 En modell för miljöbedömning av svenska småhus

Miljöintresset inom byggnadsbranschen är på stor frammarsch. Flera av de större byggföretagen anställer idag, glädjande nog, miljöchefer som lägger upp miljöstrategier inför framtiden. Några av byggbranschens aktörer startar också egna "miljöverksamheter".

Danskarna är dock komna längre än oss. De har utvecklat en modell för att beräkna energi och miljöpåverkan av byggnader under dess livscykel (Andersen S et al, 1993). De river också husen selektivt och bygger hus med återvunnet material (Demex, 1990 och 1991). Med selektiv rivning menas att en byggnad rivs succesivt i princip i omvänd ordning mot hur den byggts. Byggnadskonstruktioner eller komponenter separeras och sorteras i olika materialfraktioner. En del komponenter behålls och återanvänds i sin helhet, en del material återvinns medan andra material förbränns för att utvinna energi.

Engelsmännen var dock något före danskarna med att ta fram en modell för miljöbedömning av byggnader (Prior J et al, 1991). Denna modell har inspirerat många andra bl.a. kanadensarna som bara ett par år efter engelsmännen kom med en egen miljöbedömningsmodell (Cole R, 1994). Inom snar framtid kommer också vi i Sverige att ha utvecklat en modell för miljöbedömning av småhus och andra byggnader. Kanske kommer den att se ut som i figur 3.



Figur 3: En modell för miljöbedömning av svenska småhus. I figuren presenteras de faktorer som styr en byggnads påverkan på den yttre miljön.

Syftet med miljöbedömningen är att minska en byggnads påverkan på miljön. Byggnadens påverkan på miljön bör bedömas före den blivit byggd, t.ex. i program- och projekteringsskedet. Då kan olika lösningar på byggnaden simuleras för att få fram en låg miljöpåverkan.

När en miljöbedömning av en byggnad görs är det viktigt att se byggnaden i sin helhet. Det är t.ex. ointressant att jämföra ett fasadmateriäl av tegel med ett fasadmateriäl av trä om inte hänsyn tas till fästeanordningar, ytfinish, typ av bakomliggande konstruktion, typ av underlag, underhåll, livslängder etc etc. Huset måste ses som en enhet med dess funktioner. En

förändring av ett material kan medföra en kedjereaktion av förändringar. Flera komponenter måste kanske ändras för att få huset att fungera på avsett vis.

Några av de faktorer som styr en byggnads påverkan på den yttre miljön (lokalt, regionalt och globalt) är energi, råvaror och restprodukter. Dessa faktorer leder till en indirekt metod för att bestämma miljöpåverkan eftersom konsekvenserna av faktorerna påverkar den yttre miljön såsom mark, luft och vatten.

Energi

När en byggnad byggs behövs *energi* för att producera dess byggmaterial. Energi krävs också för att transportera materialen och för att sätta samman dem till ett hus.

Vidare krävs energi för att använda huset, d.v.s. för att värma upp det, för att producera varmvatten och för att driva hushållsmaskiner, lampor, fläktar, pumpar etc. Det är ofta dessa energibehov som beräknas för det aktuella småhuset under projekteringsskedet.

Vidare behövs energi för att renovera huset. Uttjänta material skall ersättas med "nya" material. För detta krävs bl.a. energi för tillverkning och transport av de nya materialen. Slutligen kommer huset att rivas. För detta krävs också energi.

Vid en miljöbedömning av ett hus behöver dess energibehov från "vaggan till graven" beaktas. Egentligen är det inte energin i sig självt som påverkar miljön utan hur denna har producerats. För att tillverka energi krävs någon form av energikälla. Energitillgången kan t.ex. vara olja, kol, biobränsle, sol, kärnkraft eller vattenkraft. Vid förbränning av t.ex. olja bildas koldioxid, svaveldioxid, kväveoxider m.m., vilka negativt påverkar luft, vatten och mark. Vid en miljöbedömning av en byggnad bör alltså energibehovet omräknas till mängd föroreningar, vars mängd beror på energikällan.

I Norge finns en modell för simulering av en byggnads kostnader, energibehov och CO₂-utsläpp under dess livscykel (Nielsen A, 1993). Modellen, utformad som ett användarvänligt datorprogram, är avsedd att användas av arkitekter och projektörer. Med hjälp av programmet kan de simulera olika utformningar och konstruktioner etc för aktuella byggnader. Med hjälp av resultaten från simuleringarna kan de sedan fatta beslut om vilken lösning de vill ha för att erhålla en byggnad med lågt energibehov och lågt CO₂-utsläpp till en rimlig kostnad.

Råvaror

En annan faktor, som förmodligen kommer att ingå vid en svensk miljöbedömning av byggnader, är hur mycket *råvaror* en byggnad behöver under sin livscykel. Det kan t.ex. vara hur mycket byggnadsmaterial byggnaden behöver vid produktion och renovering. I detta sammanhang bör frågor ställas såsom: Är råvarorna till produktion av byggnadsmaterial jungfruliga? Är de jungfruliga råvarorna förnyelsebara eller inte? Används returråvaror d.v.s. återvunna material som blir råvara till "nytt" material?

Vid val av material med samma "funktionskrav" kan s.k. livscykelanalyser vara till hjälp. Livscykelanalys är en metod som kan tillämpas för att bestämma en produkts, materials eller en tjänsts miljökonsekvens från "vaggan till graven". De miljöparametrar som bedöms vid en livscykelanalys är råvarubehov, energibehov för transporter och processer, utsläpp till luft och vatten och genererat avfall.

De olika miljöparametrarna kan sedan viktas med en faktor. På detta sätt skapas ett värderingssystem där miljöparametrarna kan beskrivas med siffror. Exempel på värderingssystem är MPM respektive EPS. Värderingssystemet MPM står för miljöpolitiska mål och baseras på de miljöpolitiska målen för år 1995. EPS står för Environmental Priority Strategies in Product Design och är utvecklat i samarbete mellan Volvo, Institutet för vatten- och luftvårdsforskning och Industriförbundet (Steen B och Ryding S-O, 1992). Ett annat värderingssystem

tar endast hänsyn till produktens, materialets eller tjänstens energianvändning under livscykeln.

Vid en jämförande studie av olika takbeläggnings miljöpåverkan (Erlandsson M och Jönsson Å, 1993) framgår att de olika värderingssystemen EPS, MPM respektive energianvändning ger olika resultat, se tabell 1. Den slutsats som rapporten ger är att det inte är självklart vilken metod som är mest ändamålsenlig och inte heller vilken produkt som bör väljas utifrån miljöhänsyn. Orsaken till detta är att olika värderingssystemen ger olika resultat. Användaren av produkten bör därför själv välja vilka miljöparametrar som bör prioriteras.

	Tegel	Betong	Stål
MPM	1,2	2,3	1,0
Energianvändning	1,1	1,0	3,1
EPS	1,0	1,3	2,5

Tabell 1: Takbeläggnings miljöpåverkan enligt olika värderingsmodeller (ur Erlandsson M och Jönsson Å, 1993).

Förhoppningsvis kommer livscykelmetodiken att finna sin form både vad gäller metodiken och själva värderingen. Då kan t.ex. ett byggnadsmaterial jämföras med ett annat med samma funktion, vilket projektören kan utnyttja vid projektering av en byggnad.

Begreppet råvara skulle även kunna innefatta hur mycket tappvatten byggnaden använder under sitt brukarskede. I detta sammanhang bör frågor ställas såsom: Används regnvatten som spolvatten i klosetter? Används snålspolande toaletter? Används snålspolande vattenarmaturer? Genom att hushålla med tappvatten sparas resurser.

Restprodukter

En annan faktor, som förmodligen kommer att ingå vid en svensk miljöbedömning av byggnader, är hur mycket *restprodukter* en byggnad genererar under sin livscykel. Vilka byggnadsmaterial genereras då en byggnad byggs, renoveras och rivs? Kan byggnadsmaterialen återanvändas? Kan de återvinnas? Kan de förbrännas så att energi kan utvinnas? Hur mycket måste deponeras? Finns miljöfarligt avfall såsom asbest, kvicksilver, freoner, PVC, kadmium, bly etc?

-Visste Du att varje anställd inom byggsektorn genererar ungefär 16 gånger så mycket restprodukter på sin arbetsplats mot vad han/hon gör i sitt hem (Asplund E et al, 1994)? Här följer ett exempel. Av den gips som beställs till byggarbetsplatsen är det bara ca 70% som byggs in i byggnaden (SBUF, 1990). Resten, 30%, är alltså spill. Spillsatserna varierar naturligtvis från ett byggnadsmaterial till ett annat. Generellt varierar spillsatsen för olika byggnadsmaterial mellan 10 och 30%. Låt oss säga att spillsatsen i genomsnitt för olika byggnadsmaterial är 20%. Då skulle *ett* hus kunna byggas av spillet från *fyra* hus!

2.2 Modeller för att miljöbedöma byggnader

2.2.1 Englands modell: Environmental Standard

Environmental Standard är en brittisk metod för miljöbedömning av byggnader (Prior J och Bartlett P, 1995). Denna utkom i en första version för nybyggda småhus 1991 och hette då BREEAM New Homes (Prior J et al, 1991). BREEAM står för British Research Establishment Environmental Assessment Method.

Metoden är dock uppdaterad och i viss mån omarbetad till en ny version. Det är denna som heter Environmental Standard (Prior J och Bartlett P, 1995). I metoden kan två olika nivåer uppnås. Den ena är "Environmental Standard" och steget bättre är "Homes for a Greener World".

Tillämpningen av metoden går till så att British Research Establishment utser s.k. "taxeringsmän" (eng. assessor). Dessa taxeringsmän står i direkt kontakt med projektören. Taxeringsmannen granskar, med hjälp av uppgifter från projektören, om byggnaden uppfyller Environmental Standard. Om inte sänder taxeringsmannen förslag till miljöförbättrande åtgärder till projektören, varvid denne troligen ändrar byggnadens utformning så att miljöpåverkan minskas.

När taxeringsmannen är nöjd med byggnadens utformning utfärdas ett certifikat. Detta certifikat är ett bevis på att byggnaden uppfyller Environmental Standard. Byggtreprenören, som skall bygga den miljöbedömda byggnaden, måste anamma projekteringshandlingarna för att få uppföra byggnaden. Efter uppförandet kan byggnaden nämligen slumpmässigt väljas ut till att genomgå en inspektion för att se om byggnaden uppfyller Environmental Standard.

Då taxeringsmannen skall göra sitt miljöbedömningsutlåtande har han till sin hjälp ett poängsystem. Detta poängsystem är själva kärnan i Environmental Standard. Om ett visst antal poäng uppnås sägs den nyproducerade bostaden uppfylla Environmental Standard. Om ett högre antal poängantal uppnås uppfyller bostaden nivån Homes for a Greener World.

I poängsystemet bedöms tre olika miljöaspekter: global miljöpåverkan, lokal miljöpåverkan och inomhusmiljö.

Global miljöpåverkan

Taxeringsmannen börjar med att beräkna husets energibehov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetselektricitet. Därefter översätts energibehovet, beroende på energislag, till mängd utsläppt koldioxid, se tabell 2.

	$\frac{\text{kg CO}_2}{\text{GJ}}$	$\frac{\text{kg CO}_2}{\text{kWh}}$
gas	52	0,19
olja	75	0,27
koks	83	0,30
kol	90	0,32
elektricitet (produceras huvudsakligen i kärnkrafts- verk och i kolkraftsverk)	188	0,68

Tabell 2: I den engelska miljöbedömningsmodellen "Environmental Standard" översätts byggnadens energibehov till mängd utsläppt koldioxid, CO_2 . I tabellen visas relation mellan primärt energibehov för byggnaden och CO_2 -utsläpp.

Bostaden ges poäng enligt följande:

- 1 poäng för bostadsyta:
mindre än 50 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $31 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$
mellan 50 och 100 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $30 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$
över 100 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $29 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$
- 2 poäng för bostadsyta:
mindre än 50 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $21 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$
mellan 50 och 100 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $19 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$
över 100 m^2 vars koldioxidutsläpp understiger $17 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$

Byggnaden tilldelas också en poäng om låg-energi-lampor används i kök, vardagsrum, hall och i trapphus.

Vidare ges byggnaden en poäng om den har en gasspis i köket, ty förbränning av gas ger lägre utsläpp av koldioxid i jämförelse med elektricitet (även om elektriciteten har lägre verkningsgrad än gas).

Byggnaden tilldelas också en poäng om dess isolermaterial innehåller en begränsad mängd av freoner ("ozone depletion potential" mindre än 0,10). I begreppet isolermaterial inkluderas huskonstruktionens, kylens, frysens, rördragningars, och varmvattenberedarens isolermaterial. Ytterligare en poäng ges om isolermaterial inte innehåller något ozonnedbrytande ämne.

Byggnaden tilldelas en poäng om homogent trävirke används som antingen är återvunnet eller är avverkat i områden med kontrollerad skogsskötsel. Dessutom tilldelas byggnaden en poäng om träpanel används som fasadmateriäl. Även detta trävirke skall vara återvunnet eller avverkat i områden med kontrollerad skogsskötsel. Byggnaden tilldelas också en poäng om stomme i trä används.

Vad gäller återvunna material ges en poäng till byggnader för minst ett av följande alternativ: a) väggkonstruktioner innehållande mer än 50 volymprocent återvunnet material, b)

bjälklagskonstruktioner innehållande mer än 50 volymprocent återvunnet material och c) väggkonstruktioner med murverk innehållande mer än 50 volymprocent återvunnet material.

Vidare ges en poäng om taktäckningsmaterial innehåller mer än 50 volymprocent återvunnet material. Dessutom ges en poäng om "fyllnader" omkring byggnaden innehåller "lämpligt" nedkrossat byggavfall eller om nedkrossad betong används vid nytillverkning av betong för byggnaden. Observera att uppgifter skall finnas om varifrån det återvunna materialet kommer.

Byggnader bör också ha ett separat utrymme där återvinningsbara material (hushållsavfall o.d.) kan förvaras i olika fraktioner. En poäng ges till byggnader som har ett utrymme med minst fyra kärl för sortering av avfall.

Lokal miljöpåverkan

Det är till fördel om bostaden byggs på redan exploaterad mark och inte på jungfrulig mark. En poäng tilldelas om byggnaden byggs på mark där det tidigare funnits byggnader.

Byggnaden bör också placeras på mark som har lågt ekologiskt värde. Om så inte är fallet skall byggnaden planläggas tillsammans med "The Royal Society for Nature Conservation". En poäng tilldelas om detta följs. Dessutom ges en poäng om byggnaden är designad för att passa in i landskapet.

Vidare bör byggnadens toaletter vara snålspolande. En poäng ges till byggnader vars toalettstolar spolar med mindre än sex liter per spolning. Spolvattnet rekommenderas dessutom vara regnvatten som samlats in i direkt närhet till byggnaden. Om regnvatten används som spolvatten tilldelas byggnaden en poäng.

Inomhusmiljö

Material som utgör fara för människors hälsa skall undvikas. Därför tilldelas byggnaden en poäng om följande fyra krav uppfylls:

- mängden ureaformaldehyd som finnas i isolermaterial skall vara begränsad enligt "British Standard". Om olika board-material finns föreskrivet för byggnaden skall dessa också följa föreskrifterna i "British Standard".
- trä och träprodukter som finns i bostaden får inte vara behandlade med pesticider, om inte "British Standards" föreskriver så (specialfall). Om så är fallet skall behandlingen utföras på fabrik där behandlingen är kontrollerad och större säkerhet finns än på byggarbetsplatsen.
- material i byggnaden får inte innehålla asbest
- målarfärg får inte innehålla bly.

Vidare tilldelas en poäng om byggnadens kök och övriga bebodiga rum har dagsljusinsläpp som följer "British Standard".

Byggnaden tilldelas en poäng om förebyggande åtgärder vidtas för att förhindra att isolermaterial skadas eller "dammas" av till inomhusluften. För att få denna poäng måste byggnaden också dammsugas inomhus efter att den färdigställt. Dammsugarens filter skall också vara av viss filterklass.

Slutligen ges en poäng om brukaren av byggnaden förses med en användarmanual (eng. house log book). Brukaren skall härigenom få kunskap om hur t.ex. byggnadens apparater, uppvärmning och varmvatten sköts bäst.

Som tidigare sagts sägs den nyproducerade bostaden uppfylla "Environmental Standard" om ett visst antal poäng uppnås, minst 8 av totalt 13 poäng för aspekten Global miljöpåverkan, 2 av totalt 5 poäng för aspekten Lokal miljöpåverkan och slutligen 2 av totalt 4 poäng för aspekten Inomhusmiljö. Om ett högre poängantal uppnås (minst 11 poäng för aspekten Global miljöpåverkan, minst 4 poäng för aspekten Lokal miljöpåverkan och minst 3 poäng för aspekten Inomhusmiljö) uppfyller bostaden nivån "Homes for a Greener World". En sammanfattning av poängtilldelningen för "Environmental Standard" respektive "Homes for a Greener World" finns i Bilaga A.

2.2.2 Kanadas modell: Building Environmental Performance Assessment Criteria

Building Environmental Performance Assessment Criteria, BEPAC, är en miljöbedömningsmodell utvecklad på University of Columbia i Kanada (Cole R, 1994). Kanadensarna fick inspiration av BREEAM, som är föregångaren till den engelska miljöbedömningsmodellen Environmental Standard.

BEPAC är en miljöbedömningsmodell som inriktar sig på nybyggda och befintliga kontorsbyggnader. I modellen bedöms fem olika miljökriterier. Dessa är:

- påverkan på ozonlagret
- användning av energi
- inomhusmiljö
- bevarande av råvaror och resurser
- tillgång till allmänna kommunikationer och cykelparkeringar.

Påverkan på ozonlagret

Under projekteringen görs en inventering av förekomsten av ozonnedbrytande ämnen, t.ex. freon, i byggnaden. Därefter försöker projektören minska dessa ämnen samt förvissa sig om att teknik finns för omhändertagande av ämnena vid destruktionsen av byggnaden och dess produkter. Om denna procedur följs under projekteringen tilldelas byggnaden ett antal poäng mellan 0 och 10.

Vidare ges poäng, från 0 till 10, om den årliga emissionen av ozonnedbrytande ämnen under kommande brukarskede beräknas. Målet för beräkningen är att reducera emissionen genom att lägga upp strategier för följande år. Rekommendationer ges också till att driftpersonal utbildas för att sköta anläggningar med ozonnedbrytande ämnen för att minska emissioner.

Användning av energi

Vid förbränning av fossila bränslen uppkommer luftföroreningar, t.ex. kolmonoxid, metan, svaveldioxid och kväveoxid. Under projekteringsstadiet skall den projekterade byggnadens energianvändningen under kommande brukarskede beräknas (uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel). Energibehovet för brukarskedet omräknas till mängd luftföroreningar och om möjligt skall energianvändningen reduceras för att minska mängd luftföroreningar. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Under förvaltningen skall byggnadens verkliga energibehov mätas upp. En manual för energihushållning skall tas fram och driftspersonal skall utbildas i syftet att reducera eller begränsa byggnadens energibehov. Hyresgästerna skall även upplysas om hur deras beteende påverkar energibehovet. Byggnadens el- och värmesystem skall också genomgå service och underhåll. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Inomhusmiljö

Dessa miljökritier är indelade i tre olika kategorier: inomhusluft-, ljus- och ljudkvalité.

Inomhusluftskvalitén: Under projekteringen skall byggnaden förses med effektivt kontrollsystem av luftfukt. Dessutom skall byggnadens material väljas så att dess fiberavgivning och koncentration av VOC är låg. Ventilationssystemet, som skall vara mekaniskt, skall förses med filter. Kylsystem skall också vara välisolerat. Uteluftsintaget till ventilationen skall placeras så att god luftkvalité erhålls. Ventilationsluften skall förses med effektivt kontrollsystem. Poäng tilldelas mellan 0 och 10. Under förvaltning skall driftspersonal utbildas till att sköta ventilationssystemet för att säkerställa god luftkvalitet. Driftspersonalen skall också regelbundet underhålla systemet. I byggnaden skall all rökning vara förbjuden. Buller (ljudnivån) från ventilationen skall också kontrolleras.

Ljuskvalitén: Byggnaden skall designas så att dagsljus kommer in. Under förvaltningen skall regelbunden fönsterputsning förekomma för att gynna dagsljusinsläpp. Det artificiella ljuset i byggnaden skall också hålla en viss föreskriven kvalité. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Ljudkvalitén: Byggnaden skall projekteras med lågbullrande utrustning inklusive ventilationssystem. Ljudtransmissionen skall också vara låg. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Bevarandet av råvaror och resurser

Under projekteringen skall i första hand befintliga byggnader bevaras och renoveras. I andra hand skall återanvändna byggnadsmaterial användas. Dessutom skall avfallsmängder minskas. Då material väljs skall material med låg miljöpåverkan väljas. Tropiskt trävirke skall undvikas och trävirke från skogar med kontrollerade avverkningsplaner skall gynnas. Byggnaden skall delvis försörjas med regnvatten. Vattenarmaturerna skall vara snålspolande. Byggnaden skall själv kunna rena sitt avloppsvatten. Under förvaltningen skall driftspersonal utbildas inom ovanstående område. I byggnaden skall recirkuleringssystem finnas för att ta hand om avfall som uppkommer från byggnadens verksamhet. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Tillgång till allmänna kommunikationer och cykelparkering

Under projekteringen skall byggnaden placeras så att tillgång finns till allmänna kommunikationer. Dessutom skall cykling till byggnaden vara möjlig, d.v.s. cykelparkering skall finnas liksom tillgång till omklädningsrum för cyklisterna. Poäng tilldelas mellan 0 och 10.

Varje miljökritier tilldelas poäng, från 0 till 10 poäng. Kriteriets poäng multipliceras med en viktfaktor som bestäms på basis av kriteriets miljöpåverkan globalt och på människornas hälsa. Viktandelen för användning av energi är framtaget på basis av följande frågeställningar: 1. Är miljöpåverkan global, varaktig eller permanent? 2. Är miljöpåverkan hälsoskadlig för majoriteten av befolkningen? 3. Saknas regler och lagstiftning för reglering av nämnd miljöpåverkan eller har myndigheter misslyckats med att stifta lagar för reglering av nämnd miljöpåverkan? 4. Har förvaltaren, hyresgästen eller projektören något inflytande på nämnd

miljöpåverkan? 5. Finns kunskap för att reducera eller undvika miljöpåverkan? Dessa fem punkter viktas samman till en viktandel som multipliceras med varje kriteriers poäng.

2.2.3 Diskussion

Environmental Standard och BEPAC är förmodligen föregångare till många andra länders miljöbedömningsmodeller. Det är dock viktigt att påpeka att varje land måste utforma en *egen* modell eftersom varje land har olika förutsättningar.

Fördelen med BEPAC är att deras poängsystem är "viktat" till skillnad från engelsmännens. BEPAC-modellen tar också hänsyn till byggnadens underhåll och användning vilket Environmental Standard inte gör i samman utsträckning. Detta är en stor fördel med BEPAC!

Ett annat påpekande vad gäller modellen Environmental Standard är summeringen av alla poäng. Kan emissionen av $30 \text{ kg CO}_2/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ som ger en poäng likställas med att ha ett utrymme i bostaden med minst fyra sopsorteringskärl för hushållsavfall som också ger en poäng?

3 Dokumentering av byggteknik och utförande

Detta kapitel är delvis en sammanfattning av rapporten "En byggteknisk dokumentation och utvärdering av 26 småhus" (Adalberth K, 1993). I kapitlet presenteras först bakgrunden till varför en dokumentation är viktig och därefter redogörs för själva metodiken (tillvägagångssättet). Till sist följer några avslutande kommentarer om Bo92-projektet.

3.1 Bakgrund

Det är viktigt att byggnaden och dess utförande dokumenteras så att erfarenheter från program-, projekterings- och byggskedet lyfts fram. En utvärdering av program-, projekterings- och byggskedet ger byggverksamheten en återföring av kunskap på vad som är bra och mindre bra. Dessa erfarenheter kan vara till nytta vid nya projekt, och kvalitén i byggprocessen ökar.

Dessutom förs kunskaper om byggnaden vidare så länge den existerar, vilket kan vara till glädje vid renovering och rivning. En byggnads livslängd är i jämförelse med många andra produkter, t.ex. ett mjölkpaket eller en dator, mycket lång. Entreprenörföretaget eller materialtillverkaren finns kanske inte kvar när byggnaden en dag skall renoveras eller rivas.

Om kunskap om byggnaden är dokumenterad kan en husägare vid renovering och rivning gå tillbaks till ritningar och se efter vilka material och installationer byggnaden innehåller och var någonstans de finns. Miljöfarliga material och ämnen kan lokaliseras och skiljas direkt från övriga restprodukter.

Dessutom kan en s.k. selektiv rivning planeras mycket noga. Vid en selektiv rivning rivs byggnadsdelar eller material i "skikt för skikt" (Thormark C, 1995). Rivningen börjar med att lättare komponenter i byggnaden tas bort, t.ex. dörrar, fönster och skåpsinredning. Därefter följer invändiga ytskikt och icke bärande innerväggar, t.ex. gipsskivor, akustikplattor och golvmattor. Därefter påbörjas nedmonteringen av stommen. Materialen delas upp i fraktionerna återanvändbart, återvinningsbart, energiutvinningsbart eller deponerbart.

Vid en renovering eller en rivning kan rivningsmängden beräknas i hur mycket kan återanvändas, återvinnas, förbrännas eller hur mycket måste deponeras. På detta sätt kan ägaren beräkna ekonomisk kostnad eller vinst för renoveringen eller rivningen.

Vid en försäljning av huset är det också viktigt att ha en bra dokumentation. Husköparen kommer sannolikt i framtiden att vilja veta hur de olika konstruktionerna ser ut och vad huset innehåller. Vem skulle inte ha tänkt sig för vid ett köp av ett hus med eternitfasad eller eternittak?

3.2 Metodik

3.2.1 Besök av byggarbetsplats

För att kunna utvärdera byggskedet måste byggarbetsplatsen besökas kontinuerligt. Ledningen på byggarbetsplatsen och hantverkarna bör vid dessa besök intervjuas.

Ett viktigt moment vid byggarbetsplatsbesök är att undersöka hur materialförvaring sköts. Levererat material måste förvaras skyddat mot nederbörd och smuts för att undvika onödig mängd byggfukt och nedsmutsning.

Vid byggplatsbesök bör förvaring av byggnadsmaterial noteras och fotograferas. På detta sätt finns kunskap för framtiden om hur byggmaterialen och hela byggnaden har skötts innan byggnaden stod färdig. Dessutom återförs erfarenheter till projektörer och planerare.

Arbetsutförandet bör också noteras. Det är viktigt att byggnaden byggs som den var planerad. Ritningar bör studeras och jämföras med hur byggnaden verkligen blir byggd. Om konstruktioner inte går att utföra praktiskt är det viktigt att denna erfarenhet dokumenteras och dras nytta av vid nästa byggprojekt.

Det kan t.o.m. vara så att ritningar saknas. I Bo92 projektet saknades ritningar på "lufttätetsutförande" runt t.ex. fönster, dörrar, vid genomföringar av installationer i klimatskalet, för grunder och i mellanbjälklag. Detta upptäcktes i ett relativt tidigt stadium varvid skisser på täthetsutförande gjordes. Skisserna följdes tills Boro gick i konkurs. Därefter tog en ny arbetsledning vid och dessa insåg inte vikten av lufttätning i husen. Följaktligen är lufttäthetsresultaten mindre bra. Resultaten på tryckprovningmätningar, som utfördes av Sveriges Provvnings- och Forskningsinstitut, visar att tätheten för småhusen (hus 1 t.o.m. 28) ligger mellan 1,1 och 6,7 m³/(m²·h) vid 50 Pa tryckdifferens (Carlsson T och Tornevall M, 1993). Målet var att komma ner till en lufttäthet på 1 m³/(m²·h) vid 50 Pa tryckdifferens.

En annan erfarenhet från Bo92 projektet är att efter Boros konkurs valdes inte alltid de material som var föreskrivna, t.ex. köptes fönster med sämre U-värde än de som var projekterade. Golvmaterial köptes med okänd emitteringsmängd av lättflyktiga organiska ämnen. I projekteringsskedet lades ändå särskild vikt vid att välja lågemitterande material. En erfarenhet av dessa händelser är att inköparen måste informeras om anledningen till att vissa material väljs vid projekteringen. Å andra sidan måste inköparen ha en viss kunskap om byggt teknik och kvalitet.

3.2.2 Dokumentation av ritningar

För att kunna göra en dokumentation krävs att kunskap hämtas in under programskedet, projekteringsskedet och byggprocessen.

Diskussioner som förs under programskedet är också viktiga att följa upp så att idéer från detta skede verkligen genomförs under projekteringen och byggprocessen.

Kunskaper inhämtas från planerings- och byggmöten, från projektörer, byggarbetsplatsledningen och byggarbetarna. Den största kunskapskällan är från ritningar A-ritningar (planlösningar, rumsbeskrivningar och fönster- och dörrspecifikationer), K-ritningar (sektionsritningar, detaljlösningar etc) och VVS-ritningar. Dessutom är det viktigt att dokumentera vilka företag som har tillverkat och levererat olika material och komponenter.

Ritningar fås från olika projektörer. Namn på tillverkare och leverantörer av byggnadsmaterial fås av arkitekten eller arbetsledningen på byggarbetsplatsen. Ibland kan det vara så att byggleddningen väljer andra material än vad arkitekten har föreskrivit. Därför är det bäst att verifiera levererat byggmaterial på byggarbetsplatsen.

Det är viktigt att ritningar och beskrivningar fås innan byggnaden är färdigställd eftersom intresset för dessa avtar succesivt efter det att byggnaden står färdig. Även om arkitekter och projektörer oftast dokumenterar sina ritningar är de föga intresserade av att leta upp dessa samt göra kopior på dem en längre tid efter färdigställande. Det kan också vara så att någon inblandad part har gått i konkurs eller lagt ner sin rörelse. Då blir det ett ännu större problem att få tag i ritningarna.

3.2.3 Förvaring av dokumentation

Dokumentationen bör förvaras tills huset rivs, lämpligen hos byggnadens ägare. Det torde ligga i dennes intresse att veta hur "bra" konstruktionerna är med avseende på energibehov och fuktsäkerhet och vad huset innehåller med avseende på miljöfarliga och återvinningsbara material.

3.2.4 Dagboksanteckningar över byggverksamheten

Arbetsledningen på byggarbetsplatsen bör föra en dagbok. Denna skall innehålla uppgifter på hur arbetet förlöper dag till dag, när byggnadsmaterial levereras, datum för olika arbetsmoment, problem som uppkommer under arbetet och hur dessa löses etc.

3.2.5 Fotografering

Vid uppförandet av byggnaden bör denna fotograferas. Fotografering bör ske regelbundet under uppförandet: vid grundläggning, stomning, vid takresning, insättning av utfackningsvägar, komplettering etc.

Det är också viktigt att material på byggarbetsplatsen skyddas mot väder och vind. Hela byggnaden bör dessutom skyddas mot nederbörd för att minska risken för fuktskador. Fotografering av förvarat material och av byggnaden bör göras bl.a. för att dokumentera hur åtgärder vidtagits mot nederbörd.

3.2.6 Dokumentationens innehåll

I början av detta kapitel gavs en beskrivning till varför en dokumentation bör göras. Här följer en sammanfattning av vad en "bra" dokumentation av en byggnad skulle kunna innehålla:

- planlösning över byggnaden
- sektionsritning över grund, anslutning grund/yttervägg, yttervägg, anslutning yttervägg/fönster, anslutning yttervägg/mellanbjälklag, anslutning yttervägg och vindsbjälklag och slutligen yttertaket
- VVS-ritningar
- protokoll på tryckprovning
- protokoll över uppmätt ventilationsflöde
- energiberäkningar: uppvärmnings-, varmvatten-, hushålls- och fastighetselbehov
- fuktkräkningar: grunder, tak, detaljer och anslutningar
- dagbok med anteckningar från byggarbetsplatsen
- och slutligen fotografier från byggarbetsplatsen.

3.3 Avslutande kommentarer

I Bo92 projektet fick dokumentationen en viktig funktion. En av orsakerna är att en del av de inblandade parterna gick i konkurs under uppförandet eller efter färdigställandet av småhusen. Att i efterhand få reda på information är då mycket svårt.

Att samspelet mellan byggaktörerna är viktigt påvisades i Bo92 projektet. Ett programske-
de och projektering med kunskapsutbyte mellan arkitekter, konstruktörer, entreprenörer och förvaltare medför att idéer, kunskaper och erfarenheter fullföljs i alla led. Dessutom minskas risken för eventuella missförstånd.

I Bo92 projektet fanns till en början en dialog mellan arkitekter, projektörer och entreprenörer. Ett kvällsmöte mellan entreprenörerna och Vetenskapliga Rådet hölls. Vetenskapliga Rådet berättade om sina idéer och hur dessa skulle genomföras. Frågor ställdes och fick besvaras. Dessutom gavs praktiska aspekter. Mötet gav stor respons! Under den fortsatta byggtiden besökte också Vetenskapliga Rådet byggarbetsplatsen. Där fortsatte diskussionerna om småhusens byggt teknik och olika detaljutföranden.

Efter hand kom fler personer att beröras av bygget, medan andra slutade. Information och kunskap gick förlorad. På grund av detta vore det bra med ytterligare informationsmöten med de nytillträdde.

För småhusen på Bo92 blir konsekvenserna, p.g.a. bristande kunskapsutbyte mellan projektörer och entreprenörer, att det beräknade energibehovet under brukarstadiet för uppvärmning ökar med i genomsnitt 10% för hus 1 t.o.m. hus 24. Ökningen av energibehovet kunde troligen undvikas om projektörer, arbetsledning på byggarbetsplats och hantverkare fortsatt kommunicera.

4 Energiflöden under brukartiden

I detta kapitel sammanfattas rapporten "Energianvändning i småhus, Bo92" (Adalberth K, 1994a). Precis som titeln framhåller är rapporten en studie av energianvändningen i småhusen på Bo92. I rapporten beräknas energiflöden genom grundkonstruktioner, köldbryggor, och energibehov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel. För grundkonstruktionerna studeras även fuktförhållanden.

I kapitlet presenteras först bakgrunden till beräkningarna följt av själva metodiken. Därefter presenteras värmegenomgångskoefficienter och fuktförhållanden för grundkonstruktioner samt värmegenomgångskoefficienter för yttervägs- och takkonstruktioner. Kapitlet avslutas med en redovisning av småhusens energibehov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel.

4.1 Bakgrund

Det är viktigt att veta hur mycket energi ett hus behöver. Ur miljösynpunkt och ur privat- och samhällsekonomisk synvinkel är det viktigt att hålla behovet på en så låg nivå som möjligt. Ju mer fossilt bränsle som används till energi desto mer luftföroreningar skapas. Luftföroreningarna i sin tur påverkar mark, vatten och luft negativt. Därför måste vi hushålla med energi!

4.2 Metodik

För att kunna utföra energiflödesberäkningar på konstruktioner och byggnader måste konstruktionsritningar, planlösningar, dörr- och fönsterspecifikationer, husets geografiska läge, uppvärmnings- och ventilationssystem kännas.

4.2.1 Förutsättningar

För beräkning av värmeflödet och fukttransporten genom grundkonstruktioner erfordras klimatdata. Den närmaste staden till småhusen på Bo92, vars klimatdata finns framtaget, är Västerås. Följaktligen har klimatdata motsvarande Västerås-klimat ansatts (Nevander L E och Elmarsson B, 1981).

Vid beräkning av det praktiska värmegenomgångskoefficienten U_p ($W/(m^2 \cdot K)$) för yttervägg- och takkonstruktioner väljs det inre respektive yttre värmeövergångsmotstånd till 0,13 respektive 0,04 $m^2 \cdot K/W$, i enlighet med de då gällande Nybyggnadsreglerna (Boverket, 1991). Vidare väljs värmemotståndet för fasadskikt av ventilerad träpanel respektive ventilerat yttertak (bestående av takpannor på undertak) till 0,20 respektive 0,30 $m^2 \cdot K/W$.

Faktorer för olika korrekationer, ΔU_f , ΔU_g , ΔU_k och ΔU_w ($W/(m^2 \cdot K)$), hämtas från Värmeisolering (Boverket, 1988). ΔU_f är en korrektion för köldbryggor i form av fästeanordningar t.ex. murkramlor mellan tegel och betong. För småhusen på Bo92 finns fästeanordningar mellan trä och trä (spikar). För fallet tegel och trä gäller $\Delta U_f = 0$ $W/(m^2 \cdot K)$. För fallet trä och trä är situationen ännu mer gynnsam varför ΔU_f väljs till 0 $W/(m^2 \cdot K)$.

ΔU_g är en korrektion för arbetsutförandet för konstruktionen. Då småhusen på Bo92 är prefabricerade på fabrik, där större noggrannhet och mera skydd för väder och vind föreligger än om konstruktioner byggs i fält, antas ΔU_f till 0,01 W/(m²·K).

ΔU_k är en korrektion som hänförs till typ av konstruktion och hur bra dennes konstruktion kan åstadkommas. En konstruktion med obruten isolering behöver inte korrigeras med ett extra påslag, medan en konstruktion med genomföringar, typ genomgående regler, skall korrigeras med 0,02 W/(m²·K). För småhusen på Bo92 finns s.k. Kartro-reglar, en lättregelkonstruktion, varför ΔU_k sätt till 0,01 W/(m²·K).

ΔU_w är en korrigering för nederbörd och vindpåverkan på s.k. DUO-tak och omvända tak. Inte någon av dessa takkonstruktioner finns bland småhusen på Bo92, varför korrektionen ignoreras.

I tabell 3 presenteras de värmekonduktiviteter, λ -värde W/(m·K), ånggenomsläpplighetskoefficienter, δ (m²/s), och ånggenomgångsmotstånd, Z (s/m), för respektive material som används i beräkningar.

material	λ_p (W/(m·K))	δ (·10 ⁶ m ² /s)	Z (·10 ³ s/m)
trä	0,14	0,2	
spånskiva	0,14		35
gips	0,22		3
glasull	0,033	20	
cellplast	0,04	2,5	
plastfolie, PE	-		3000
lätballastbetong K10 XL-betong 1150 kg/m ³	0,38		
armerad betong 2300 kg/m ³	1,70	1,0	

Tabell 3: Antagna värmekonduktiviteter λ , ånggenomsläpplighetskoefficienter δ och ånggenomgångsmotstånd Z för några byggnadsmaterial, som använts i Bo92.

4.2.2 Beräkningsprogram

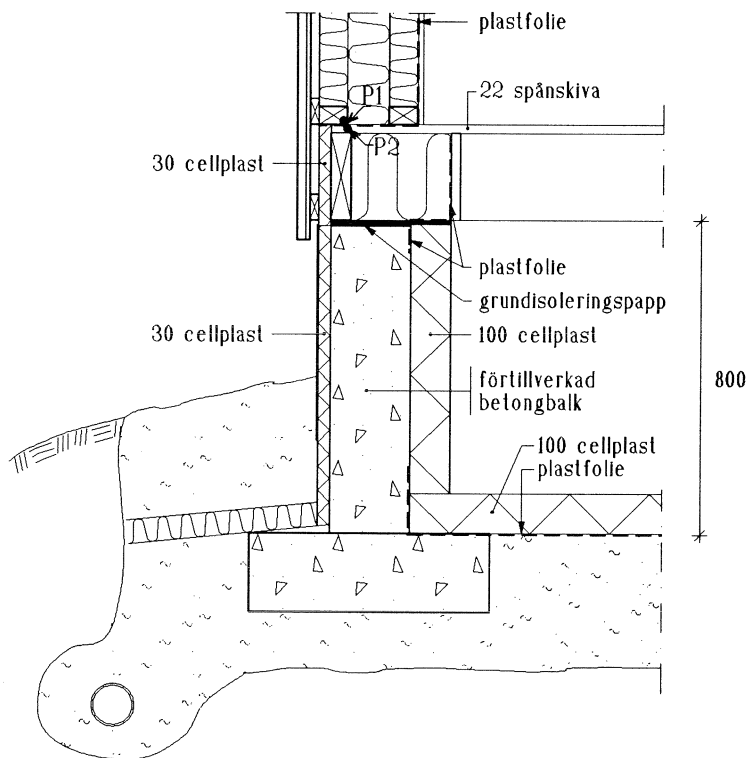
Värme- och fukttransporter genom grundkonstruktionerna i småhusen på Bo92 beräknas med hjälp av olika datorprogram. Värmeflödet genom grundläggningsmetoden "krypgrund" beräknas med hjälp av PC-programmet CRAWL (Hagentoft, 1986). Programmet beräknar värmetransporten genom krypgrunden och temperaturen i kryputrymmet med dess variation (sinusformad svängning) över året. Med kännedom om temperaturen i kryputrymmet samt ett antagande om fuktillskott i utrymmet kan dess relativa fuktighet beräknas.

Värmeflödet och fukttilståndet i konstruktionsdetaljer och köldbryggor beräknas med hjälp av datorprogrammet HConP (Hagentoft C-E, 1991). Programmet beräknar en tvådimensionell temperatur- och ånghaltsfördelning i material. Vid beräkning av värmebalansen för hela huset används datorprogrammet ENORM (Munther K, 1992). Programmet beräknar energi- och medeleffektbehovet för varje dygn under ett år.

4.3 Inneluftsventilerad krypgrund

På Bo92 finns den "innetluftventilerade kryppgrunden", eller "varmlufts grund" som egentligen är ett bättre namn, som grundläggningsmetod i sex småhus, se figur 4.

I den inneklimatventilerade kryppgrunden värmeisolerar kantbalk och markyta med 100 mm cellplast. Lufttäteten mellan kryputrymmet och marken "säkerställs" med plastfolie längs nedre del av kantbalk och mot schaktbotten.



Figur 4: Sektionsritning på den inneluftsventilerade kryppgrunden som finns på Bo92.

4.3.1 Beskrivning

Tilluften till kryprummet utgörs av värmeväxlad uteluft (ca 20°C) som cirkuleras i utrymmet. På så sätt blir bottenbjälklaget uppvärmt. Golvets ytemperatur på bottenvåningen ligger därför nära inomhusluftens, vilket upplevs positivt ur komfortsynpunkt. Frånluften går sedan igenom en värmeväxlare, för att slutligen gå ut i det fria.

En annan fördel med grundläggningsmetoden är att installationer kan läggas i krypprunden. Det medför att installationer i grunden är lättare att byta ut, reparera eller tas bort jämfört med installationer som är förlagda eller inbyggda i konstruktionen.

När en inneluftsventilerad kryppgrund byggs är det viktigt att lufttätheten mot marken säkerställs. Om så inte görs ökar luftläckaget in eller ut ur kryprummet beroende på tryckförhållanden. Ett ökat luftläckage innebär för det första att energiflödet genom grunden ökar. För det andra kan grunden få ett oväntat fukttillskott om undertryck råder.

4.3.2 Förutsättningar

Vid beräkning av kryppgrundens U-värde förutsätts tilluftstemperaturen vara 20°C. Tilluftsflödet antas vara 36 m³/h. Tilluftsflödet motsvarar en luftomsättning på 0,4 oms/h. Det praktiska uppmätta tilluftsflödet ligger mellan 36 och 43 m³/h (Carlsson T och Tornevall M, 1993). Grundens area antas vara 100 m².

U-värdet, U_{eff} (W/(m²·K)), för krypprunden beräknas enligt följande (Lindroth P, 1991):

$$U_{eff} = Q / (L \cdot B \cdot 17)$$

där

Q = stationärt värmeflöde genom krypprunden (W)

L = längd för byggnad (m)

B = bredd för byggnad (m)

17 är skillnaden mellan inomhus- och utomhustemperatur multiplicerat med en korrigering för kryppgrundens temperatur

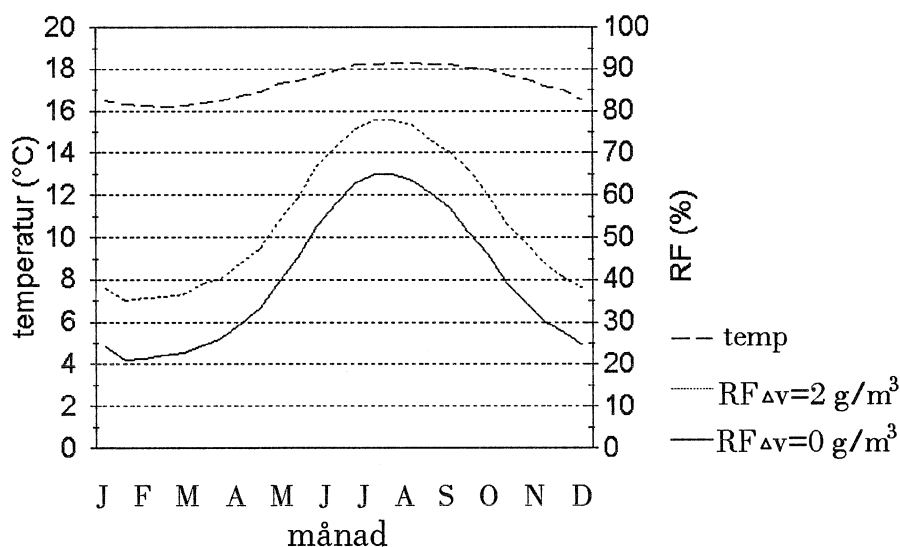
Som förutsättning vid beräkning av relativa fuktigheten, RF (%), i grundkonstruktionen sätts fukttillskottet i krypprunden i ett första fall till 0 g/m³ och i ett andra till 2 g/m³. Fukttillskottet inomhus sätts till 4 g/m³.

4.3.3 Resultat

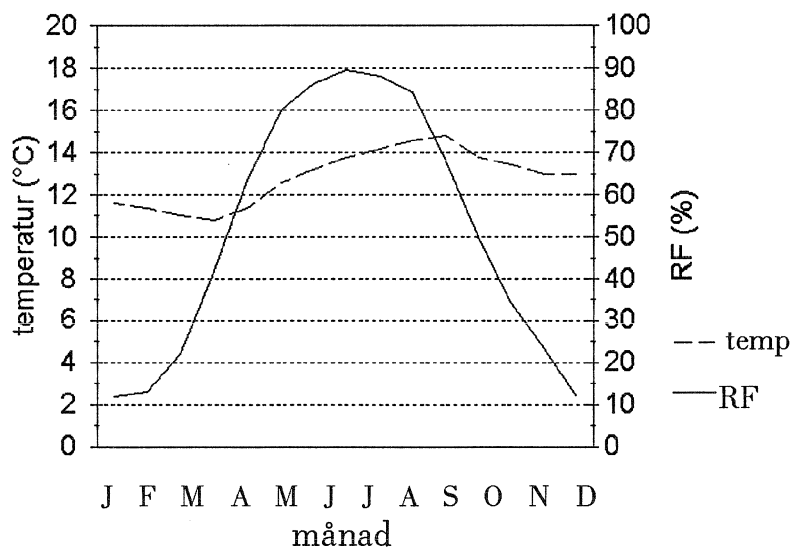
Värmegenomgångskoefficienten, U_{eff} (W/(m²·K)), för den inneluftsventilerade krypprunden är 0,258 W/(m²·K).

Den relativa fuktigheten i kryprummet varierar mellan 20 och 65% under året vid ett fukttillskott på 0 g/m³ respektive mellan 35 och 78% om fukttillskottet är 2 g/m³, se figur 5

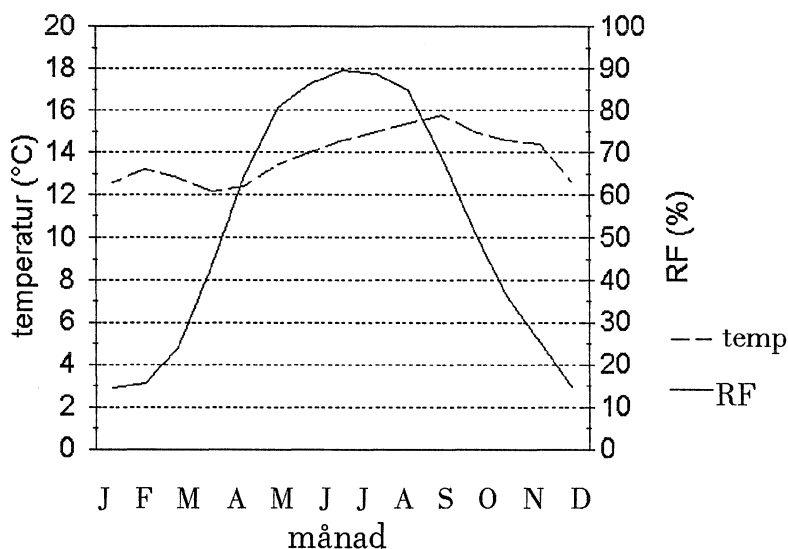
Den relativa fuktigheten i syllens högra nederkant, se markeringen P1 i figur 4 varierar mellan 54 och 74% under året, se figur 6. Variationen i spånskivan, se punkt P2 i figur 4 som ligger i centrum av spånskivan och direkt under punkt P1, är mellan 61 och 79% under året, se figur 7.



Figur 5: Temperatur och relativ fuktighet i den ineluftsventilerade kryppgrunden. I beräkningen antas att luftomsättningen är 0,4 oms/h och tilluftstemperatur är 20°C.



Figur 6: Temperatur och relativ fuktighet för syllens högra nederkant (punkt P1 i figur 4) i den ineluftsventilerade kryppgrunden.



Figur 7: Temperatur och relativ fuktighet för spånskivan (punkt P2 i figur 4 placerad i centrum av spånskivan direkt under punkt P1) i den inneluftsventilerade kryppgrunden.

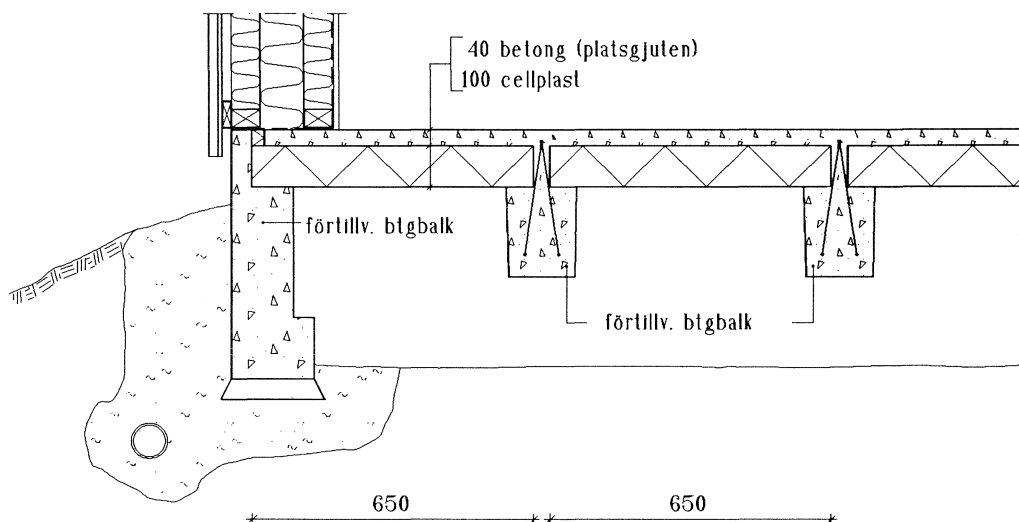
4.3.4 Slutsats

Fuktberäkningarna visar att den relativa fuktigheten i kryppgrundens utrymme överstiger 75% under mycket kort tid av året. Det samma gäller för punkt P1 i syllen och punkt P2 i spånskivan, varför risk för mögelsvampangrepp i kryppgrunden torde vara liten.

För att reducera (förbättra) U-värdet för grundläggningsmetoden rekommenderas en ökning av värmeisoleringstjockleken på grundmurens insida och på mark till 200 mm under förutsättning att frostnedträngning inte orsakar skador.

4.4 Modifierad platta på mark

Den "modifierade plattan på mark" finns som grundläggningsmetod i fyra småhus på Bo92. Namnet på grunden kommer från att plattan liknar en platta på mark men med undantag av att ett utrymme som finns mellan plattan och markytan, se figur 8. Den modifierade plattan på mark skulle också kunna kallas "en oventilerad krypgrund".



Figur 8: Sektionsritning på den modifierade plattan på mark som finns på Bo92.

4.4.1 Beskrivning

Bottenbjälklaget består av 40 mm betong. Betongen gjuts direkt ovanpå 100 mm Styrofoam (cellplast), som vilar på/mellan tvärgående balkar av betong med centrumavståndet 650 mm. Betongbalkarna har "uppstickande" armering mellan cellplastsnivåerna. Där "rinner" den pågjutna betongen ner och binds med den uppstickande armeringen.

4.4.2 Förutsättningar

Vid beräkning av värmeflödet genom grunden förutsätts att uppvärmningssäsongens tidsperiod är 246 dygn och att medeltemperaturen utomhus är 1,1°C (Västeråsklimat). Inomhustemperaturen ansätts till 20°C.

4.4.3 Resultat

I figur 9 visas temperaturfördelningen vid en betongbalk. Temperaturfördelningen går i en skala från 0 till 1. Om exempelvis temperaturen inomhus är 10°C och temperaturen i utrymmet under plattan är 0°C blir temperaturen vid isotermen 0,65 enligt följande:

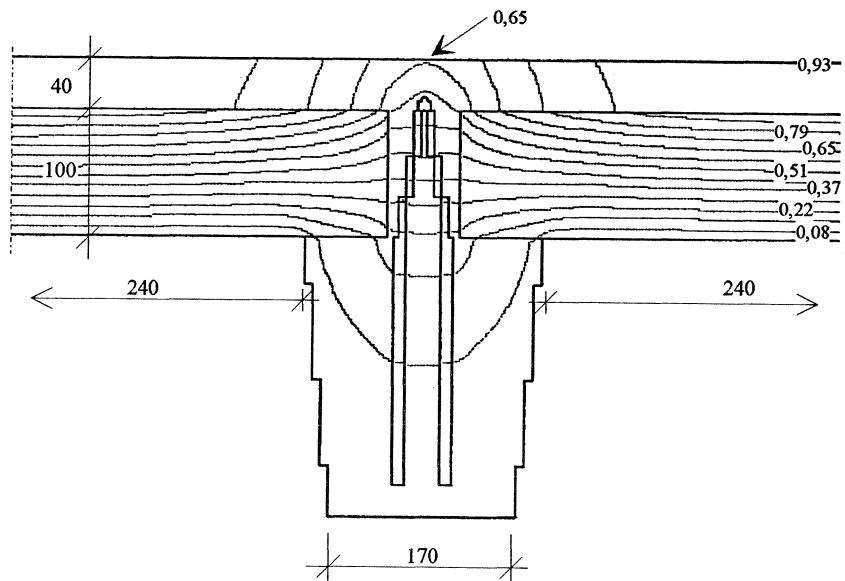
$$0,65 \cdot (10 - 0) = 6,5^\circ\text{C}$$

Lufttemperaturen i utrymmet under plattan beräknas bli 7,7°C i genomsnitt under året med en amplitud på 5,4°C. Den lägsta årstemperaturen i kryputrymmet blir då $7,7 - 5,4 = 2,3^\circ\text{C}$. Med ett antagande om en inomhustemperatur på 20°C och en temperatur i utrymmet under bottenbjälklaget på 2,3°C blir den lägsta yttemperaturen på ovensidan bottenbjälklag:

$$0,65 \cdot [20 - 2,3] + 2,3 = 13,8 \text{ d.v.s. } 13,8^\circ\text{C}$$

Det beräknade U-värdet för grunden utan hänsyn tagen till köldbryggorna är 0,260 W/(m²·K). Med hänsyn till köldbryggorna blir det beräknade U-värdet 0,500 W/(m²·K). Det motsvarar en obruten värmeisolering med tjocklek på 30 mm under en "vanlig" platta på mark.

Ur värmesynpunkt är grundläggningsmetoden inte bra. De tvärgående betongbalkarna i bottenbjälklaget utgör stora köldbryggor som ger ett "extra" beräknat energiflöde (jämfört med om plattan inte hade betongbalkar) på ca 2600 kWh/år.



Figur 9: Stationär temperaturfördelning runt bottenbjälklagets betongbalkar för den modifierade plattan på mark. Temperaturfördelningen är i en skala från 0 till 1, exempelvis om temperaturen inomhus är 10°C och temperaturen i utrymmet under plattan är 0°C blir den lägsta yttemperaturen på ovensidan bottenbjälklag 6,5°C.

4.4.4 Slutsats

Grundläggningsmetoden rekommenderas inte utan betydande förändringar.

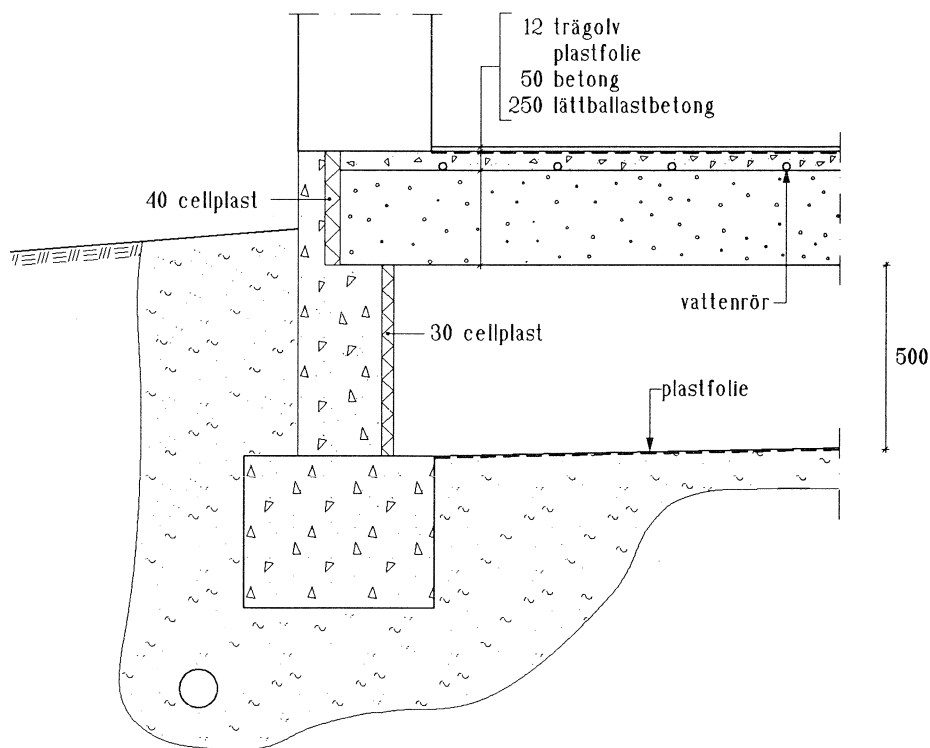
4.5 Oventilerad krypgrund med golvvärme

I Bo92 projektet har en modell för beräkning av värmeflödet genom bottenbjälklag med golvvärme utvecklats (Adalberth K, 1994a). I denna modell används den oventilerade krypgrunden som exempel.

I avsnitten 4.5.9 och 4.5.10 jämförs värmeflödet genom den oventilerade krypgrunden med golvvärme med värmeflödet genom en oventilerad krypgrund *utan* golvvärme. I det sistnämnda fallet värms huset istället upp med hjälp av radiatorer.

4.5.1 Beskrivning

I hus 30 på Bo92 finns grundläggningsmetoden "oventilerad krypgrund", se figur 10. I ovankanten på bottenbjälklaget finns golvvärme (vattenrör) inlagt. Eftersom vattenrören håller en högre temperatur än inneluften ökar värmetransporten ner till krypgrunden jämfört med om golvvärme inte finns. Detta leder till ett ökat energibehov.

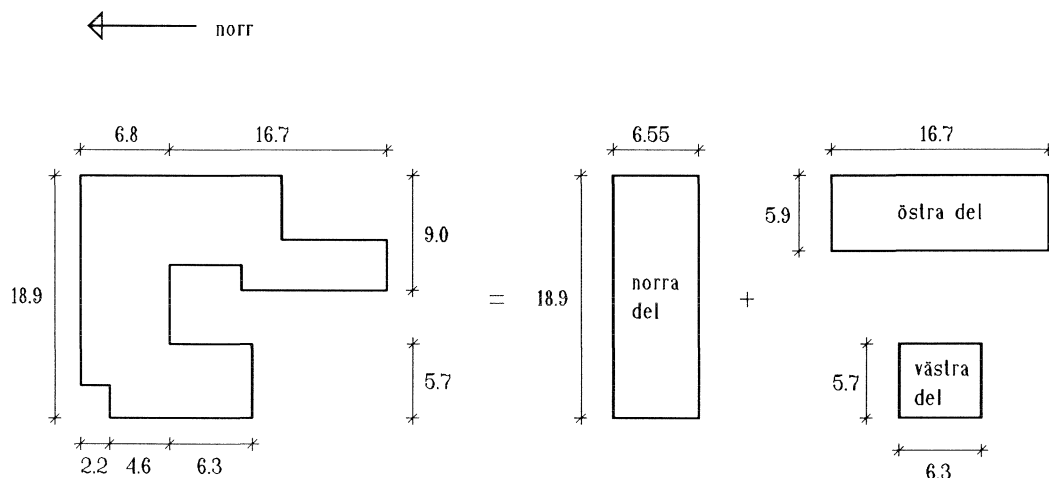


Figur 10: Sektionsritning på den oventilerade krypgrunden i hus 30 på Bo92.

4.5.2 Förutsättningar

Det aktuella huset, för vilket beräkningar utförs på, är inte rektangulärt. Därför måste det delas upp i tre olika rektangulära ytor, se figur 11. För var och en av dessa ytor får värmeflödet genom bottenbjälklaget beräknas. Därefter summeras de för att få det totala värmeflödet genom grunden. Felet att summera värmeflödet för var och en av ytorna är ca 4% (Hagentoft C-E, 1988b).

Norra delen av hus 30 ges arean 18,90 x 6,55 meter, östra delen 16,70 x 5,92 meter och den västra delen 6,30 x 5,70 meter.



Figur 11: Plan över hus 30 på Bo92. Huset har grundläggningsmetoden icke ventilerat kryprum med golvvärme i bottenbjälklaget. Vid beräkning av värmeflödet genom grunden delas huset upp i tre rektangulära ytor.

De på förhand kända komponenter som används som indata i modellen är byggnadens olika konstruktioner (grund, yttervägg, tak, fönster och dörrar), byggnadens ventilationsflöden och fabrikat på golvvärme.

De värmekonduktiviteter som använts finns presenterade i tabell 4. Övergångsmotståndet mellan bottenbjälklag - inomhus respektive bottenbjälklag - krypgrund väljs till 0,12 respektive 0,20 m²·K/W. Till hjälp vid beräkningarna används en s.k. dimensionslös temperatur T' (-) definierad enligt följande:

$$T' = \frac{T(x) - T_{\text{kall sida}}}{T_{\text{varm sida}} - T_{\text{kall sida}}}$$

där

$T(x)$ = aktuell temperatur i punkt x (K)

$T_{\text{kall sida}}$ = temperatur på kall sida, t.ex. utomhus (K)

$T_{\text{varm sida}}$ = temperatur på varm sida, t.ex. inomhus (K)

I texten som följer används olika index. Dessa är följande: i för indoor (inomhus), o för outdoor (utomhus), c för crawlspace (krypgrund), p för pipe (värmerör i bottenbjälklag), b för building (byggnad) och slutligen g för ground (mark).

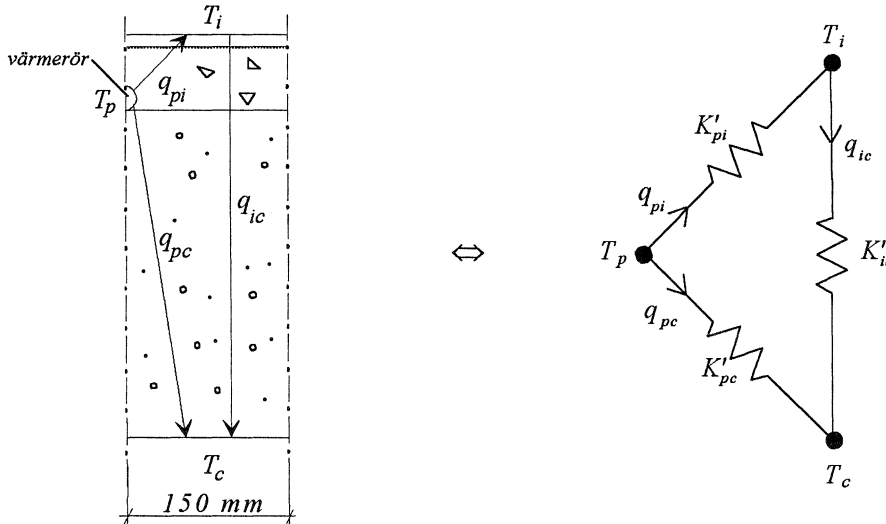
värmeledningsevne	$W/(m \cdot K)$
trä	0,14
betong	1,7
lätbetong	0,38
mineralull	0,04
cellplast	0,04

Tabell 4: Antagna värmeledningsevner for några byggnadsmaterial som använts på Bo92.

4.5.3 Beräkningsmodell

I figur 12, vänster figur, presenteras de olika värmeledningerna i bottenbjälklaget. q_{pi} , q_{pc} och q_{ic} motsvarar värmeledningen mellan värmeröret och inomhus, värmeröret och kryppgrunden respektive inomhus och kryppgrund. De olika temperaturerna T_p , T_i och T_c motsvarar temperaturerna i värmeröret, inomhus respektive i kryppgrunden.

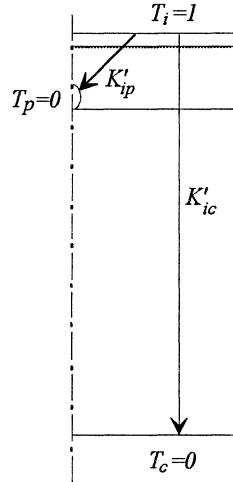
I figur 12, höger figur, översätts flödena i bottenbjälklaget till en krets. Värmeledningerna beskrivs med hjälp av konduktanser K' ($W/(m \cdot K)$).



Figur 12: Värmeledning genom bottenbjälklaget över det oventilerade krypprummet. q_{pi} ($W/(m \cdot K)$) motsvarar flödet från värmeröret till inomhus (p =pipe=värmerör och i =indoor=inomhus), q_{pc} ($W/(m \cdot K)$) motsvarar värmeledningen från röret till kryppgrunden (c =crawl=kryppgrund) och q_{ic} ($W/(m \cdot K)$) motsvarar flödet från inomhus och ner i kryppgrunden. T_p (-) är temperaturen i värmeröret, T_i (-) är temperaturen inomhus och T_c (-) är temperaturen i kryppgrunden. Värmeledningen har också beskrivits med hjälp av konduktanser K ($W/(m \cdot K)$), se höger figur.

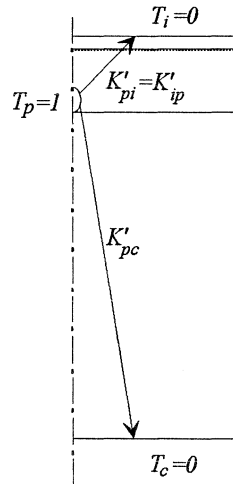
De tre konduktanserna K'_{ip} , K'_{ic} och K'_{pc} beräknas med hjälp av ett två-dimensionellt värmeledningsprogram HConP (Hagentoft C-É, 1991). Beräkningen delas upp i två fall, se figur 13.

1) $T_i = 1$, $T_c = 0$ och $T_p = 0$



Figur 13a: Värmeflödet, uttryckt som konduktans, från inomhus till värmeröret K'_{ip} respektive från inomhus till krypgrund K'_{ic} .

2) $T_i = 0$, $T_c = 0$ och $T_p = 1$



Figur 13b: Värmeflödet, uttryckt som konduktans, från värmerör till inomhus K'_{pi} respektive från värmeröret och till krypgrunden K'_{pc} .

Resultatet från beräkningen blir följande:

$$K'_{pi}=K'_p=0,473 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K'_{ic}=0,039 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

$$K'_{pc}=0,125 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Konduktanserna avser ett vertikal snitt enligt figur 12, men egentligen är konduktanserna K_α för hela bottenbjälklaget (husets golv) av intresse. Detta ges av:

$$K_\alpha = K'_\alpha \cdot 2 \cdot L \cdot \frac{B}{cc}$$

där

K_α = konduktans (W/K)

K'_α = konduktans per meter rör (W/(m·K))

α = index för aktuell konduktans: pi, ic eller pc

2 ty konduktansen beräknas för halva cc-avståndet

L = byggnadens längd (m)

B = byggnadens bredd (m)

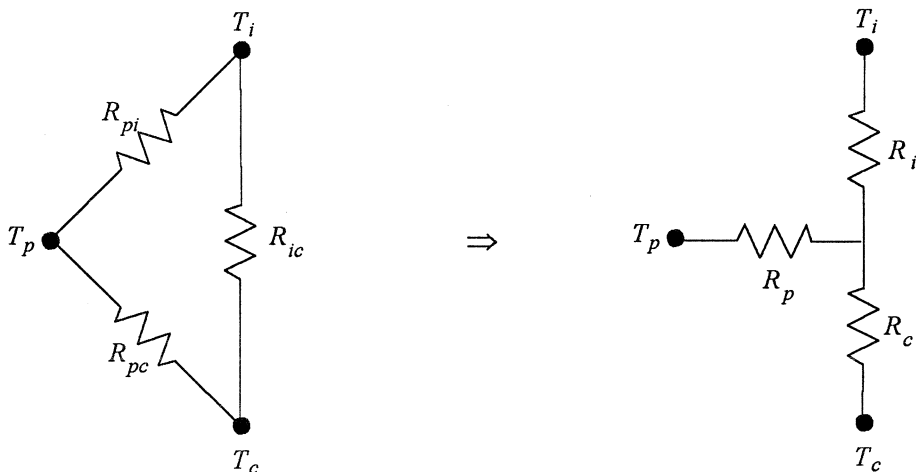
cc = centrum-avståndet mellan värmerör (m) = 0,30 m

I tabell 5 presenteras framräknade konduktanser för den aktuella byggnaden. Konduktanserna är också uttryckta som ett värmemotstånd R (K/W), då $R=1/K$.

	L	B	K_{pi}	K_{ic}	K_{pc}	R_{pi}	R_{ic}	R_{pc}
	(m)	(m)	(W/K)	(W/K)	(W/K)	(K/W)	(K/W)	(K/W)
Norra del	18,9	6,55	390,4	32,2	103,2	1/390,4	1/32,2	1/103,2
Östra del	16,7	5,92	311,8	25,7	82,4	1/311,8	1/25,7	1/82,4
Södra del	6,3	5,7	113,2	9,3	29,9	1/113,2	1/9,3	29,9

Tabell 5: Framräknade konduktanser K och värmemotstånd R i det aktuella bottenbjälklaget med golvvärme. K_{pi} är konduktansen mellan värmeröret och inomhus, K_{ic} är konduktansen mellan inomhus och kryppgrunden samt K_{pc} är konduktansen mellan värmeröret och kryppgrunden. Värmemotståndet R_{pi} är omvänt proportionerligt mot dess konduktans K_{pi} ($R_{pi}=1/K_{pi}$). På samma sätt fås de två övriga värmemotstånden R_{ic} och R_{pc} .

Δ -kretsen i figur 12 förenklas sedan vidare till en Y -krets, se figur 14.



Figur 14: Kretsen visar sambandet mellan värmerör, inomhus och krypgrunden. R_{pi} är värmemotståndet mellan värmeröret och inomhus, R_{pc} är värmemotståndet mellan värmeröret och krypgrunden och R_{ic} är värmemotståndet mellan inomhus och krypgrunden. Vidare är T_p temperaturen i värmeröret, T_i är temperaturen inomhus och slutligen T_c temperaturen i krypgrunden.

Motstånden R_p , R_i och R_c som uppkommer vid förenklingen av Δ -kretsen till en Y -krets i figur 14 beräknas enligt följande:

$$R_p = \frac{R_{pi} \cdot R_{pc}}{R_{pi} + R_{pc} + R_{ic}}$$

$$R_i = \frac{R_{pi} \cdot R_{ic}}{R_{pi} + R_{pc} + R_{ic}}$$

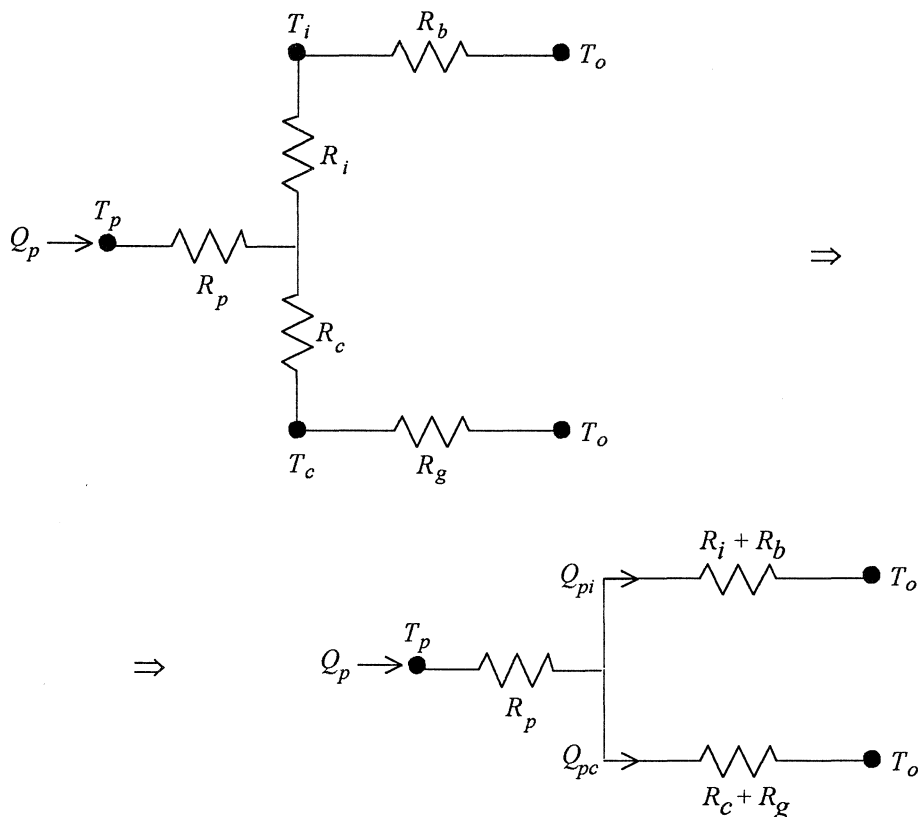
$$R_c = \frac{R_{pc} \cdot R_{ic}}{R_{pi} + R_{pc} + R_{ic}}$$

Om värdena från tabell 5 sätts in i ovanstående ekvationer blir motstånden R_p , R_i och R_c enligt tabell 6.

	R_p	R_i	R_c
	(K/W)	(K/W)	(K/W)
Norra del	$5,73 \cdot 10^{-4}$	$18,4 \cdot 10^{-4}$	$69,5 \cdot 10^{-4}$
Östra del	$7,17 \cdot 10^{-4}$	$23,0 \cdot 10^{-4}$	$87,0 \cdot 10^{-4}$
Södra del	$19,7 \cdot 10^{-4}$	$63,4 \cdot 10^{-4}$	$240 \cdot 10^{-4}$

Tabell 6: Framräknade värmemotstånd R_p , R_i och R_c i det aktuella bottenbjälklaget över ett icke ventilerat kryprum.

Nästa steg är att beräkna motståndet mellan krypgrund - utomhus respektive inomhus - utomhus, se figur 15. I figur 15 är Q_p (W) det värmefflöde som röret i bjälklaget avger, d.v.s. $Q_{pi} + Q_{pc}$.



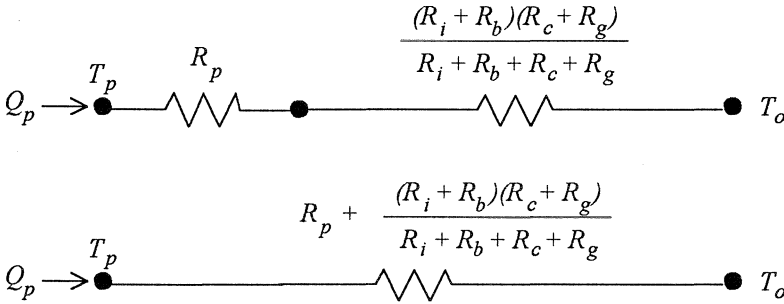
Figur 15: Kretsarna visar sambandet mellan värmerören i bottenbjälklaget, inomhus, krypgrunden och utomhus. R_b (K/W) är värmemotståndet mellan inomhus - utomhus och R_g (K/W) är värmemotståndet mellan krypgrund - utomhus. Q_p (W) är det värmefflöde som värmeröret i bjälklaget avger, Q_{pi} (W) är det värmefflöde från värmeröret som transporteras till inomhus och vidare ut utomhus och Q_{pc} (W) är det värmefflöde som transporteras ner i krypgrunden och vidare ut utomhus.

R_g (K/W), som är värmemotståndet mellan krypgrund och ute d.v.s. markens värmemotstånd, beräknas med hjälp av datorprogrammet CELLAR (Hagentoft C-E, 1988b). R_b (K/W), som är motståndet för byggnadens "skal" beräknas med hjälp av kända transmissionsförluster genom väggar, tak, fönster och dörrar samt energibehovet för ventilationsluften. Beräkningen av R_b redovisas i Bilaga B. De framräknade resultaten för motstånden R_g och R_b presenteras i tabell 7.

	R_g	R_b
	(K/W)	(K/W)
Norra del	$61,3 \cdot 10^{-4}$	$76,9 \cdot 10^{-4}$
Östra del	$70,4 \cdot 10^{-4}$	$96,2 \cdot 10^{-4}$
Södra del	$141 \cdot 10^{-4}$	$265 \cdot 10^{-4}$

Tabell 7: Framräknade värmemotstånd mellan kryppgrund och utomhus R_g samt mellan inomhus och utomhus R_b .

Genom fortsatta förenklingar, där de två parallellkopplade motstånden $R_i + R_b$ respektive $R_c + R_g$ förenklas till ett motstånd, blir sambandet mellan värmeröret och utomhus enligt figur 16.



Figur 16: Sambandet mellan värmeröret i bottenbjälklaget och utomhus. Q_p (W) är det värmeflöde som värmeröret i bjälklaget avger, T_p (-) är temperaturen i värmeröret samt T_o (-) är temperaturen utomhus. Beteckningen R , med olika index, motsvarar värmemotstånd i bottenbjälklag, för byggnaden och för marken, markerade i figur 14 och 15.

Ur figur 15 och 16 utläses följande samband:

$$\begin{aligned}
 Q_p &= Q_{pi} + Q_{pc} \\
 Q_{pc} &= \frac{R_i + R_b}{R_i + R_b + R_c + R_g} \cdot Q_p \\
 Q_{pi} &= \frac{R_c + R_g}{R_i + R_b + R_c + R_g} \cdot Q_p \\
 T_p - T_o &= \left[R_p + \frac{(R_i + R_b)(R_c + R_g)}{R_i + R_b + R_c + R_g} \right] \cdot Q_p
 \end{aligned}$$

Sambandet mellan T_i och T_o är:

$$T_i - T_o = Q_{pi} \cdot R_b$$

vilket ger:

$$\begin{aligned}
 T_i - T_o &= \frac{(R_c + R_g) \cdot R_b}{R_b + R_i + R_c + R_g} \cdot Q_p \quad (\text{ekvation 1}) \\
 Q_p &= \left[\frac{1}{R_b} + \frac{R_i + R_b}{R_b(R_c + R_g)} \right] \cdot (T_i - T_o)
 \end{aligned}$$

De framräknade resultaten för värmerörets totala värmefflöde Q_p (W/K), värmefflödet från röret till kryppgrunden Q_{pc} (W/K) och temperaturen i röret T_p' (°C) blir enligt tabell 8. T_p' motsvarar temperaturen i röret då inomhustemperaturen T_i är 1°C samt utomhustemperaturen T_o är 0°C.

	Q_p (W/K)	Q_{pc} (W/K)	T_p' (°C)
Norra del	224,7	94,7	1,37
Östra del	182,5	78,7	1,37
Södra del	70,2	32,5	1,38

Tabell 8: Tabellen visar värmerörens totala värmefflöde Q_p (W/K), värmefflödet från värmeröret till kryppgrunden Q_{pc} (W/K) samt temperaturen T_p' (°C) då temperaturen inomhus är 1°C och temperaturen utomhus är 0°C.

Exempel: Antag att temperaturen utomhus är -2°C och att temperaturen inomhus är 20°C under en längre tid. Temperaturen i värmeröret T_p' för norra delen av byggnaden blir då: $T_p' = T_o + T_p \cdot (T_i - T_o) = (-2) \cdot 1,37 \cdot (20 - (-2)) = 28,1^\circ\text{C}$

4.5.4 Resultat

Med given inom- och utomhustemperatur, $T_i=20^\circ\text{C}$ och $T_o=2^\circ\text{C}$ under uppvärmningssäsongen blir temperaturen i värmeröret T_p , värmeflödet genom grunden Q_{pc} , och temperaturen i kryprummet T_c enligt tabell 9.

	T_p ($^\circ\text{C}$)	Q_{pc} (W)	T_c ($^\circ\text{C}$)
Norra del	26,6	2330	12,5
Östra del	26,7	1944	12,0
Södra del	26,8	806	10,2
	ΣQ_{pc}	5080	

Tabell 9: Temperatur i rör, totalt flöde genom grunden samt krypgrundstermperatur i hus 30 under uppvärmningssäsongen.

Det effektiva U-värdet, U_{eff} (W/(m²·K)), beräknas enligt (Lindroth P, 1991):

$$U_{eff} = \frac{Q_{pc}}{L \cdot B \cdot 17}$$

där

Q_{pc} = stationärt värmefflöde genom bottenbjälklaget och ner i krypgrunden (W)

L = längd för byggnad (m)

B = bredd för byggnad (m)

17 är skillnad mellan inomhus- och utomhustemperatur multiplicerat med en korrigering för krypgrundens temperatur

Det framräknade resultatet för U_{eff} (W/(m²·K)) presenteras i tabell 10.

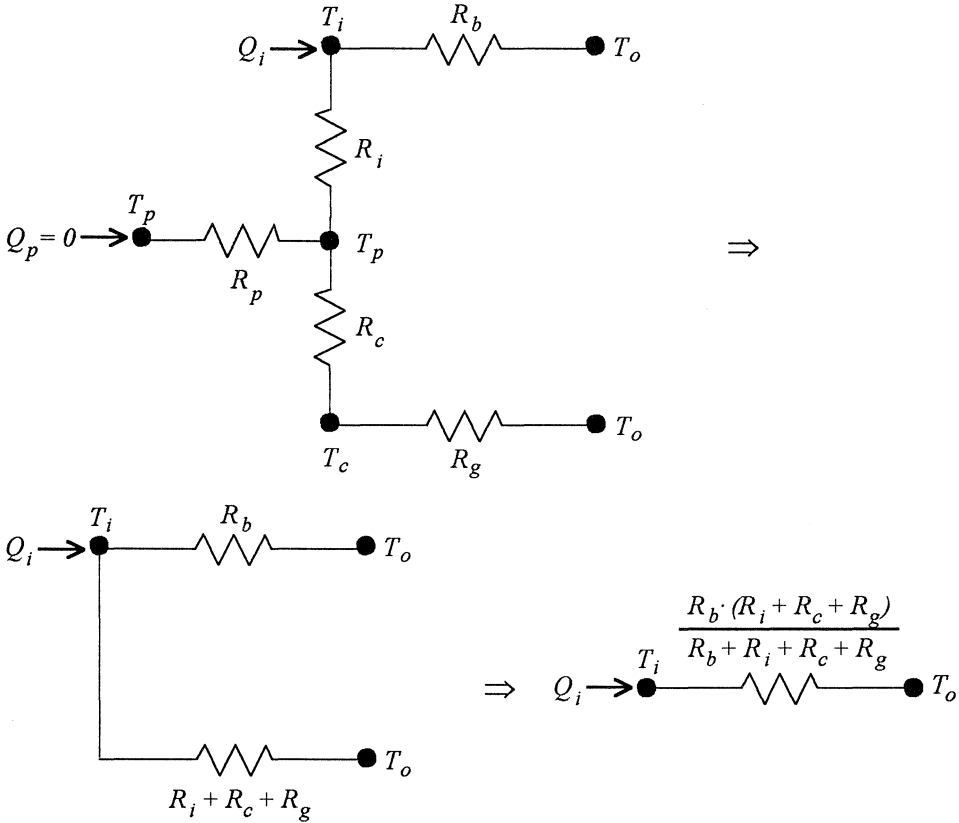
	L (m)	B (m)	U_{eff} (W/(m ² ·K))
Norra del	18,90	6,55	1,11
Östra del	16,70	5,92	1,16
Södra del	6,30	5,70	1,32
	$U_{eff}\text{-medel}$		1,16

Tabell 10: Tabellen visar framräknade U_{eff} för det icke ventilerade kryprummet med golvvärme i bottenbjälklaget. U_{eff} -medel är ett vägt U-värde för hela byggnaden.

4.5.5 Beräkningsmodell för radiatoruppvärmning

Denna analys görs för att jämföra golvvärmens värmetransport ner i krypgrunden i förhållande till vad värmetransporten skulle bli med annan typ av uppvärmning t.ex. med radiatorer.

Om ingen golvvärme fanns i bottenbjälklaget utan huset värms upp med hjälp av t.ex. radiatorer skulle sambandet mellan inomhus, krypgrunden och utomhus se ut enligt figur 17.



Figur 17: Om den aktuella byggnaden värms upp med t.ex. radiatorer ser sambandet mellan inomhus, krypgrund och utomhus ut som figuren visar. Q_i (W) är det värmefflöde som radiatorerna producerar.

Ur figur 17 fås sambandet mellan inomhus- och utomhustemperaturen enligt följande:

$$T_i - T_o = Q_i \cdot \frac{R_b \cdot (R_i + R_c + R_g)}{R_b + R_i + R_c + R_g} \quad (\text{ekvation 2})$$

4.5.6 Relation mellan golvvärme och radiatoruppvärmning

Om ekvationerna 1 och 2 kombineras fås ett förhållande mellan effektbehovet för radiatoruppvärmning kontra golvvärme enligt följande:

$$T_i - T_o = \frac{R_b \cdot (R_c + R_g)}{R_b + R_i + R_c + R_g} \cdot Q_p = \frac{R_b \cdot (R_i + R_c + R_g)}{R_b + R_i + R_c + R_g} \cdot Q_i$$

$$Q_p = Q_i \cdot \left(1 + \frac{R_i}{R_c + R_g}\right)$$

Effektbehovet med golvvärme, Q_p , blir alltså faktorn...

$$1 + \frac{R_i}{R_c + R_g}$$

...större jämfört med radiatoruppvärmning. I tabell 11 finns denna faktor framräknad för det aktuella huset.

	$\frac{Q_p}{Q_i} = 1 + \frac{R_i}{R_c + R_g}$
	(-)
Norra del	1,14
Östra del	1,15
Södra del	1,17

Tabell 11: Effektbehovet för golvvärme, Q_p , har jämförts med effektbehovet för radiatoruppvärmning Q_i . Ökningen av effektbehovet för radiatoruppvärmning jämfört med golvvärme visas i tabellen.

Ur tabell 11 utläses att ungefär 15% större effektbehov föreligger i huset om golvvärme används istället för radiatorer!

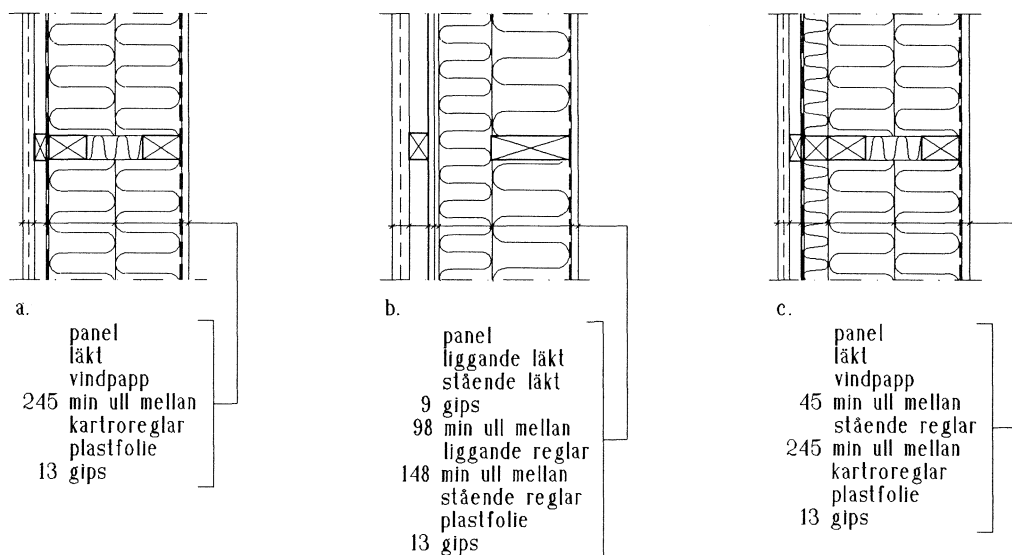
4.5.7 Slutsats

Den oventilerade kryppgrunden har ett mycket högt U-värde på 1,16 W/(m²·K). Detta U-värde kan jämföras med det ineluftsventilerade krypprummets U-värde, avsnitt 4.3, som är 0,258 W/(m²·K).

Orsaken till det höga U-värdet är att värmerören tillför värme i bottenbjälklaget och därmed ökar värmetransporten ner i krypprummet. Värmeisoleringen mellan värmerören och kryppgrunden är liten, endast 250 mm lättbetong. Dessutom borde kantisoleringen på 50 mm runt kryppgrundens mur vara tjockare.

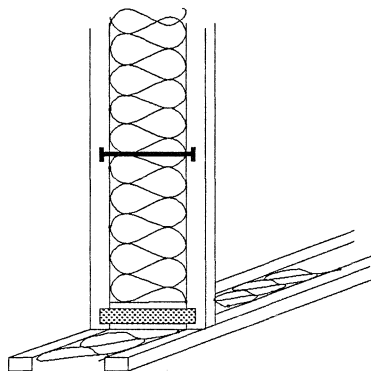
4.6 Ytterväggar

Till småhusen på Bo92 används tre olika ytterväggstyper, se figur 18. Den största skillnaden mellan ytterväggarna är dess värmeisolerings tjocklek. De tjocklekar som finns är 245, 246 respektive 290 mm. Ytterväggen med 246 mm värmeisolering är tillverkad i Norge och är något annorlunda med avseende på dimensioner än de två andra.



Figur 18: Till småhusen på Bo92 används tre olika ytterväggstyper.

Som bärande stomme används massiva träreglar eller s.k. Kartro-reglar, se figur 19. Kartro-regeln består här av två 45x70 mm homogena träreglar som är sammanlänkade med spikplåtar. Fördelen med en Kartro-regel är att den utgör en mindre köldbrygga i en yttervägg i jämförelse med en homogen träregel.



Figur 19: En kartro-regel består här av två 45x70 mm homogena träreglar som är sammanlänkade med spikplåtar. Fördelen med en Kartro-regel är att den utgör en mindre köldbrygga i en yttervägg i jämförelse med en homogen träregel.

4.6.1 Resultat

Ytterväggarna praktiska värmegenomgångskoefficient, U_p (W/(m²·K)), presenteras i tabell 12.

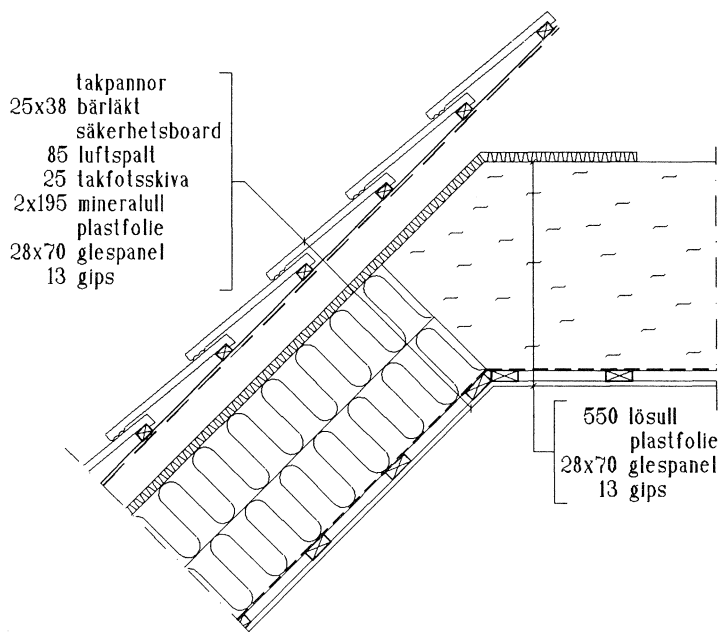
Yttervägg med:	U_p
	W/(m ² ·K)
245 mm mineralull	0,173
246 mm mineralull	0,183
290 mm mineralull	0,152

Tabell 12: De tre olika ytterväggarnas praktiska värmegenomgångskoefficient U_p .

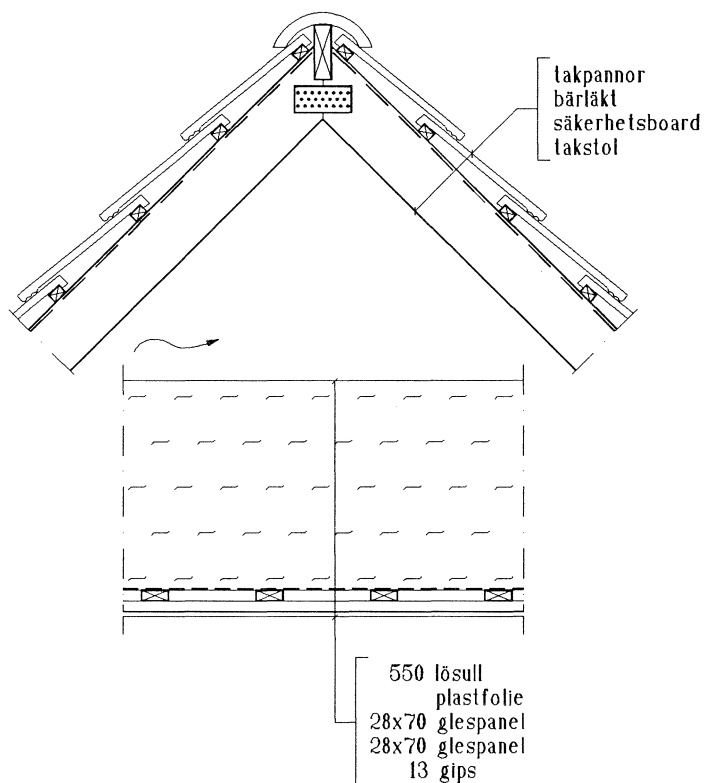
4.7 Tak

Till småhusen på Bo92 används både kalla tak och parallelltak, beroende på om husen är i 1½-plan eller i 1-plan/2-plan, se figur 20 och 21.

I 1½-plans husen finns 2x195+25 mm mineralull i takkonstruktionens lutande del medan det i 1- och 2-plans husen finns 550 mm lösull i hela takbjälklaget.



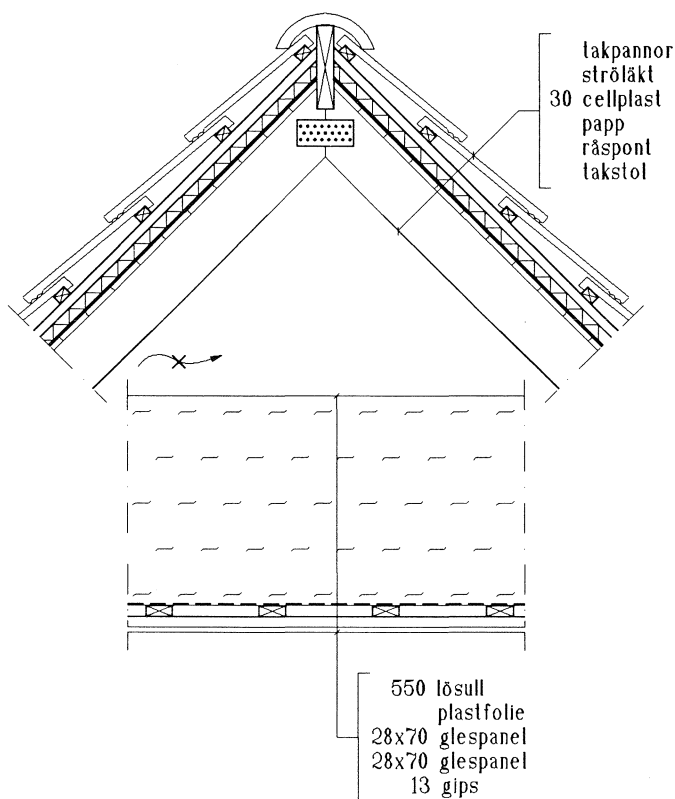
Figur 20: Till småhusen på Bo92 används denna typ av takkonstruktion i 1½-plans hus.



Figur 21: Till småhusen på Bo92 används denna typ av takkonstruktion i 1-plans och 2-plans hus.

Takkonstruktionen i hus 10, 20, 22 och 24 ser något annorlunda ut. Den har 30 mm cellplast under takpannorna. För övrigt ser denna takkonstruktion ut som "traditionella", se figur 22.

Konstruktionstypen är relativt nyutvecklad. Incitamentet är att hus med vindsutrymme över ett välisolerat bjälklag kan få fuktproblem. Problemet ligger i att temperaturen sjunker på yttertaket p.g.a. kraftig utstrålning vid vissa vädertyper exempelvis klara nätter under höst och vår. Om den relativa fuktigheten i vindsutrymmet är tillräckligt hög kan kondens utfällas på det kalla yttertaket. Stor risk föreligger då för mögelpåväxt. Fältförsök visar att risken för mögelpåväxt minskar om yttertaket värmeisolerar under takpannorna (Samuelson I, 1992). Härigenom sänks relativa fuktigheten genom en förhöjning av temperaturen i vindsutrymmet.



Figur 22: I hus 10, 20, 22 och 24 på Bo92 finns denna typ av takkonstruktion.

4.7.1 Resultat

Takkonstruktionernas praktiska värmegenomgångskoefficient, U_p (W/(m²·K)), presenteras i tabell 13. Orsaken till variation av U_p för 1½-plans husen är att arean för den horisontella ytan (med 550 mm lösull) varierar eftersom småhusens takform är olika. Därför är U_p för 1½-plans husen i tabell 13 ett vägt medel- U_p för hela det aktuella husets takkonstruktion.

Takkonstruktion i:	U_p
	W/(m ² ·K)
1½-plans hus	0,087-0,102
1-plans och 2-plans hus	0,085

Tabell 13: Praktisk värmegenomgångskoefficient U_p för de olika takkonstruktionerna på Bo92. Orsaken till variationen av U_p för 1½-plans husen är att arean för horisontell yta (med 550 mm lösull) varierar eftersom småhusens takform är olika. Därför är U_p för 1½-plans husen i tabellen ett vägt medel- U_p för hela det aktuella husets takkonstruktion.

4.8 Energibalans för småhusen

Energibehovet för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel för småhusen på Bo92 beräknas. Detta utförs, i en första omgång, med hjälp av projekteringshandlingar.

I en andra omgång utförs beräkningar med hjälp av kunskap om hur husen faktiskt blev byggda, eftersom avvikelser från projekteringshandlingarna föreligger.

Beräkningarna, som är teoretiska, görs med hjälp av datorprogrammet ENORM (Munther K, 1992). Programmet beräknar energi- och medeleffektbehovet under ett år baserat på dygnets medel-ute-temperatur och solstrålning. Beräkningsalgoritmerna i ENORM presenteras i Bilaga C. Indatan till programmet är följande:

- verksamhet i byggnaden
- byggnadens bruksarea
- byggnadens otäthetsfaktor
- byggnadens placering i Sverige för val av klimatdata
- byggnadens värmekapacitet
- byggnadens inomhustemperatur
- byggnadens omslutande areor
- köldbryggor i byggnaden
- värmegenomgångskoefficienter, U-värden, för olika byggnadsdelar
- fönstrens orientering i väderstreck, dess solfaktor och avskärmning
- byggnadens tilluftsflöde
- byggnadens ventilationstyp
- och slutligen byggnadens uppvärmningssystem.

Indatan beskrivs närmare i texten som följer. Indatan uttryckt i siffror för småhusen på Bo92 finns redovisade i Bilaga D.

4.8.1 Förutsättningar

Verksamhet i byggnaden

Verksamheten som finns i bygganden anges i programmet. De verksamheter som finns att välja mellan är: bostad (småhus eller flerbostadshus) respektive lokal (övriga typer av byggnader som inte är bostäder). Orsaken till att byggnadens verksamhet skall anges är att ENORM-programmet räknar energibehovet för en "referensbyggnad" och jämför dennes energibehov med energibehovet för det aktuella huset.

En referensbyggnads förutsättningar är samma som för det aktuella småhuset med undantag på tre punkter: värmegenomgångskoefficienterna (U-värden), otäthetsfaktorn och återvinning ur ventilationsenergin. Värmegenomgångskoefficienten, U-värdet ($W/(m^2 \cdot K)$) för hela

"referensbyggnaden" motsvarar Nybyggnadsreglernas krav på högsta godtagbara U-medelvärde, $U_{m,krav}$ (Boverket, 1991):

$$U_{m,krav} = 0,18 + 0,95 \frac{A_f}{A_{om}} \quad \text{för bostäder}$$

$$U_{m,krav} = 0,24 + 0,95 \frac{A_f}{A_{om}} \quad \text{för lokaler}$$

där

A_f = fönsterarea (m^2), inklusive dörrar och portar, mätt med karmyttermått. A_f får högst räknas med 18% av respektive byggnadstyps golvarea.

A_{om} = total omslutande invändig area (m^2)

Otätthetsfaktorn för "referensbyggnaden" sätts till 3,0 respektive 6,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$, vilket är högsta godtagen luftläckning för bostäder respektive lokaler enligt de då gällande Nybyggnadsreglerna (Boverket, 1991). Otätthetsfaktorn är den genomsnittliga luftläckningen vid en provtryckning, med 50 Pascal tryckskillnad över klimatskärmen, genom ytor mot uteluft.

Återvinningen ur ventilationsenergin (skillnad mellan avluftens och uteluftens energiinnehåll) för "referensbyggnaden" sätts till 50%, vilket är det lägsta krav i Nybyggnadsreglerna.

Byggnadens bruksarea

Byggnadens bruksarea anges som indata till ENORM. Bruksarean, BRA (m^2), utgörs av invändig golvarea inklusive innerväggar. Bruksarean för småhusen på Bo92 mäts upp från planritningar i skalan 1:50.

Byggnadens otätthetsfaktor

Byggnadens otätthetsfaktor anges som indata till ENORM.

Ett mål för småhusen på Bo92 är att otätthetsfaktorn ska vara under 1,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$ vid 50 Pa tryckdifferans över byggnadens klimatskärm. Efter att ha erhållit preliminära mätresultat, utförda av Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, inses att målet på 1,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$ var för högt satt.

Vid energiberäkningar med hjälp av ENORM antas därför otätthetsfaktorn, för projekteringsfallet, till 2,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$. För det andra fallet, med hjälp av kunskap om hur husen faktiskt blev byggda, ersätts otätthetsfaktorn 2,0 $m^3/(m^2 \cdot h)$ med det verkliga uppmätta provresultatet (Carlsson T och Tornevall M, 1993) på de färdigställda småhusen.

Byggnadens placering i Sverige

För beräkning av energibehov måste kunskap finnas om var i Sverige byggnaden är placerad. Energibehovet är bl.a. beroende på utomhustemperaturen och solstrålningen. Därför anges utomhusklimatet som indata för beräkningen. Småhusen på Bo92 ligger i Örebro kommun, och följaktligen används klimatdata för Örebro.

Byggnadens värmekapacitet

Med värmekapacitet menas den mängd energi som måste tillföras en byggnadsdel för att densens temperatur skall höjas 1 Kelvin. Värmekapaciteten varierar för olika byggnadsmaterial, t.ex. värmekapaciteten för lättbetong är 900 Ws/(kg·K) med densiteten 500 kg/ m^3 , betong 900 Ws/(kg·K) med densiteten 2300 kg/ m^3 och trä 1500 Ws/(kg·K) med densiteten 500 kg/ m^3 . Värmekapaciteten för småhusen på Bo92 antas till följande:

- 50 Wh/(m²·K) för småhus med trästomme och träbjälklag
- 60 Wh/(m²·K) för småhus med trästomme och lättbetongbjälklag
- 100 Wh/(m²·K) för småhus med trästomme och betongbjälklag.

För att veta hur stor betydelse värmekapacitetens noggrannhet är för det totala energibehovet görs följande två beräkningar: hus 11 tilldelas värmekapaciteten 50 Wh/(m²·K) i ett första fall respektive 210 Wh/(m²·K) i ett andra. Beräkningarna kan ses som två ytterlighetsfall. Skillnaden i resultaten är ca 80 kWh/år. Skillnaden får anses vara liten. Att räkna på ett mera noggrant värde på värmekapaciteten är därför inte befogat.

Energiberäkningar, baserad på energi- och medeleffektbehovet för varje dygn, ger sannolikt missvisande resultat om byggnaden är utformad med passiv solenergiteknik. Sådana hus är oftast försedda med stora fönster och tung stomme (hög värmekapacitet). Solinstrålningen genom dess fönster, vars tillskottenergi lagras i stommen, kräver att energiberäkningar görs minst varje timme under ett år. De småhus på Bo92 med stora glaspartier, hus nummer 2; 3; 9; 20; 22; 24; 26; 28 samt 30, kan därför få ett missvisande uppvärmningsbehov.

I hus 17 finns ett keramiskt lager. Det keramiska lagret lagrar värme, t.ex. på natten då priset på energi är lågt, för att utnyttja värmen senare, t.ex. på dagen då priset är högre. ENORM saknar beräkningsalgoritm för denna typ av värmelagring eftersom programmet beräknar energi- och medeleffektbehovet för varje dygn och inte timvis under året. Fördelen med det keramiska lagret är att vinning i pengar är större än ur kWh:synpunkt.

Byggnadens inomhustemperatur

Byggnadens inomhustemperatur anges som indata till ENORM. För småhusen på Bo92 antas inomhustemperaturen till 20°C.

Ibland är det önskvärt att simulera en något lägre temperatur i sovrum än i övriga huset, t.ex. 18 istället för 20°C, men tyvärr kan ingen sådan simulering göras i ENORM.

Byggnadens omslutande areor

Byggnadens omslutande area anges som indata till ENORM. Med en byggnads omslutande area menas den area som vetter mot utomhusklimatet eller annat klimat än det som finns i huset, t.ex. vindsbjälklagets, ytterväggarnas, bottenbjälklagets, fönstren och ytterdörrarnas area. Omslutande areor anges som invändiga ytor i enheten m².

Köldbryggor för byggnaden

En köldbrygga är en byggnadsdetalj där ett material med låg värmeisolering bryter igenom ett annat material med högre värmeisolering. Konsekvenserna av att ha köldbryggor är att:

- energibehovet ökar då värmetransporten genom byggnadsdetaljen ökar
- ytkondens och komfortproblem uppstår då en temperatursänkning inträffar vid köldbryggornas ytor
- lokal nedsmutsning uppkommer eftersom smuts avsätts snabbare på kallare ytor jämfört med varma.

Vid beräkning av småhusens köldbryggor på Bo92 tas bjälklagskanterna endast hänsyn till, se figur 23. Bottenbjälklagets köldbrygga, q_{bjk} (W/K), beräknas enligt följande:

$$q_{bjk} = U_{grund} \cdot h \cdot l$$

där

$$U_{grund} = \text{U-värdet för grunden (W/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

$$h = \text{höjd för köldbryggan (m)}$$

$$l = \text{längd för köldbryggan (m)}$$

På motsvarande sätt beräknades mellanbjälklagtets, q_{mbk} (W/K), köldbrygga:

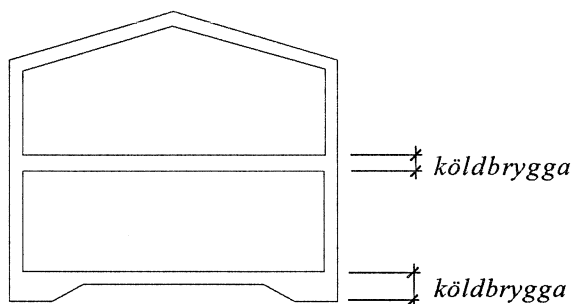
$$q_{mbk} = U_{vägg} \cdot h \cdot l$$

där

$$U_{vägg} = \text{U-värdet för ytterväggen (W/(m}^2 \cdot \text{K))}$$

$$h = \text{höjd för köldbrygga (m)}$$

$$l = \text{längd för köldbrygga (m)}$$



Figur 23: Vid beräkning av småhusens energibehov beaktas de köldbryggor som markerats i figuren.

U-värden för olika byggnadsdelar

U-värde för grundläggningskonstruktionerna, t.ex. platta på mark och krypgrund, beräknas med hjälp av datorprogrammen SLAB (Hagentoft C-E, 1988a) och CRAWL (Hagentoft C-E, 1986).

U-värde för de övriga konstruktionerna, t.ex. ytterväggar och tak, beräknas enligt Nybyggnadsreglerna (Boverket, 1988), ty dessa byggregler gällde då beräkningen gjordes. I Bilaga D finns småhusens U-värden presenterat.

Fönstrens orientering i väderstreck, dess solfaktor och avskärmning

Solenergitillskott, med hänsyn till glasareor, fönsterorienteringar, solfaktorer och avskärmningsfaktorer, beräknas i ENORM enligt BKL-metoden (Adamson B och Källblad K, 1984).

Fönsterareorna erhålls ur fönsterspecifikationer, leverantörsuppgifter eller från fasadritningar. Glasareorna, d.v.s. fönsterareorna exklusive karm och båge, antas vara 70% respektive 80% av fönsterarean för öppnings- respektive icke öppningsbara fönster.

Småhusen på Bo92 är orienterade i rak nord-sydlig riktning, varför ingen korrektion behövs göras för avvikelse från huvudväderstrecken.

Solfaktorn, d.v.s. den andel solstrålning som faller mot ett fönster och som fortsätter in i rummet, antas till 100% för 3-glasfönster utan lågemissionsskikt och till 92% för 3-glas fönster med lågemissionsskikt.

Avskärningsfaktorn, som korregerar för eventuell horisontalavskärmning t.ex. fönster-smygar, antas till 75% vilket är att betrakta som ett "normalfall".

Byggnadens tilluftsflöde

Byggnadens tilluftsflöde anges som indata till ENORM.

Då byggnader ventileras med utomhusluft, vars temperatur under större del av året är lägre än inomhustemperaturen, krävs en uppvärmning av uteluften före den blir ventilationsluft i byggnaden. Till detta krävs energi.

Uteluftsflödet, som senare blir byggnadens tilluftsflöde, är projekterat enligt Nybyggnadsreglerna (Boverket, 1991). I den första energiberäkningsomgången antas uteluftsflödena vara enligt de projekterade värdena. Det är dock oftast svårt att erhålla de projekterade flödena i praktiken.

Efter att husen var färdigställda anlitas ett företag i Örebro (Injustering Service Mätning AB) för injustering av ventilationen. Deras mätprotokoll från injusteringen används i den slutliga energiberäkningen.

Kvaliteten på tilluften i de ineluftsventilerade kryprummen är samma som i övriga huset d.v.s. värmeväxlad uteluft blandas med cirkulationsluft. Därför medtas energibehovet för uppvärmning av tilluften till grunden i beräkningen.

Byggnadens ventilationstyp

Småhusen på Bo92 är mekaniskt ventilerade. I småhusen, med undantag av två, finns från- och tilluftssystem med värmeväxling, typ QVFTX3 respektive Fläkt FTXIII. 50% av värmen i frånluften antas återvinnas vid värmeväxlingen. Uppgifter om FTX-aggregatens provningsdata erhålls av tillverkarna Husqvarna respektive Svenska Fläkt AB.

I en del av småhusen kombineras ventilationssystemet med uppvärmningssystemet. Uppvärmningen sker med varm luft (luftburen värme).

Två av småhusen har en värmepump som värmeväxlar frånluften. Värmepumpen, typ Nilan, ger dock bara värme till tilluften. Om värmepumpen däremot hade varit kopplad till varmvattnet hade värme även kunnat ges till varmvattnet speciellt under sommaren.

Ingen hänsyn tas i ENORM till det energibehov som finns då cirkulationsluft ingår i ventilationssystemet. Cirkulationsluften kommer, i de hus med luftvärme, att värmas upp från 20 till 40°C.

ENORM tar emellertid hänsyn till det elenergibehov som föreligger hos pumpar och fläktar.

Byggnadens uppvärmningssystem

I sexton småhus på Bo92 består "värmekällan" av fjärrvärme. Fjärrvärmen används dels för att värma upp husen, dels till tappvarmvattnet. Distributionen av värme sker antingen med luftburen värme eller vattenradiatorer. I hus nummer 30 på Bo92 finns dock vattenburen golvvärme, se avsnitt 4.5.

I elva av småhusen finns elpannor. I två av dessa elva hus kompletteras elpannorna med ved- respektive gaspanna (bivalenta energisystem). I de andra nio finns kakelugn alternativt öppen spis.

Brukarberoende parametrar

Parametrarna, eller indatan, som beskrivs i texten ovan behövs för att räkna ut energibehovet till *uppvärmning* och *fastighetsel*.

Energibehovet för *varmvatten* (kWh/dygn) och *hushållsel* (kWh/dygn) beräknas med hjälp av följande schabloner:

$$\text{varmvatten: } 5,0 \cdot \text{antal lägenheter} + 0,05 \cdot \text{uppvärmd area}$$

$$\text{hushållsel: } 4,5 \cdot \text{antal lägenheter} + 0,045 \cdot \text{uppvärmd area}$$

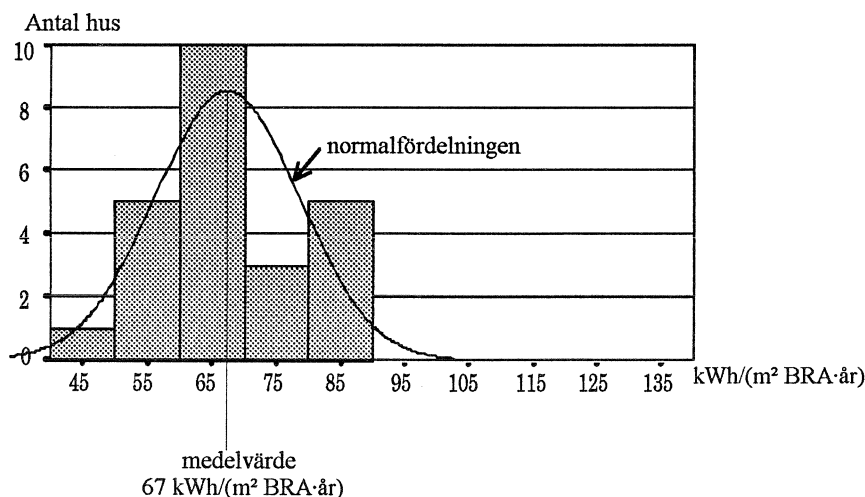
Ekvationerna baseras på en undersökning gjord på 8000 hushåll i Stockholm år 1972-1984 (Anderlind G et al, 1984).

Energibehovet för hushållselen som beräknas fram med hjälp av schablonerna är troligen något i överkant då energisnåla vitvaror finns i Bo92 husen. I småhusen finns också vattensnåla vatteninstallationer vilket också bör minska mängd varmvatten och därmed varmvattenbehovet.

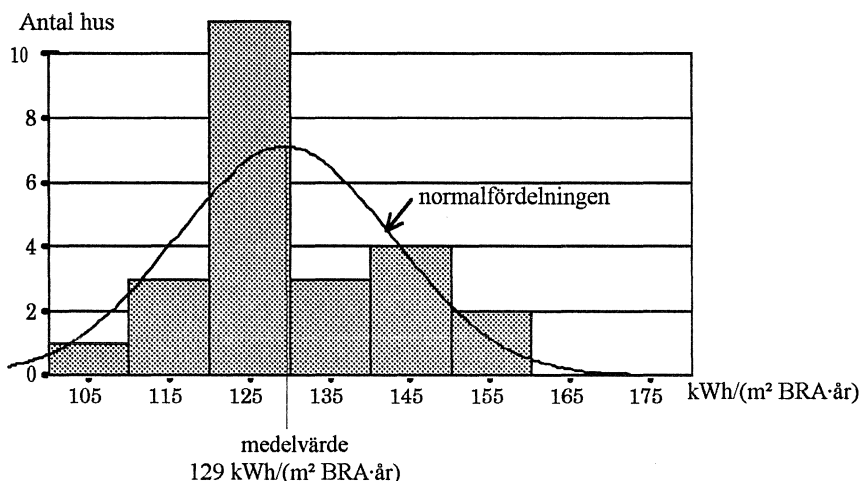
4.8.2 Resultat

Uppvärmningsbehovet, beräknat med hjälp av projekteringshandlingarna, presenteras i figur 24. Figuren visar en "normalfördelning" för småhusens *energibehov för uppvärmning*. Medelvärde för uppvärmningsbehovet är 67 kWh/(m² BRA·år) för hus 1 t.o.m. 24.

Normalfördelningen över *det totala energibehovet*: uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel, beräknat med hjälp av projekteringshandlingar presenteras i figur 25. Medelvärde är 129 kWh/(m² BRA·år) för hus 1 t.o.m. 24.



Figur 24: Teoretiskt beräknat uppvärmningsbehov, med hjälp av projekteringshandlingarna, för småhusen på Bo92. I statistiken ingår hus 1 t.o.m. hus 24.



Figur 25: Teoretiskt beräknat uppvärmnings-, varmvatten-, hushållsel- och fastighetselbehov med hjälp av projekteringshandlingarna. I statistiken ingår hus 1 t.o.m. hus 24.

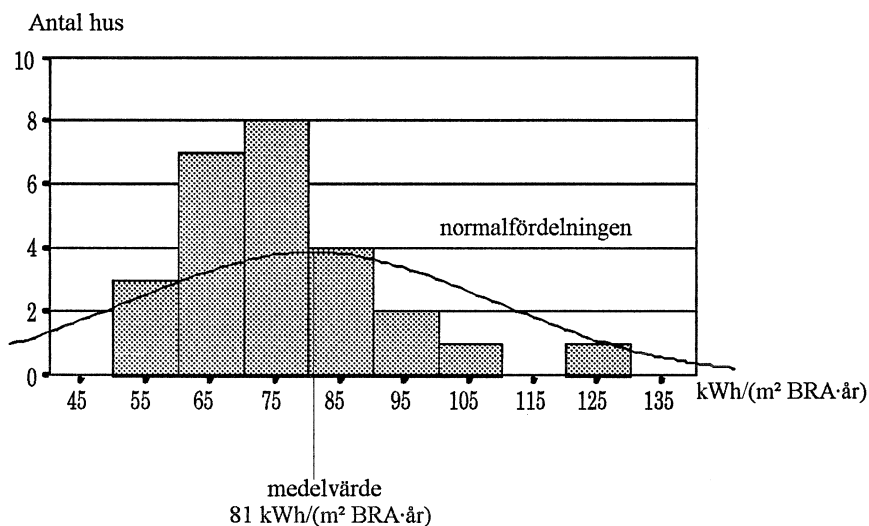
I figur 24 och 25 presenteras ett energibehov som beräknas med hjälp av projekteringshandlingarna. Samma beräkning görs om med hjälp av kunskapen hur husen faktiskt blev byggda, eftersom avvikelser från projekteringshandlingarna föreligger. Orsaken till avvikelser är följande:

Entreprenörföretaget, som byggde småhusen, gick i konkurs. I och med detta gick viss kunskap i byggnadsteknik förlorad. Det nya företaget som tog över följde inte projekteringshandlingarna fullt ut utan andra produkter (förmodligen billigare produkter än föreskrivna) användes.

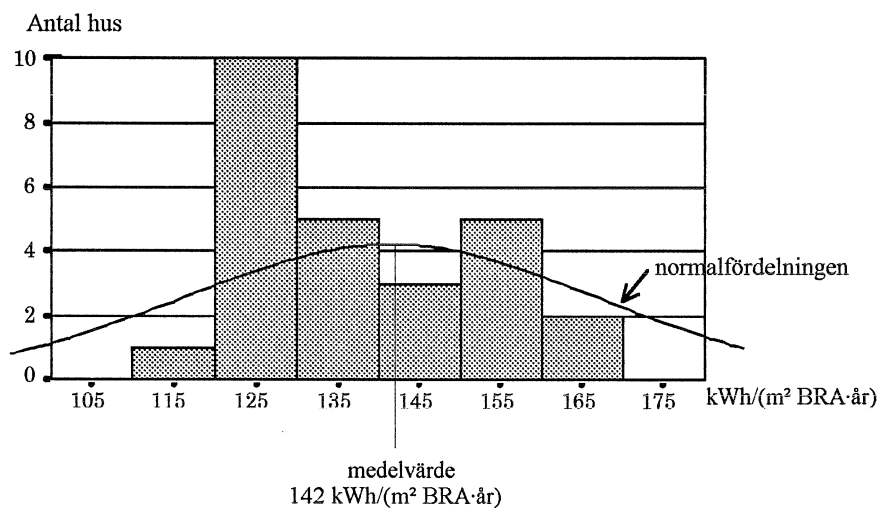
Det som påverkar energibehovet och som kan verifieras är att inköpta fönster, tätningsutförandet i anslutningar/runt fönster och dörrar, montering/injustering av ventilationen och värmeisolering i två krypprunder avviker från projekteringshandlingar. Kvaliteten på värmeisolerutförandet och kompensationer för kallras vid fönster, drag och kalla ytor är t.ex. inte känt.

Resultatet för den andra energiberäkningen, med viss kunskap om hur husen har blivit byggda, presenteras i figur 26 och 27. Figurerna visar normalfördelningen för alla småhusen (hus 1 t.o.m. hus 30) på Bo92. Medelvärdet är 81 kWh/(m² BRA·år) för *uppvärmningsbehovet* medan *det totala energibehovet*: uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel, är 142 kWh/(m²BRA·år).

I genomsnitt ökar energibehovet för uppvärmning med 10% ($(74-67)/67=0,10$) för hus 1 t.o.m. hus 24. En slutsats är att utförandet har stort inflytande på byggnadens kvalitet. Observera att hus 26, 28 och 30 inte finns med i statistiken eftersom de inte var färdigprojekterade vid den första energiberäkningen.



Figur 26: Teoretiskt beräknat uppvärmningsbehov efter det att husen var byggda och färdigställda. I statistiken ingår hus 1 t.o.m. hus 30.



Figur 27: Beräknat uppvärmnings-, varmvatten-, hushållsel- och fastighetselbehov efter det att husen var byggda och färdigställda. I statistiken ingår hus 1 t.o.m. hus 30.

Husens "verkliga" energibehov har sammanställts av Johan Hedbrant från Linköpings universitet (Hedbrant J, 1995). Det uppmätta energibehovet under andra uppvärmningssäsongen är i genomsnitt 147 kWh/m² BRA för hus 1 t.o.m. hus 24. Observera att medelvärdet baserat på hus 1 t.o.m. hus 24 för att kunna jämföra med de beräknade resultaten.

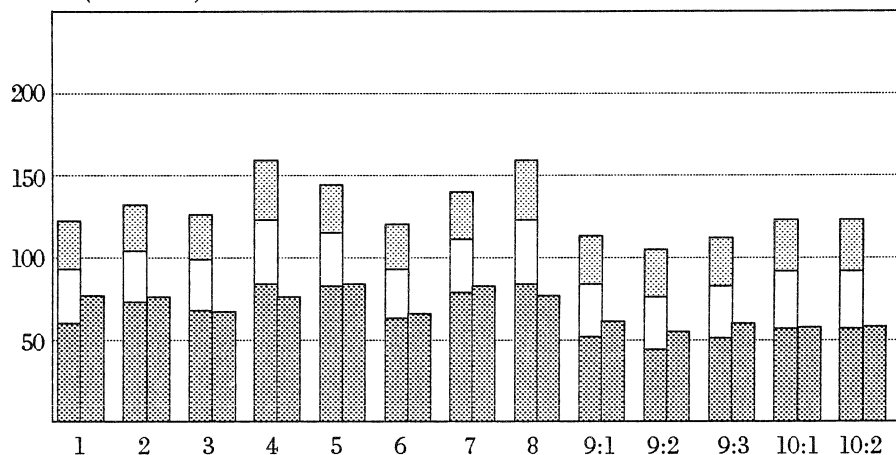
Resultaten visar att det uppmätta energibehovet i genomsnitt för hus 1 t.o.m. 24 är större än det teoretiskt beräknade, se tabell 14. Anledningen till skillnad mellan beräknat och uppmätt kan bl.a. vara annan inomhustemperatur i beräkningar jämfört med uppmätt, varmvattenanvändning, hushålls- och fastighetselanvändning.

Energibehov för hus 1 t.o.m. hus 24	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$
Beräknat energibehov med hjälp av projekteringshandlingar:	129
Beräknat energibehov med viss kunskap om hur husen blivit byggda:	135
Uppmätt energibehov under andra uppvärmningssäsongen (Hedbrant J, 1995):	147

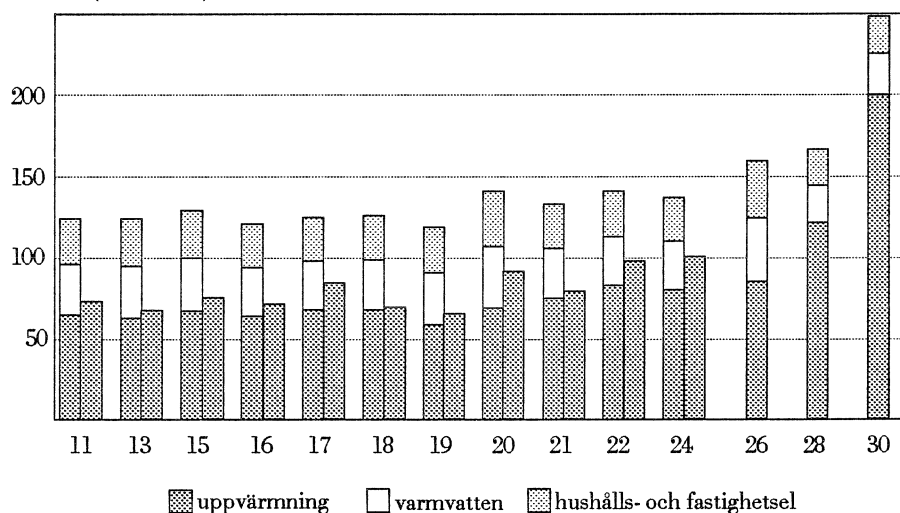
Tabell 14: Medelvärde på det totala energibehovet (uppvärmnings-, varmvatten-, hushålls- och fastighetsenergiebehov) för hus 1 t.o.m. hus 24 på Bo92.

I figur 28 visas en översikt av alla småhusens energibehov (hus 1 t.o.m. hus 30). Varje hus har två staplar. Den vänstra stapeln motsvarar energibehovet beräknat med hjälp av projekteringshandlingar medan den högra motsvarar energibehov beräknat med hjälp av kunskap om hur husen faktiskt blev byggda.

kWh/(m²BRA·år)



kWh/(m²BRA·år)



Figur 28: Beräknat energibehov för alla småhusen på Bo92. Den vänstra stapeln motsvarar energibehovet beräknat med hjälp av projekteringshandlingar medan den högra motsvarar energibehov beräknat med hjälp av kunskap om hur husen faktiskt blev byggda. Varmvatten, hushålls- och fastighetsel är densamma för båda fallen, även om det inte är utritat i de "högra staplarna".

4.8.3 Slutsatser

För att få en uppfattning om hur energisnåla småhusen på Bo92 är presenteras några andra objekt, se tabell 15.

Objekt, byggår, karaktär	Totalt energibehov teoretiskt beräknat	Totalt energibehov uppmätt
	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \text{ BRA} \cdot \text{år})}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2 \text{ BRA} \cdot \text{år})}$
Solbyn utanför Lund, byggår 1987 radhus med glasveranda i söder (Bülow-Hübe H, 1993)	115	100
Lättbygg i Täby, byggår 1984 18 småhus (Carlsson P-O och Hansson T, 1991)		107
Tuggutelite i Karlstad, byggår 1984 radhus med glasveranda (Blomsterberg Å och Eek H, 1989)	91	108
Skultorp utanför Skövde, byggår 1982 småhus med glasveranda (Blomsterberg Å och Stadler C-G, 1985)	94 ¹ 90 ²	109 103
SPARSAM-projektet, byggår 1982 småhus med glasveranda (Elmroth A och Granberg G, 1987)		91-100 (i Malmö) 111-152 (i Stockholm)
Småhusen på Bo92 i Örebro, byggår 1991-92	135 ³	147 ³

¹ siffror för ELAK-huset som är byggt enligt en s.k. ELAK-norm

² siffror för EXTREM-huset som är byggt med "extrema" värmeisoleringsjocklekar

³ avser ett medelvärde på hus 1 t.o.m. hus 24 på Bo92

Tabell 15: Exempel på totalt energibehov (uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel) för olika objekt. Jämförelse kan göras med Bo92:s småhus för att få en uppfattning om deras energianvändning.

Om småhusen på Bo92 jämförs med objekten i tabell 15 ligger Bo92-småhusens totala energibehov (uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel) i genomsnitt på en högre nivå. Bland småhusen på Bo92 är det bara radhusen, hus nummer 9:1 9:2 och 9:3, med ett totalt energibehov på 116-122 kWh/(m² BRA·år) som ligger i närheten av objekten i tabell 15.

Nedan presenteras några orsaker eller synpunkter på hur småhusen på Bo92 kunde ha gjorts mer energisnåla.

- De inneluftsventilerade kryppgrunderna och plattorna på mark kunde gjorts mer energisnåla genom en ökning av värmeisoleringsstjockleken under grunderna och längs grundmurarna respektive kantförstyvningen.
- Grundläggningsmetoden modifierad platta på mark i hus 20, 22, 24 och 26 skulle inte ha byggts i dess nuvarande konstruktionsutformning med de kraftiga köldbryggorna.
- Grundläggningsmetoden icke ventilerad kryppgrund i hus 30 skulle inte heller ha byggts i dess nuvarande konstruktionsutformning med den låga värmeisoleringsförmågan under bottenbjälklaget och längs grundmurarna.
- De inneluftsventilerade kryppgrunderna förses med tilluft med samma luftkvalité som det övriga huset d.v.s. värmeväxlad uteluft som blandas med cirkulationsluft. Detta leder till en ökning av husens energibehov.
- Småhusen är försedda med både badrum, toalett med dusch samt klädvårdsrum med tvättmaskin. Dessa tre olika utrymme kräver vardera ett frånluftsflöde på 10 l/s, i vissa fall 15 l/s. Det totala frånluftsflödet blir därför större jämfört med ett småhus utan klädvårdsrum. Tvättmaskinen kunde t.ex. vara placerad i badrummet. För småhusen innebär klädvårdsutrymmet en ökad energianvändning.
- Eftersom en av grundtankarna med småhusen var att de skulle vara vackra, för är hus vackra vill folk bo i dem, gjordes aldrig någon restriktion angående fönsterplacering eller -areor. Fakta kvarstår dock att husens fönster hade kunnat varit lämpligare placerade med hänsyn till solinstrålningen. De hade också kunnat vara mer tillslutna mot norr.
Dessutom är fönsterarean för några av småhusen runt 30% av den totala bruksarean. Om fönsterarean hade minskats hade också energianvändningen minskat då fönster har lågt värmemotstånd i jämförelse med ytterväggar, ungefär en tiondel.
Vidare hade de inköpta och monterade fönstren högre U-värden (värmegenomgångskoefficient) än de projekterade. Detta leder också till ett större energibehovet.
- Som tidigare beskrivits var en av grundtankarna att småhusen skulle vara estetiskt tilltalande. Därför gjordes inte husen yt- och volymssnåla. Fakta kvarstår dock att ett 1½-plans hus har lägre uppvärmningsbehov än motsvarande 1-plans hus.
- Småhusen på Bo92 var inte tätade tillräckligt bra. Detta leder till en ökad energianvändning. Otäthetsfaktorn för småhusen ligger mellan 1,6 och 13,8 m³/(m²·h) vid 50 Pa tryckdifferens, se även Bilaga D.
- Slutligen hade småhusen på Bo92 kunnat göras mer energisnåla, ca 10% i genomsnitt för uppvärmningsenergin för hus 1 t.o.m. hus 24 baserat på teoretiska beräkningar, om ritningar och föreskrifter följts vid uppförandet av småhusen.

5 Energibehov för att bygga, bruka och riva

Detta kapitel är hämtat ur rapporten "Energi för att BYGGA BRUKA RIVA småhus, Bo92" (Adalberth K, 1994b). I rapporten beskrivs en modell för att beräkna det totala energibehovet från "vaggan till graven" för småhus. För att konkretisera modellen tas tre småhus på den svenska bostadsmässan i Örebro 1992, Bo92, som exempel.

Detta kapitel börjar med en bakgrund till modellen, sedan beskrivs själva metodiken, därefter presenteras de tre studerade småhusen på Bo92 följt av en presentation av resultaten. Slutligen följer en s.k. parameterstudie där intressanta faktorer i ett av de tre småhusen varieras.

5.1 Bakgrund

Olika miljöfrågor har debatterats flitigt i press och på seminarier under de senaste åren. Ord som ofta förekommer är kretslopp, källsortera, återvinning, livscykelanalyser och miljövänligt byggande.

En annan viktig aspekt i miljöfrågor är energi. Under ett par decennier har forskningen varit inriktad på byggnaders energibehov under brukarstadiet, d.v.s. uppvärmning-, varmvatten-, hushålls- och fastighetselbehov. För att se byggnaden i sin *hela* energikedja studeras i detta kapitel energibehovet för småhus från dess "vagga till grav". Dessutom studeras betydelsefulla energiparametrar.

En energiminskning kan endast utföras då huset ses i sin helhet och ur ett livscykelperspektiv. En förändring av en komponent, t.ex. en förändrad grundläggningsmetod, kan medföra en "kedjereaktion" av händelser. Fler komponenter måste kanske ändras för att huset skall kunna fungera på avsett vis. Därför är det viktigt att se *huset som en enhet*.

I denna studie är energibehovet från "vaggan till graven" linjärt d.v.s. från det att råvaror bryts till det att färdig använda produkter deponeras. Önskvärt vore att beräkna energibehovet från "vaggan till vaggan" d.v.s. i ett cykliskt perspektiv - *från* råvara (eller redan använda produkter) *tills* det uttjänta byggnadsmaterial blir råvaror/material igen (alternativt hinner brytas ned/sedimenteras innan de blir råvaror igen). Råvaran kan nu sägas ha gått i en cykel.

Orsaken till att en cyklisk beräkning inte kan göras är att data över energibehov vid "rest-produkthanteringsfasen" för byggnadsmaterial är för vaga vid nuvarande tidpunkt.

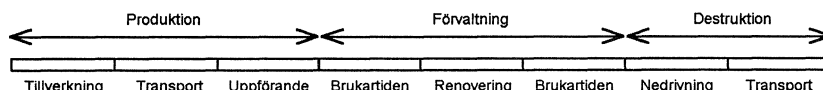
5.2 Metodik

I nedanstående text beskrivs en modell som kan användas vid beräkning av energibehov från "vaggan till graven" för tre utvalda småhus på Bo92. För att kunna beräkna energibehovet från "vaggan till graven" krävs att:

- kunskap finns om byggnaden, liknande det som beskrivs i kapitel 3 "Dokumentering av byggteknik och utförande"
- underlag finns för energiberäkningar, liknande det som beskrivs i kapitel 4 "Energiflöde genom konstruktioner"
- och slutligen en modell för beräkningen av det totala energibehovet från "vaggan till graven", vilket alltså beskrivs i det här kapitlet.

5.2.1 Tidsfaser

I denna modell delas småhuset in i olika tidsfaser från "vaggan till graven", se figur 29. Till en början skall husets ingående material *tillverkas*. Därefter skall de *transporteras* till byggarbetsplatsen för att monteras/byggas ihop, d.v.s. huset skall *uppföras*. När huset är uppfört skall det tas i *bruk* samt med jämna mellanrum *renoveras*. När huset är förbrukat kommer det att *rivas* och alla byggnadsmaterial kommer att *transporteras* bort. Gemensamt för de nämnda tidsfaserna är att energi krävs.



Figur 29: Husets livslängd från "vaggan till graven" kan delas upp i tre tidsperioder: produktion, förvaltning och destruktions. Dessa kan i sin tur delas in i olika tidsfaser.

5.2.2 Ingångsdata

För att kunna beräkna energibehovet under alla tidsfaserna måste kunskap om husen finnas, såsom dess konstruktioner, materialinnehåll, materialtillverkare, leverantörer, typ av fönster, dörrar, fast inredning, planlösning, produktionssätt (prefabricerat eller platsbyggt), geografiska läge, ventilationsritningar, vatten- och avloppsritningar, värmeförsörjning etc.

Utifrån dessa kunskaper kan husets mängder, transportsträckor, arbetsmoment etc beräknas. Stort arbete ligger i dessa beräkningar.

Med hjälp av data som hämtas ur en rapport från Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark (Andersen S et al, 1993) kan energibehovet för tillverkningen av material, under uppförandet och nedrivningen av byggnaden beräknas.

Datan som hämtas från det danska projektet kan diskuteras. Liknar danska förhållanden de svenska? Orsaken till att data från det danska projektet utnyttjas är att motsvarande data saknas i Sverige. Vi är inte lika långt framme vad gäller forskning och utveckling inom detta

ämnesområde. När motsvarande svenska kunskaper finns kommer "dansk" fakta att revideras till svensk.

I en rapport från Transportrådet (Transportrådet, 1985) studeras energibehov för lastbilar och fartyg med olika transportuppgifter. Med hjälp av studiens resultat kan transportenergi-behovet mellan byggmaterialtillverkare och byggarbetsplats beräknas.

Slutligen beräknas energibehovet under *brukarstadiet* med hjälp av datorprogrammet ENORM (Munther K, 1992), se även avsnitt 4.8.

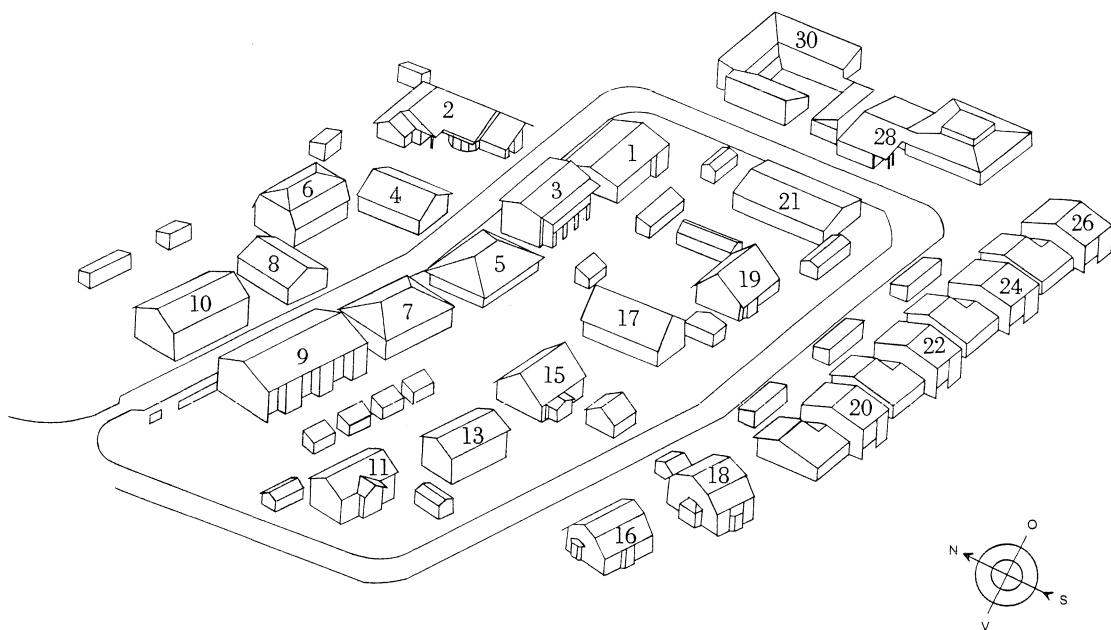
För att underlätta hela beräkningsförfarandet samlas datauppgifterna, d.v.s. ingångsdaten från de olika tidsfaserna, slutligen i ett kalkylprogram.

5.2.3 Förutsättningar

Småhusen på Bo92 går under det gemensamma namnet "Den nya trästaden". Följaktligen finns många träprodukter i småhusen såsom stomme, fasad, parkett, skåpsluckor mm. De tre småhusen, som studeras med avseende på det totala energibehovet från "vaggan till graven", är hus nummer 1, 5 och 19 på Bo92, se figur 30.

Brukarstadiets längd är ansatt till 50 år. Antagandet för materialens och produkternas livslängd baseras på Sveriges Allmännyttiga Bostadsförenings Underhållsnorm (SABO, 1992).

Resultatet väljs att presenteras i enheterna $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år})$ resp. $\text{kWh}/(\text{m}^2\text{BRA}\cdot \text{år})$.

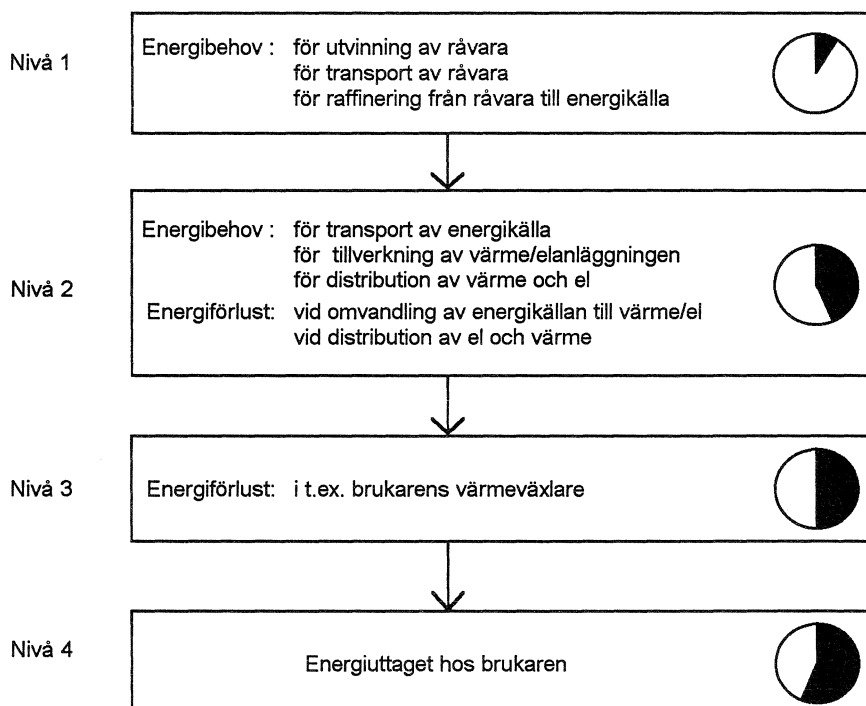


Figur 30: Skiss över småhusområdet på Bo92. I detta avsnitt studeras hus nummer 1, 5 och 19 med avseende på det totala energibehovet från "vaggan till graven".

5.2.4 Energikonvertering

Kilowatttimmen som tas ut i ett hem, t.ex. för att en lampa skall lysa, kräver energi för att tillverkas och transporteras. I energisammanhang används ofta termen verkningsgrad d.v.s. förhållandet mellan uttagen och insatt energi.

Vid beräkning av energibehov för småhus från "vaggan till graven" tas hänsyn till energikällans verkningsgrad. Den beräknade energin omvandlas successivt i olika s.k. Nivåer enligt figur 31. I rapporten presenteras tidsfasernas energibehov på Nivå 1 med undantag för brukartiden. Brukartidens energibehov presenteras på Nivå 2.



Figur 31: Konvertering av energi. Vid omvandling av energi från en s.k. Nivå till en annan minskar energiinnehållet p.g.a. förluster och energitillsatser. Den vita sektorn i cirkeln på de olika Nivåerna visar ett exempel på hur mycket energi som är kvar av ursprungsenergin.

Figuren kan belysas med följande exempel:

Från allra första början måste råvaran, t.ex. olja, utvinnas ur naturen. Därefter skall råvaran, råoljan, transporteras och omvandlas till värme alternativt elektricitet i t.ex. ett kraftvärmeverk samt distribueras till kunden. Detta sker på Nivå 2. Slutligen skall värmen värmeväxlas hos kunden, Nivå 3, för att sedan komma kunden till nytta, Nivå 4.

Då tillverkningsenergin och processenergin för uppförandet och nedrivningen av byggnaden baseras på danska uppgifter blir de beräknade energibehoven för svenska förhållanden egentligen annorlunda med hänsyn till energiomvandlingen. I Danmark är energislagen något annorlunda än i Sverige. Energitillförsel i Sverige är: olja 188 TWh/år, kärnkraft 77 TWh/år, biobränsle och torv 71 TWh/år, kol och koks 28 TWh/år (NUTEK, 1992). I Danmark står oljan för 116 TWh/år, kol och koks 86 TWh/år, naturgas 12 TWh/år och inhemska bränslen (halm, avfall, sol och vind) 8 TWh/år (Nordiska ministerrådet, 1991).

Fördelen med de danska uppgifterna är att de dels är omfattande, dels framtagna av en grupp forskare som har bearbetat datan på samma sätt. Siffrorna blir därför jämförbara med varandra. Motsvarande energiuppgifter för Sverige saknas för närvarande.

5.2.5 Avgränsningar

För att kunna beräkna det totala energibehovet från "vaggan till graven" måste gränsdragningar göras för huset. Vid beräkning av mängd byggnadsmaterial tas alla mängder med fr.o.m. schaktbotten under byggnaden t.o.m. skorstenen (alternativt luftningsledning, ventilationskanal eller taknock) på taket.

Det totala energibehovet beräknas som om husen under deras livslängd ser ut precis som de gör idag, d.v.s. ingen korrigerings görs för eventuella tillbyggnader i framtiden. Endast "normalt" underhåll tas hänsyn till, se mer om detta i avsnitt 5.4.1. Husens livslängd är antagen till 50 år, då den ekonomiska livslängden i allmänhet är ca 40-50 år.

Beräkningen av energibehovet är koncentrerad till själva huset. Ingen beräkning görs för brukarens (människans) förflyttning t.ex. mellan arbete och bostad eller tillgång till allmänna kommunikationer.

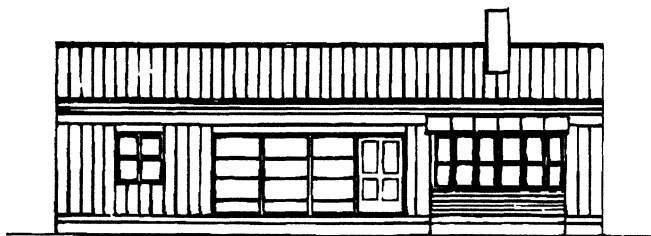
I modellen beräknas inte energibehovet eller energivinsten vid återanvändning, återvinning eller förbränning (energiutvinning). Orsaken till detta är att det energibehov eller vinst som görs vid "restprodukthanteringen" är beroende av vilken kvalitet det uttjänta materialet har och i vilken grad det upparbetas till. Uppgifter som för närvarande finns är för ofullständiga och vaga för att utnyttjas.

I framtiden bör även luftföroreningar som uppkommer under husets livslängd beräknas. Luftföroreningar bildas vid energiproduktion, utvinning av råvaror, bearbetning av råvaror till produkter, användning av produkter (benämns vanligen med "emissioner") och vid restprodukthantering. Tyvärr kan inte de luftföroreningar som uppkommer under husets livslängd beräknas. Orsaken är att uppdelning av bränsletyp/energislagslag, som energin produceras av, och dess mängd inte kan kartläggas.

5.3 Beskrivning av de tre studerade småhusen

Tre småhus väljs ut för beräkning av byggnadens och materialens energibehov från "vaggan till graven". Nedan beskrivs dessa tre närmare.

5.3.1 Hus 1



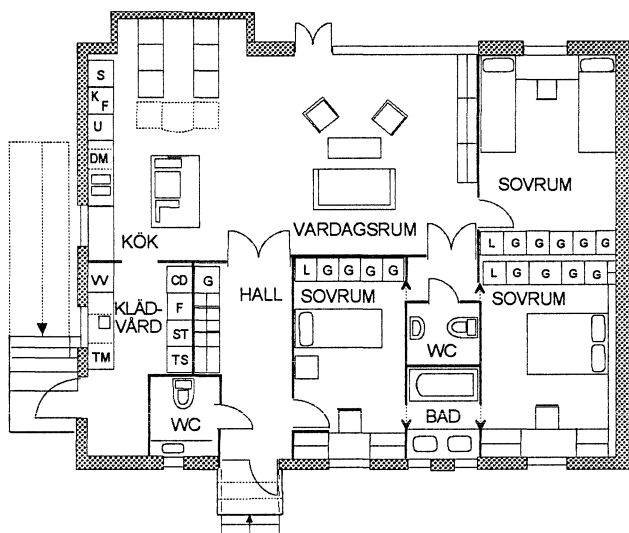
Figur 32: Söderfasaden av hus 1.

Det första småhuset som studeras är ett 1-plans hus med en bruksarea på 130 m². Den invändiga takhöjden är 2,70 meter. Huset är dimensionerat för att fem personer skall kunna leva och bo i det. Planlösningen för huset presenteras i figur 33.

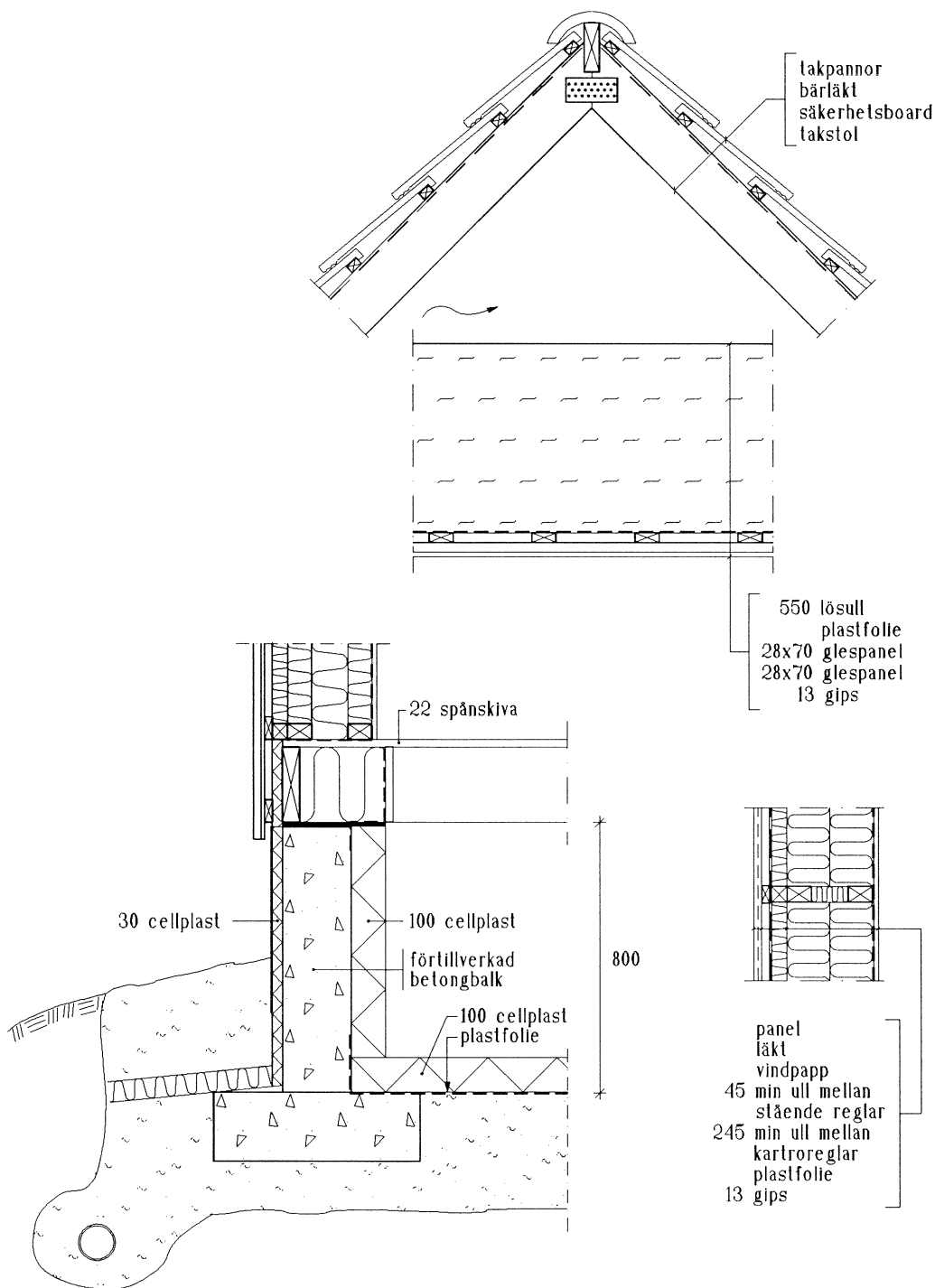
De olika konstruktionerna i huset är väl värmeisolerade. Grund-, ytterväggs- och takkonstruktionerna är presenterade i figur 34. Medel-U-värdet för huset är 0,177 W/(m²·K) vilket är under Nybyggnadsreglernas krav på 0,242 W/(m²·K). Nybyggnadsreglernas krav beskrivs i avsnitt 4.8.1.

Grunden är en s.k. inomhusventilerad kryppgrund med ett U-värde på 0,258 W/(m²·K). Ytterväggarna har 290 mm mineralull. U-värdet ligger på 0,152 W/(m²·K). Taket har 550 mm lössull vilket ger ett U-värde på 0,085 W/(m²·K). Fönstren består av 3-glas där den innersta glasrutan är försedd med ett lågemissionsskikt mot glashetens centrum. På södersidan finns större glaspartier, som också består av 3-glas fönster. U-värdet för fönstren är 1,63 W/(m²·K).

Huset har mekanisk ventilation, från- och tilluft, som är integrerad med uppvärmningssystemet s.k. FTX med luftvärme. Ventilationsluften värmeväxlas innan den går ut i det fria. Värmen till luftvärmen tas från ett fjärrvärmenät, liksom värmen till varmvattnet. Småhus utgör 40% av det befintliga byggnadsbeståndets golvarea i vårt land (Elmroth A et al, 1987a). 8% av dessa småhus har fjärrvärme som huvudsaklig värmekällan (SCB, 1993).

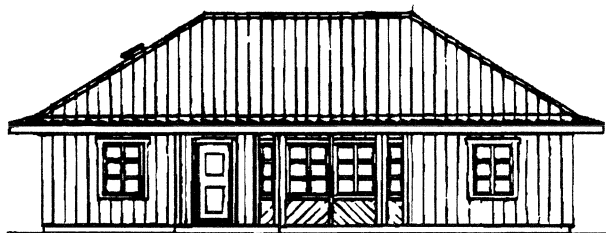


Figur 33: Planlösning över hus 1.



Figur 34: Olika konstruktioner: grund, yttervägg och tak i hus 1.

5.3.2 Hus 5



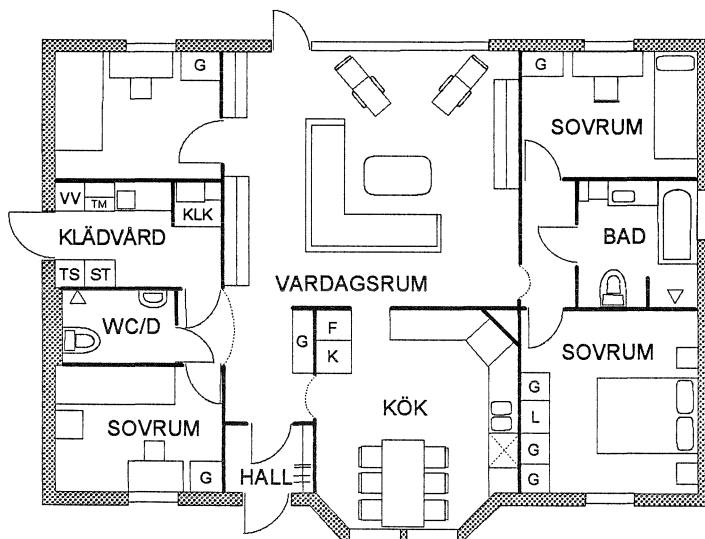
Figur 35: Norrfasaden av hus 5.

Detta hus är också ett 1-plans hus. Bruksarean är 129 m^2 . Den invändiga takhöjden är 2,40 meter. Huset är dimensionerat för att fem personer skall kunna leva och bo i det. Planlösningen för huset presenteras i figur 36.

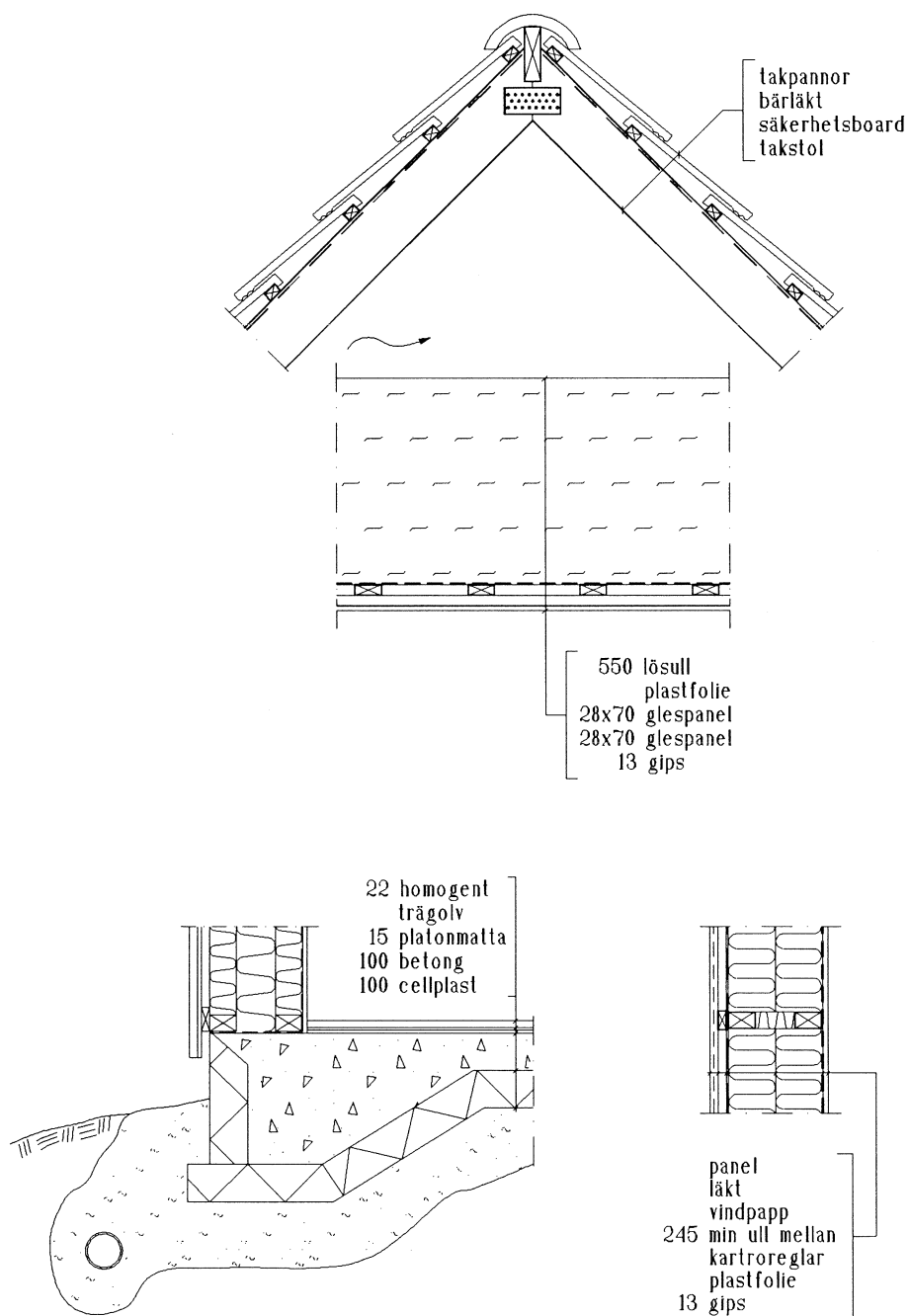
De olika konstruktionerna i huset är väl värmeisolerade. Grund-, ytterväggs- och takkonstruktionerna är presenterade i figur 37. Medel-U-värdet för huset är $0,183 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ vilket är under Nybyggnadsreglernas krav på $0,236 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Grunden består av en platta på mark av betong med 100 mm cellplast (polystyren) under. U-värdet är $0,319 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Ytterväggarna har 245 mm mineralull. U-värdet ligger på $0,173 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Taket har 550 mm lösull vilket ger ett U-värde på $0,085 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Fönstren består av 3-glas där den innersta glasrutan är försedd med ett lågemissionsskikt mot glasetens centrum. U-värdet för fönstren är $1,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Huset har mekanisk ventilation, från- och tilluft, som är integrerad med uppvärmningssystemet s.k. FTX med luftvärme. Ventilationsluften värmeväxlas innan den går ut i det fria. Värmen till luftvärmen tas från ett fjärrvärmenät, liksom värmen till varmvattnet.



Figur 36: Planlösning över hus 5.



Figur 37: Olika konstruktioner: grund, yttervägg och tak i hus 5.

5.3.3 Hus 19



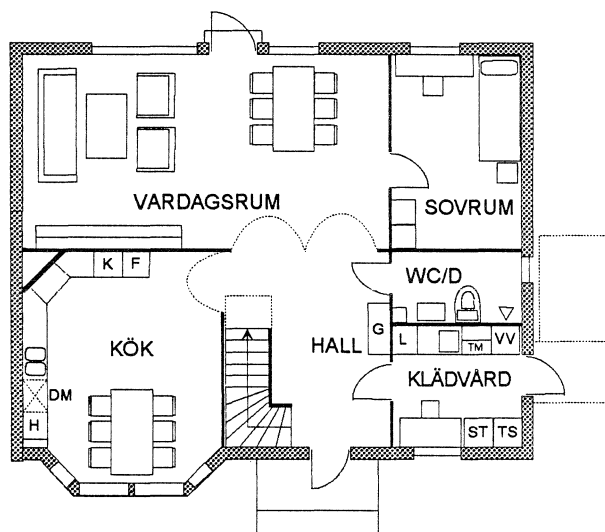
Figur 38: Söderfasaden av hus 19.

Hus 19 är ett 1½-plans hus på 138 m². Den invändiga takhöjden på botten- och ovanvåningen är 2,40 respektive 2,30 meter. Huset är dimensionerat för att fem personer skall kunna leva och bo i det. Planlösningen för huset presenteras i figur 39 och 40.

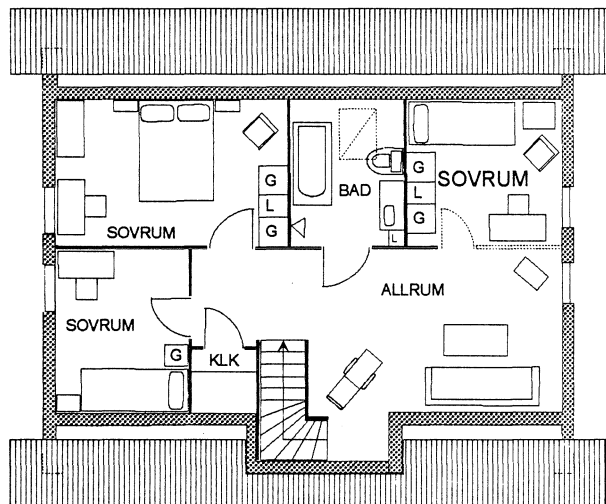
De olika konstruktionerna i huset är väl värmeisolerade. Grund-, ytterväggs- och takkonstruktionerna är presenterade i figur 40. Medel-U-värdet för huset är 0,210 W/(m²·K) vilket är under Nybyggnadsreglernas krav på 0,260 W/(m²·K).

Grunden består av en platta på mark av betong med 100 mm cellplast (polystyren) under. U-värdet är 0,341 W/(m²·K). Ytterväggarna har 245 mm mineralull. U-värdet ligger på 0,173 W/(m²·K). Taket har 2x195+25 mm mineralull i den sneda delen och 550 mm lösull i plana delen. Det ger ett viktat U-värde för hela takkonstruktionen på 0,091 W/(m²·K). Fönstren består av 3-glas där den innersta glasrutan är försedd med ett lågmissionsskikt mot glashetens centrum. U-värdet för fönstren är 1,36 W/(m²·K).

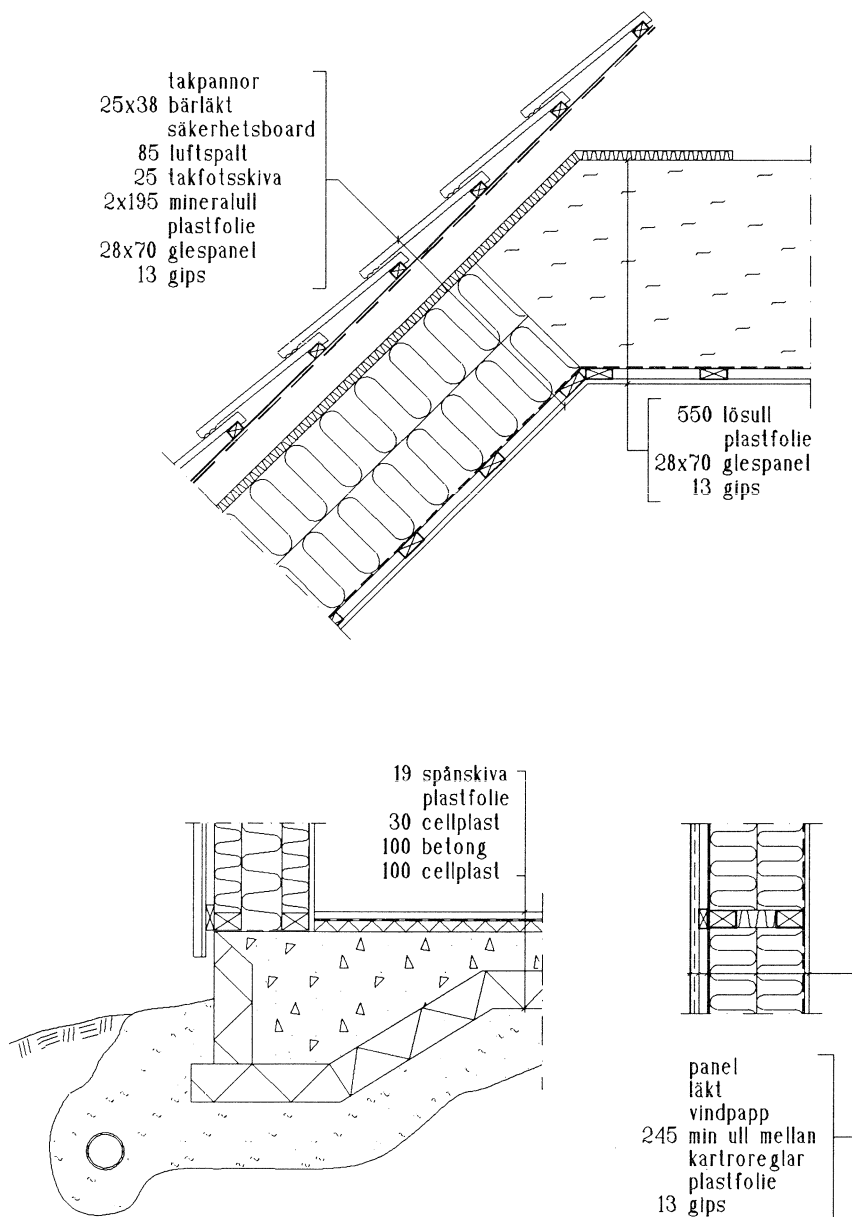
Huset har mekanisk ventilation, från- och tilluft, som är integrerad med uppvärmningssystemet s.k. FTX med luftvärme. Ventilationsluften värmes innan den går ut i det fria. Värmen till luftvärmen tas från ett fjärrvärmenät, liksom värmen till varmvattnet.



Figur 39: Planlösning över hus 19, nedervåning.



Figur 40: Planlösning över hus 19, övertvåning.



Figur 41: Olika konstruktioner: grund, yttervägg och tak i hus 19.

5.4 Resultat

5.4.1 Tillverkningsenergi

Tillverkning av byggnadsmaterial sker dels när huset byggs, dels senare då huset skall renoveras. Tillverkningsbehovet under dessa två tidsfaser presenteras tillsammans här.

Data för byggmaterialens tillverkningsenergi hämtas ur ett danskt projekt (Andersen S et al, 1993). I tillverkningsenergin inkluderas: energibehovet för utvinning av råmaterial; produktion av halvfabrikat; transporter av halvfabrikat; energibehov till uppvärmning av produktions- och administrationslokaler och slutligen energi till produktion av det slutliga byggnadsmaterialet. Byggmaterialens förbränningsvärde inkluderas också i tillverkningsenergin.

Energibehovet till emballage, som skyddar eller underlättar hantering av byggmaterial, medtas inte i beräkningarna.

I tabell 16 följer en sammanställning över tillverkningsenergin för några byggnadsmaterial. Uppgifter på makadam, sanitetsporlin, stålaskar och ventilationsaggregat saknas dock.

Tillverkningsenergin kan diskuteras. Liknar de danska förhållanden de svenska? Hur många tillverkare baseras materialdatan på? Är uppdelningen på materialen för grov? Låt oss ta ett exempel. Hur många kWh behövs det för att tillverka 1 ton armerad betong? Enligt tabell 16 skulle tillverkningsenergin bli 564 kWh/ton. Låt oss anta att vi använder den armerade betongen i en grundläggning, t.ex. i en platta på mark för ett småhus. Plattan på mark är ca 100 mm tjock mitt under småhuset. En nätarmering med 8 c 150 skulle krävas. Dessutom behövs distanshjul (eller distansklossar) av polyeten med en diameter av 58 mm och tjocklek 4 mm. Beräkningen ger att förhållanden mellan betong, järn och plast är: 99,2 0,7 och 0,1 viktsprocent. Energibehovet för plattan på mark blir med hjälp av siffrorna i tabell 16 för oarmerad betong, stål och polyeten $HD: 0,992 \cdot 211 + 0,007 \cdot 8889 + 0,001 \cdot 16400 = 288 \text{ kWh/ton}$. 288 kWh/ton skall jämföras med tabell 16:s uppgift på armerad betong: 564 kWh/ton!

Å andra sidan är uppgifterna på tillverkningsenergin i tabell 16 framtagna av en forskargrupp som använder en och samma metod, t.ex. energiomvandlingar och systemdragningar, för bearbetning av all materialdata. Siffrorna är därför jämförbara.

Data över energibehov för tillverkning av olika material finns även i (Fossdal S, 1992) och i (Berge B, 1992). Dessa två referenser innehåller dock inte lika många materialtyper som det ovan nämnda (Andersen S et al, 1993).

material	enhet	MJ/enhet	kWh/enhet
betong, armerad	ton	2030	564
betong, oarmerad	ton	760	211
gips	ton	8640	2400
tegel, glaserat	ton	7200	2000
trä: ohyvlat	m ³	2600	722
trä: hyvlat	m ³	4030	1119
trä: träspån	m ³	6804	1890
glas	ton	26040	7233
mineralull	ton	19200	5333
polyvinylklorid, PVC	ton	88740	24650
polyeten	ton	59040	16400
polystyren	ton	106740	29650
färg och lack	ton	25200	7000
stål	ton	32000	8889
koppar	ton	70200	19500
ventilationskanaler, plåt	ton	32400	9000
elledningar, koppar	ton	71200	19778
vitvaror	st	4000	1111

Tabell 16: Energibehov för tillverkning av byggnadsmaterial enligt danska förhållanden (Andersen S et al, 1993). Tillverkningsenergin är presenterad på Nivå 1, se figur 31. I tillverkningsenergin ingår energi till utvinning av råvaran, produktion av halvfabrikat, transporter av halvfabrikat, energibehov till uppvärmning av produktions- och administrationslokaler och energi till produktion av det slutliga byggnadsmaterialet. Inget avdrag är gjort för byggnadsmaterialens förbränningsvärde.

För att räkna ut energibehovet under tillverkningsfasen behöver småhusens materialmängd beräknas i antal ton eller m³. För att kunna beräkna mängder: studeras ritningar över de aktuella husen, studeras produktkataloger, besöks byggvaruhus för att inhämta kompletterande uppgifter, kontaktas tillverkare och installatörer per telefon etc.

Mängd material

I tabell 17 finns en sammanställning av ingående materialmängder i de tre småhusen (mängd makadam, fogmassa, spackel, ventilationsaggregat, till- och frånluftsdon beräknas dock inte). Gränsdragningen för att beräkna materialinnehåll för hela huset går vid schaktbotten och uppåt t.o.m. skorstenen (alternativt luftningsledning, ventilationskanal eller taknock).

Material och användningsområde	Densitet ton/m ³	Hus 1 ton	Hus 5 ton	Hus 19 ton
betong: grundplatta/mur	2,3	30	44	30
takpannor		7,8	8	8,4
gips: väggar, tak	0,8	4,4	4,2	4,1
kakel	2,25	0,08	0,11	0,17
porslin: handfat, badkar, toalettstol		0,13	0,1	0,11
trä ohyvlad: läkt	0,6	2*	2*	2*
trä hyvlad: reglar, bjälkar, takstol, panel	0,6	15*	13*	11*
träspån:spånskivor	0,6	4*	ca 0	5*
polystyren: isolermaterial i grund	0,03	0,6	0,6	0,3
polyeten LD: folie i vägg, tak	0,91	0,08	0,07	0,08
polyeten HD: vattenlednings rör	0,94	0,03	0,13	0,03
polyestergarn: fiberduk		0,03	0,03	0,02
PVC: golvmatta, rör för avlopp och dammsugare	1,7	0,07	0,05	0,1
hårdplast: elplaströr och kontakter		0,01	0,01	0,02
tapet och färg	0,5	0,6	0,4	
glas: fönster	2,5	0,42	0,23	0,4
mineralull: grund, vägg, tak		1,9	1,9	1,5
zink: handtag	7,13	0	0	0
stål: spik, skruv, handtag, vaskar, vattenavledning etc	7,8	0,33	0,38	0,21
koppar: varmvattenberedare	8,96	0,08	0,08	0,08
mässing: handtag, beslag etc		0,02	0,02	0,02
ventilationskanaler		0,17	0,14	0,17
elledningar		0,01	0,01	0,01
vitvaror: disk-/tvättmaskin, spis, kyl/frys		7 st	7 st	6 st
Summa:		69	80	65

* anger att enheten är i m³

Tabell 17: Mängd material, uttryckt i antal ton, i de tre småhusen som studeras med avseende på dess totala energibehov från "vaggan till graven".

De största skillnaderna mellan husens mängder är för materialen betong, polyeten HD, träspån och glas.

Hus 5 och 19 har grundläggningsmetoden platta på mark. Det förefaller därför naturligt att husen har "stor" mängd betong, se tabell 17. Skillnaden mellan betongmängden i hus 5 och 19 beror på att hus 5 har större bottenarea mot mark. I tabell 17 framgår också att hus 1 har en stor betongmängd, även om grundläggningsmetoden är en krypgrund med ett ovanliggande bottenbjälklag av trä. Orsaken till den stora betongmängden beror dock på att grundmurarna är av betong, se figur 34.

Den stora mängd polyeten HD i hus 5 kan förklaras med att under golvytan finns en Platon-matta som är tillverkad i polyeten.

Den låga spånskivemängden i hus 5 kan förklaras med att huset är planerat för allergianpassat boende. I och med allergianpassningen har spånskivor bytts ut mot andra material såsom plåt, glas eller homogent trä. Limmet i spånskivorna emitterar formaldehyd som kan medföra allergiska reaktioner.

Skillnaden i glasmängd mellan de tre husen beror på husens fönsterarea. Hus 1, 5 och 19 har en fönsterarea på 24,8; 16,6 respektive 23,9 m².

Mängd spill

När mängd byggmaterial är kartlagt multipliceras respektive materialmängd med dess "spillfaktor". Med "spillfaktor" menas förhållandet mellan mängd levererat material och den mängd som beräknats fram från ritningar och beskrivningar. Spillet varierar från en arbetsplats till en annan, men kan också variera inom samma arbetsplats och för samma materialslag (Larsson B, 1983). Orsaken till att spill uppkommer är t.ex. skador vid hantering, yrkesskicklighet hos byggare, stölder, mellanlagring etc.

I tabell 18 finns en sammanställning (grovt uppskattat) över de "spillfaktorer" som väljs för beräkningarna. Valet av spillfaktorerna baseras på en rapport från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF, 1990). Observera att uppdelning har gjorts beroende på om materialet monteras på fabrik eller på byggarbetsplats. Spillet torde bli mindre vid fabriksmontering.

	monteringsplats för byggnadsmaterialet	spill enligt SBUF (SBUF, 1990)	valda spillfaktorer i beräkningarna
betong	gjuts på arbetsplats	18%	20%
takpannor	läggs på arbetsplats	9%	10%
gips .	monteras på fabrik	32%	10%
kakel	monteras på arbetsplats		10%
läkt	monteras på arbetsplats	33%*	15%
säkerhetsboard	monteras på arbetsplats	33%*	15%
spånskivor	monteras på fabrik	7%	7%
reglar	monteras på fabrik	33%*	5%
takstolar	tillverkas på fabrik	33%*	5%
vindskydd	monteras på fabrik		5%
golvmaterial	läggs på arbetsplats		5%
mineralull	läggs in på fabrik	15%	10%
färg och lack	utförs på arbetsplats		5%
spikar, skruvar etc			5%
ventilationskanaler	monteras på arbetsplats		10%
elledningar	monteras på arbetsplats		5%
VA-rör	monteras på arbetsplats		5%

* %-satsen gäller generellt för trävirke

Tabell 18: Spillfaktorer för olika byggmaterial. Valet av spillfaktorerna baseras på en rapport från Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF, 1990). I kolumnen till höger %-satserna som antas i beräkningarna.

Livslängder

När mängdberäkningen är klar, inklusive spillet, måste livslängd för varje byggnadsmaterial bestämmas. Ju längre livslängd ett byggnadsmaterial har ju mindre blir tillverkningsenergibehovet per år räknat.

I tabell 19 följer en sammanställning över de livslängder som har valts. Grunden för antagningarna baseras dels på en studie gjord i början på 70-talet av Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA, 1974) dels på en underhållsnorm från Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag (SABO, 1992).

	livslängder enligt (IVA, 1974)	livslängder enligt (SABO, 1992)	valda livslängder
småhusets livslängd			50 år
stomme (yttervägg, innervägg, bjälklag, grundläggning, isolering)	60 år		50 år
parkett		45- år	50 år
vattenledningar			50 år
ventilationskanaler			50 år
elledningar			50 år
fasad: träpanel			30 år
fönster	30 år		30 år
dörrar	30 år		30 år
garderober/skåp	30 år		30 år
takpannor		30-35 år	30 år
stuprör		30-35 år	30 år
sanitetsporcelain	30 år	30-35 år	30 år
plastmatta		15-20 år	17 år
varmvattenberedare		15-17 år	16 år
fläktaggregat			15 år
spis/torkskåp		15-20 år	12 år
kyl/frys		12-15 år	12 år
tvättmaskin		8-10 år	12 år
diskmaskin			12 år
målning/tapetsering	8 år	10-13 år	10 år

Tabell 19: Livslängd för olika byggnadsmaterial. Kolumnen längst till höger visar livslängder som använts i beräkningarna. Grunden för antagningarna baseras dels på en studie gjord i av Ingenjörsvetenskapsakademien (IVA, 1974) dels på en underhållsnorm från Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag (SABO, 1992).

Husets livslängd antas till 50 år. Orsaken till att just 50 år väljs är att den ekonomiska livslängden för ett småhus är ungefär 40-50 år. I avsnitt 5.7 finns en parameterstudie gjord. Där beräknas husets livslängd till 40 år i ett fall och 60 år i ett annat.

Materialens livslängd används för att beräkna tillverkningsenergin under renoveringsfasen. Materialen byts ut (antal gånger) enligt följande ekvation:

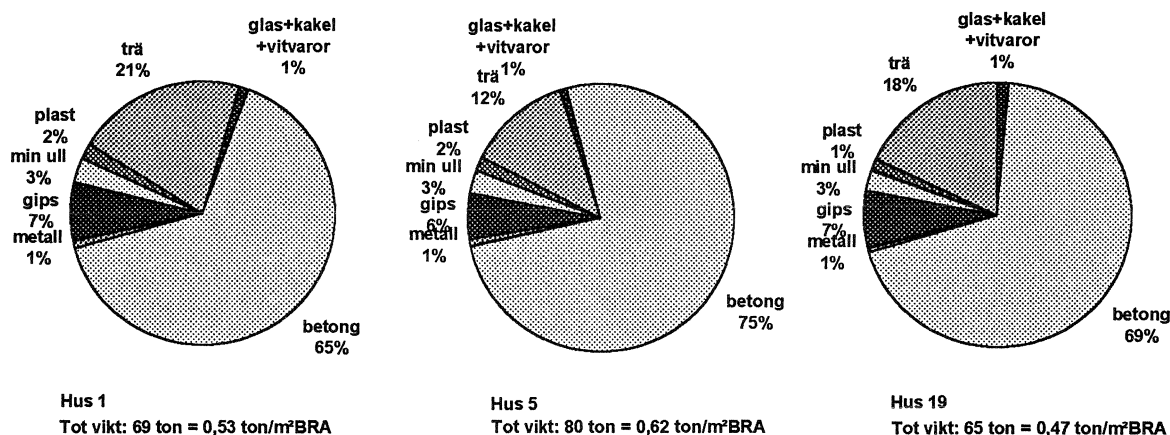
$$\frac{\text{husets livslängd}}{\text{materialets livslängd}} - 1$$

Exempel: En plastmatta antas ha en livslängd på 17 år, enligt tabell 19. Plastmattan kommer då beräkningsmässigt att bytas ut:

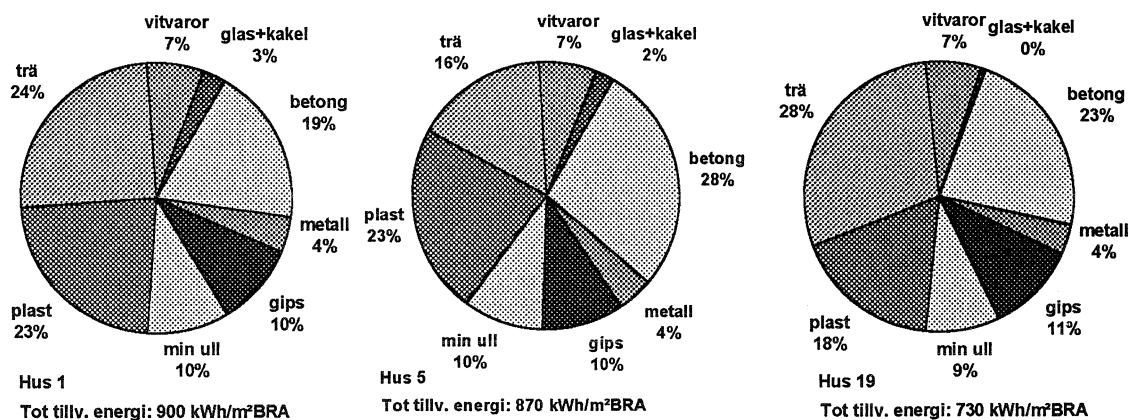
$$(50/17)-1=1,9 \text{ gånger}$$

Resultat för tillverkningsbehov under produktion

I figur 42 presenteras de materialmängder som finns i de tre småhusen. I figur 43 presenteras det energibehov som byggnadsmaterialen kräver för att tillverkas.



Figur 42: Mängd material i de tre småhusen, uttryckt i viktsprocent av det totala. Husen väger 65-80 ton, vilket motsvarar 0,47-0,62 ton/m²BRA.



Figur 43: Energibehov för tillverkning av byggnadsmaterialen, uttryckt i % av det totala tillverkningsbehovet. Materialen kräver mellan 730 och 900 kWh/m²BRA.

Som framgår av figur 42 väger hus 1, 5 och 19 ca 0,53; 0,62 respektive 0,47 ton/m²BRA (BRA = bruksarea, d.v.s. småhusets golvarea inklusive alla innerväggar). Den största andelen i husen, uttryckt i viktsprocent, är betong 65-75 viktsprocent. Därefter följer trä med 12-21 viktsprocent och gips 6-7 viktsprocent. Orsaken till den höga träandelen är att de tre småhusen har träpanel och trästomme.

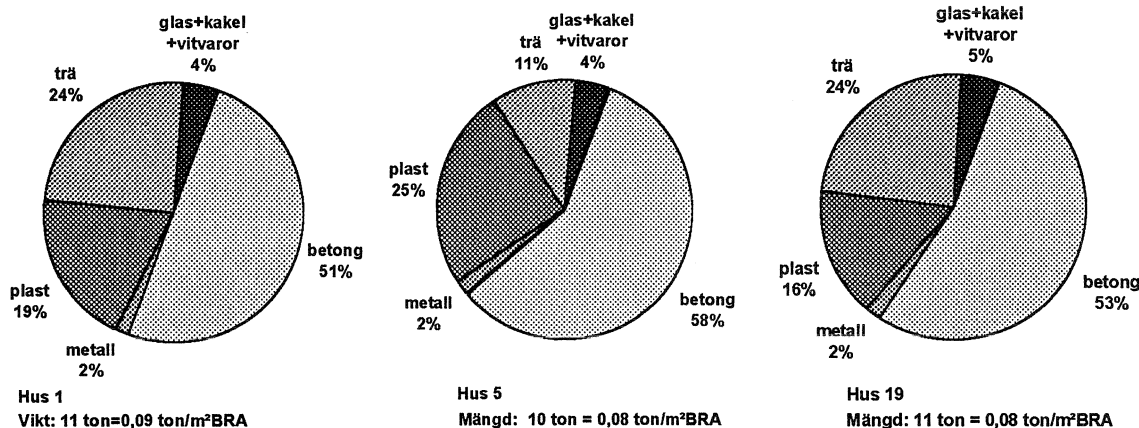
Jämför plastandelen uttryckt i mängd i figur 42 med tillverkningsenergibehovet i figur 43. Plastvikten i husen ligger omkring 1-2 viktsprocent, medan tillverkningsenergibehovet är 18-23 % av husens totala tillverkningsenergibehov!

Jämför också betongandelen i figur 42 med tillverkningsenergibehovet i figur 43. Betongvikten i husen utgör ca 65-75% av den totala vikten medan tillverkningsenergibehovet är 19-28% av husens totala tillverkningsenergibehov. Fördelningen av energibehov för respektive material skiljer sig alltså kraftigt i förhållande till viktandelen. Mängd material är dock intressant ur råvaru- och avfallshanteringssynpunkt.

Energibehovet för att tillverka byggnadsmaterialen i hus 1, 5 och 19 är: 900; 870 respektive 730 kWh/m²BRA. Orsaken till att hus 19 har lägre energibehov per m²BRA är att det är ett 1½-plans hus.

Resultat för tillverkningsbehov under renovering

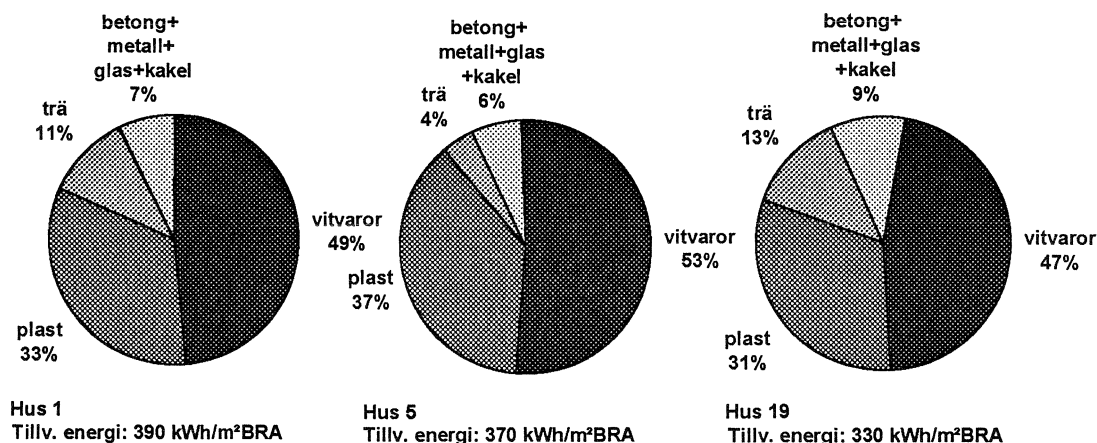
Tillverkningsenergibehovet under renoveringsfasen är beroende på vilka livslängder som väljs för de olika materialen. Med de livslängder som väljs enligt tabell 18, baserade på Sveriges Allmännyttiga Bostadsförenings Underhållsnorm (SABO, 1992), blev renoveringens materialmängder enligt figur 44.



Figur 44: Total mängd renoveringsmaterial är 10-11 ton för de tre studerade småhusen, vilket motsvarar 0,08 -0,09 ton/m²BRA.

I figur 44 visas att stor andel av "renoveringsmaterialen" utgörs av betong. Husens takmaterial utgörs nämligen av betongtakpannor. Takpannorna livslängd är antagen till 30 år. I figur 44 visas att trä och plastprodukter också utgör en stor andel av "renoveringsmaterialen". Trä finns som fasadpanel och golvbeläggning. Plast finns som färg och tapeter.

I figur 45 presenteras tillverkningsenergin under renoveringsfasen.



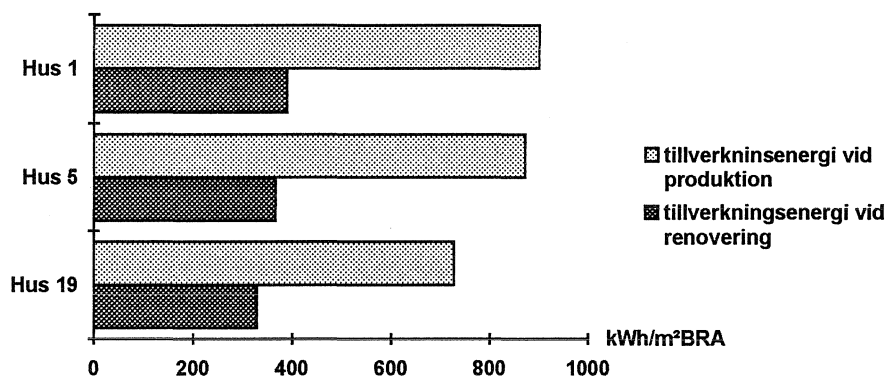
Figur 45: Energibehov för tillverkning av byggnadsmaterialen vid renoveringen, uttryckt i % av det totala. Materialen kräver mellan 330 och 390 kWh/m²BRA.

En stor andel av den energin som går åt vid tillverkning av "renoveringsmaterial" åtgår till vitvaror och plastprodukter.

Självklart har dock valet av livslängd för varje produkt inverkan på detta resultat. Val av byggnadsmaterial under nyproduktionen kan få stort utslag på tillverkningsenergiebehovet under renoveringen. Ett material med kort livslängd behövs bytas ut oftare än ett material med lång livslängd. Ur energisynpunkt är det därför bra om ett byggnadsmaterial har en livslängd som överensstämmer med husets livslängd. Vissa material byts inte ut för att de är utslitna

utan för estetiska skäl som t.ex. flertalet ytskikt (golv, väggar och tak). Ibland byts produkter också ut för att de är omoderna t.ex. köksmaskiner.

Sammanfattningsvis jämförs renoveringens energibehov med tillverkningsenergin då huset produceras, figur 46.



Figur 46: Sammanställning av materialens tillverkningsenergi då huset skall produceras kontra renoveras.

Tillverkningsenergin under renoveringen motsvarar ca 40-50% av tillverkningsenergin vid produktionen av huset.

5.4.2 Transportenergi under produktion, renovering och destruktion

Då byggnadsmaterial skall transporteras krävs energi. Transporter sker från tillverkare till byggarbetsplats både vid produktion av småhuset och vid renoveringen (observera att transportenergi för råvaror och halvfabrikat ligger i tillverkningsenergin). Transport kommer också att ske från småhuset till avfallsupplag vid renovering och destruktion.

Energibehovet för transporterna beräknas på basis av Transportrådets framtagna värden och presenteras bl.a. i Förpackningsutredningen (Tillman A-M et al, 1991). Transportenergin angiven i tabell 20 är på Nivå 1, se figur 31. Energikällan för transporterna är fossila bränslen.

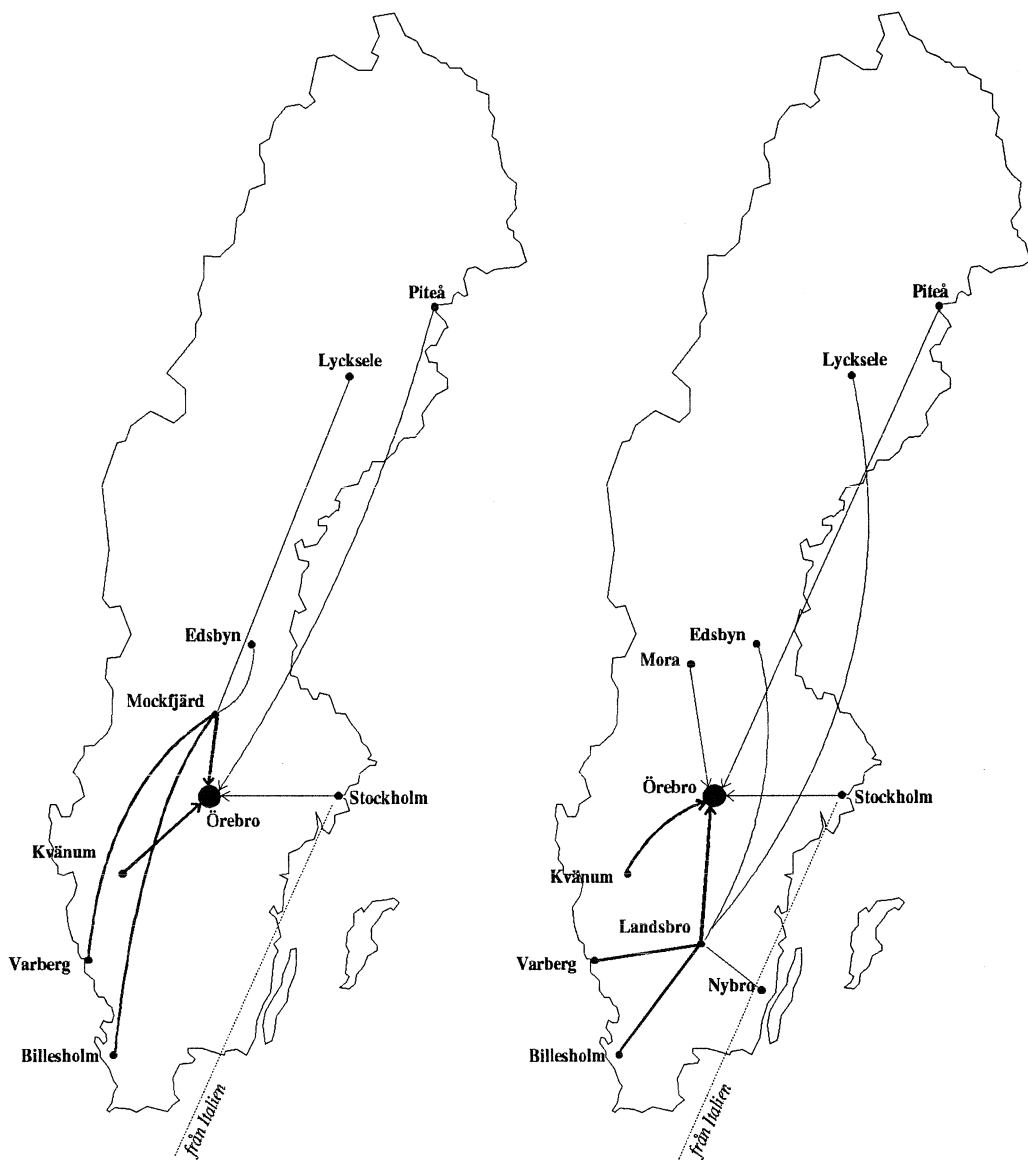
transportmedel	transportenergi (MJ/tonkm)	transportenergi (kWh/tonkm)
lastbil, fjärrtransport (körsträckor 50 km)	1,0	0,28
lastbil, närdistribution (körsträckor 50 km)	2,7	0,75
kustsjöfart	0,47	0,13
oceansjöfart	0,20	0,06

Tabell 20: Transportrådets värden för den mängd energi som krävs vid olika transporter (Tillman A-M et al, 1991).

En orsak till att lastbilars energibehov skiljer sig mellan fjärrtransport och närdistribution är att lastbilar med lång körsträcka kör med mer fylld last. En annan orsak är att närtransporter sker på vägar i tätorter medan fjärrtransporter i huvudsak ligger på landsbygdsvägar med mindre bränsleförbrukning som följd.

Byggnadsmaterialens körsträckor för de tre småhusen är olika långa. Dessutom monteras vissa byggnadsmaterial på fabrik till prefabricerade element för att sedan transporteras till byggarbetsplatsen. Andra komponenter monteras direkt på byggarbetsplats. Fabrikerna, där vissa byggnadsmaterial monteras, ligger antingen i Mockfjärd (Dalarna) eller i Landsbro (Småland).

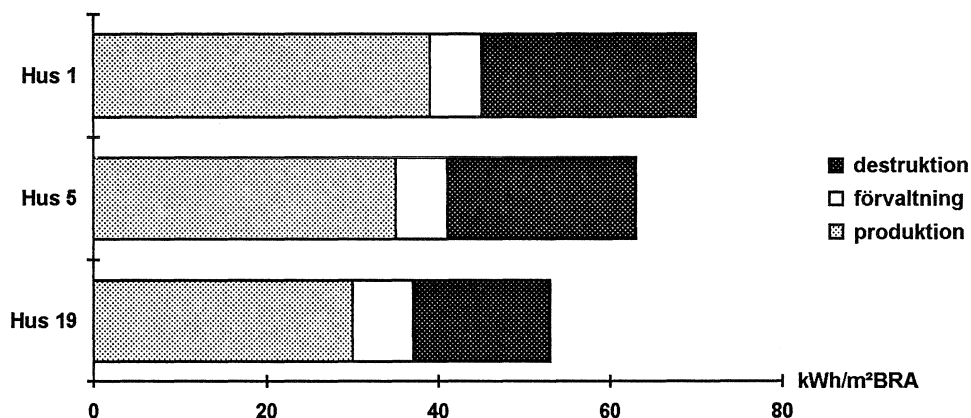
I figur 47 presenteras transportflöden vid produktion av de tre småhusen. Ju tjockare linjer i figuren ju större andel av den totala transportenergin har transportflödet. Transporter med ett energibehov över 50 kWh är endast medtagna.



Figur 47: Transportflöde för byggnadsmaterial, som finns i hus nummer 1, 5 och 19 på Bo92. Den vänstra Sverige-kartan gäller för hus 1 och den högra för hus 5 och 19. Hus 1 har prefabricerats i Mockfjärd och hus 5 och 19 i Landsbro. Byggarbetsplatsen, för de tre småhusen, ligger i Örebro. Ju tjockare linjer i figuren ju större andel av den totala transportenergin har transportflödet. Transporter med ett energibehov över 50 kWh är endast medtaget.

När byggnadsmaterialen skall transporteras bort vid renovering eller vid destruktion blir transportsträckorna annorlunda. Här antas att en avfallsstation ligger inom Örebro kommun, d.v.s. den kommun de aktuella småhusen ligger i. Transportsträckan antas till 20 km.

I figur 48 presenteras ett beräknat transportenergibehov under produktion, renovering och destruktion.



Figur 48: Behov av transportenergi då de tre småhusen skall produceras, renoveras och destrueras.

Skillnaden mellan småhusens transportenergi vid produktion beror dels på materialmängder, dels på fabriken läge där element prefabriceras i förhållande till materialtillverkare och byggarbetsplats. Transportenergin under renoveringen är ungefär lika för husen. Skillnaden i transportenergi vid destruktion beror endast på materialmängden.

5.4.3 Processenergi vid uppförande och nedrivning

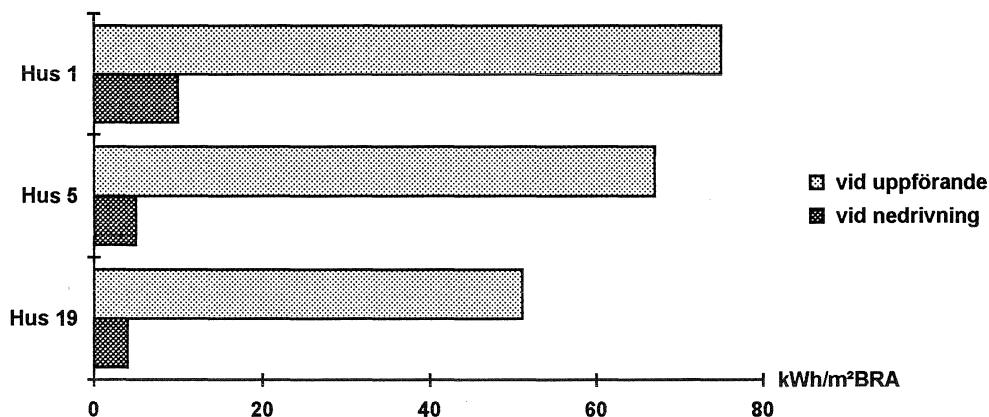
Under uppförandet av småhuset krävs energi till diverse processer, exempelvis uttorkning, uppvärmning av bodar och byggnaden, elektricitet till belysning och maskiner etc. Analogt gäller för processer under nedrivningsfasen.

Beräkningen av energibehovet för processerna vid uppförandet och nedrivningen baseras på uppgifter hämtade ur ett danskt projekt (Andersen S et al, 1993), se figur 18.

processer	enhet	MJ/enhet	kWh/enhet
uttorkning av standard betong på arbetsplats	ton	160	44
uttorkning av betongelement	ton	90	25
uppvärmning	m ² BRA	95	26
belysning	m ² BRA	7	2
grävning och borttransportering av jord	m ³	115	32
jordutjämning	m ³	20	6
uppvärmning etc av bodar	m ²	50	14
kranlyft	ton	11	3

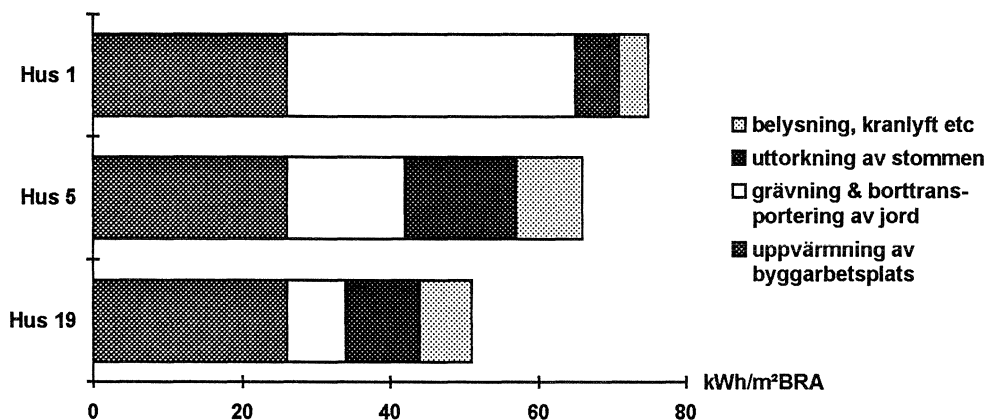
Tabell 21: Beräknat energibehov för olika processer vid uppförandet och nedrivningen av småhusen. Uppgifterna är hämtade ur ett dansk projekt (Andersen S et al, 1993).

I figur 49 presenteras ett beräknat energibehov för olika processer under uppförandet och nedrivningen av småhusen.



Figur 49: Beräknat energibehov till processer under uppförandet och nedrivningen av småhusen.

Processenergin är störst vid uppförandet av småhusen varför detta presenteras utförligare i figur 50.



Figur 50: Beräknat energibehov till olika processer vid uppförandet av de tre småhusen. Skillnaden mellan de tre småhusen vid uppförandet beror till största delen av mängd byggfukt som skall torka, på mängd jord som skall schaktas och transporteras bort.

Stor andel av processenergin under uppförandet av småhusen behövs till uppvärmning av arbetsplatsen, grävning och borttransportering av jord och i viss mån även till uttorkning.

Skillnad i processenergi mellan husen vid uppförandet beror i första hand på mängd jord som skall schaktas och transporteras bort och i andra hand på mängd byggfukt som skall torka.

Hus 1 har grundläggningen krypgrund till skillnad mot de andra som har platta på mark. Krypgrunden ligger djupare ner i marken än platta på mark varför mer jord behöver schaktas bort. Å andra sidan behöver plattan på mark torka ut mer, vilket krypgrunden med träbjälklag inte behöver i samma utsträckning.

5.4.4 Brukarenergi under förvaltning

Under brukartiden behövs energi till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel. Energiförbehovet under brukartiden är beräknat med hjälp av datorprogrammet ENORM (Munther K, 1992). Beräkningsförfarandet beskrevs i avsnitt 4.8 .

I tabell 22 presenteras några egenskaper för de tre studerade småhusen.

	enhet	Hus 1	Hus 5	Hus 19
Bruksarea (BRA)	m ²	130	129	138
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	3,8	2,4	2,1
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	50	100	100
Rumstemperatur	°C	20	20	20
Värmekälla		Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Uppvärmning		Luftvärme	Luftvärme	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTX
Uteluftsflöde	m ³ /h	230	245	184
U-VÄRDE:	W/(m ² ·°C)			
Vindsbjälklag		0,085	0,085	0,091
Vägg mot luft		0,152	0,173	0,173
Grundläggning		0,258	0,319	0,341
Fönster		1,63	1,36	1,36
Dörr		0,69	0,69	0,69
GLASAREOR:	m ²			
Nord		4,6	6,8	6,0
Öst		3,4	-	5,5
Syd		15,6	8,4	10,0
Väst		1,1	1,4	2,8

Tabell 22: I tabellen presenteras egenskaper för de tre småhusen.

I tabell 23 presenteras energibehovet under brukarstadiet, se även avsnitt 4.8 .

	Hus 1	Hus 5	Hus 19
	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$
uppvärmning	77	84	65
varmvatten	32	32	32
hushålls- och fastighetsel	29	29	28
Totalt:	138	145	125

Tabell 23: Beräknat energibehov under brukarstadiet till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetselektricitet (Adalberth K, 1994a).

Energibehovet för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetselektricitet är 138 kWh/(m²BRA·år) för hus 1, 145 kWh/(m²BRA·år) för hus 5 och 125 kWh/(m²BRA·år) för hus 19.

Energibehovet i tabell 23 är egentligen ett energibehov som brukaren i huset "tar ut". Den som levererar energi, i detta fall Örebro Energi, får tillsätta energi för att omvandla en energikälla till värme respektive el. Samtidigt finns förluster i produktionsanläggningen och vid distributionen till kunden.

Omvandlingen av energikällor till värme respektive el medför alltså energitillsatser och förluster på olika s.k. Nivåer, se figur 31. Det energibehov som brukaren tar ut är på Nivå 4. En omräkning av energin till Nivå 2 innebär för det första att hänsyn tas till leverantörens (Örebro Energis) energitillsatser och omvandlingsförluster. För det andra sker en distributionsförlust mellan leverantören och kunden. Energitillsatserna och förlusterna från Nivå 4 till Nivå 2 har studerats av Mats Söderström, Linköpings tekniska högskola, och finns publicerat i en rapport avsedd endast för Örebro Energi. Resultatet från studien visar att förhållandet mellan uttagen och insatt energi, den s.k. verkningsgraden, är 89% för elproduktion och 101% för värmeproduktion.

Värmeproduktionens höga verkningsgrad kan förklaras med att Örebro Energi har värmepumpar, vars verkningsgrad i genomsnitt är ca 290%. Övriga produktionsanläggningarna är kraftvärmeverk, hetvattenproduktion och elpannor. Örebro Energi köper energikällorna/slagen trä, torv, spillvärme från avloppsnätet, kol, olja och råkraft.

I tabell 24 presenteras energibehovet under brukartiden på Nivå 2.

	Hus 1	Hus 5	Hus 19
	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA}\cdot\text{år})}$
uppvärmning	76	83	64
varmvatten	32	32	32
hushålls- och fastighetsel	32	33	32
Totalt:	141	148	128

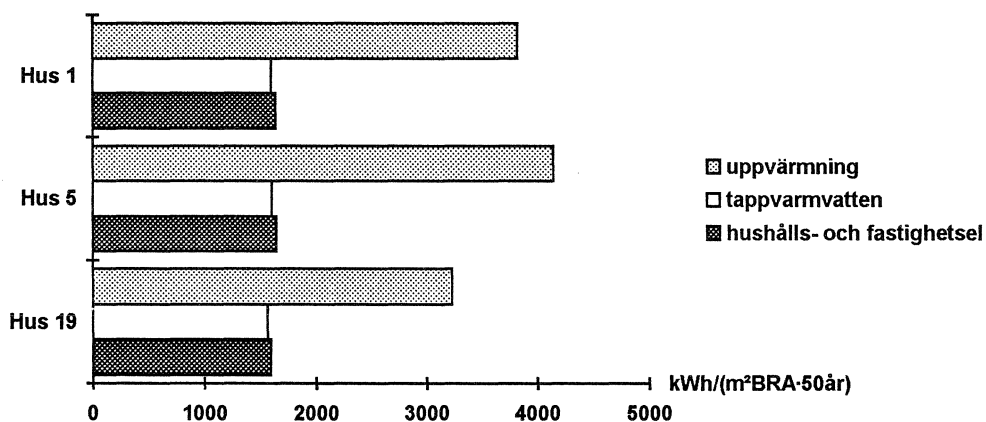
Tabell 24: Beräknat energibehov under brukartiden till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetselektricitet uttryckt på Nivå 2. På Nivå 2 har verkningsgraden för tillverkningen av värme och el vid Örebro Energi tagits hänsyn till liksom distributionsförluster mellan Örebro Energi och kunden.

Egentligen skall omräkningen av energibehovet till Nivå 2 också innehålla det energibehov som behövs för att tillverka produktionsanläggningen (Örebro Energi). Ingen sådan hänsyn är dock tagen.

En ansats till att räkna om hushålls- och fastighetselbehovet från Nivå 2 till Nivå 1 finns i avsnitt 5.7.9. Uppvärmnings- och varmvattenbehovet (värmeenergi) är inte omräknat från Nivå 2 till Nivå 1, eftersom olika bränsletyper i olika stora mängder (trä, torv, vid högbelastning även kol och olja) finns i produktionsapparaten. Viss elpannekraft blir också värme. Uppdelningen av mängder och typer kan inte kartläggas.

För att få det totala energibehovet under husets livslängden måste energibehovet per år multipliceras med husets antagna livslängd, d.v.s. 50 år. Eventuellt förändras energibehovet under brukartiden om huset genomgår en ombyggnad eller renovering. Detta simuleras dock inte i denna studie.

I figur 51 presenteras småhusens energibehov under brukartiden beräknat på dess 50-åriga livslängd.



Figur 51: Sammanställning av energibehovet under brukartiden för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel för de tre småhusens.

Skillnaden i uppvärmningsbehovet mellan husen beror till största delen av att:

- hus 19 är ett 1½-plans hus, med mindre transmissionsförluster än de andra
- hus 19 har ett lägre ventilationsflöde i jämförelse med de två andra husen. Detta leder till ett lägre uppvärmningsbehov.
- hus 1 har större glasytor mot söder än de två andra husen, vilket beräkningsmässigt leder till större solenergiutnyttjande. Ändå blir det *totala* uppvärmningsbehovet för hus 1 större än för hus 19.

5.5 Sammanfattning

I tabell 25 redovisas småhusens totala energibehov från "vaggan till graven".

Tidsfaser	Hus 1		Hus 5		Hus 19	
	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	900	11	870	10	730	10
Transport	40	0	40	0	30	0
Uppförande	80	1	70	1	50	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	7100	83	7400	85	6400	85
Renovering: tillverkning	390	5	370	4	330	4
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	<10	0	<10	0
Transport	30	0	20	0	20	0
Total energi kWh/(m²BRA·50år):	8500	100	8800	100	7600	100
Total energi kWh/(m²BRA·år):	170		176		151	

Tabell 25: *Energibehov från "vaggan till graven" för de tre småhusen.*

I tabell 25 framgår att hus 1, 5 och 19 kräver 8500, 8800 respektive 7600 kWh/(m²BRA·50år) under sin livscykel. Per år räknat blir detta 170, 176 respektive 151 kWh/(m²BRA·år).

I tabellen framgår också att energibehovet för att tillverka alla byggnadsmaterial vid produktion och renovering motsvarar ca 15% av det totala energibehovet. En annan intressant iakttagelse, som dock inte framgår av tabellen, är att energibehovet för att tillverka värmeisoler materialet (mineralull och polystyren) motsvarar 1-1½ års energibehov under brukartiden för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel.²

Transportenergin och processenergin under uppförandet och nedrivningen av småhusen utgör mindre än 1% av det totala energibehovet, varför dessa tidsfaser energibehov är litet sett på husets hela livscykel.

² Detta har beräknats fram med hjälp av tabell 16, 17, 18 och 24. Beräkningen för hus 1 ser ut enligt följande:
Energi behov för värmeisoler materialen (mängd·energi behov·spillfaktor/bruksarea):
[0,6ton polystyren:29650 kWh/ton·1,10+1,9ton mineralull:5333 kWh/ton·1,10]/130 m²BRA=236 kWh/m²BRA
Energi behov för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel (brukarfasens energibehov):
141 kWh/(m²BRA·år)
Förhållandet mellan värmeisoler materialens energibehov och brukarfasens energibehov: 236/141 = 1,7 år

Huvudandelen av den totala energianvändningen, ca 85%, sker under brukartiden! Det är därför mycket viktigt att producera hus: med låga transmissionsförluster; med få köldbryggor; som utnyttjar solinstrålning; som är lufttäta; som har fungerande ventilation med värmeåtervinning; som har hög verkningsgrad på värmeanläggningen och som har energieffektiva hushållsmaskiner. Observera att husen, i det utförandet som de redan är, är att betrakta som lågenergihus med en årlig uppvärmnings-, varmvatten-, hushålls- och fastighetsenergibehov på 138, 145 och 125 kWh/m²BRA för hus 1, 5 respektive 19.

I en annan studie har liknande resultat erhållits (Nielsen P, 1995). I studien har bl.a. fyra småhus, varav ett lågenergihus, analyserats med avseende på deras energibehov under livscykeln. Resultaten visar att det totala energibehovet för lågenergihuset, med byggår 1982, är 85 kWh/(m²BRA·år). 19% av detta används vid tillverkningen av byggnadsmaterialen och 79% under brukarstadiet för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel.

5.6 Diskussion

För att få en total bild av en byggnads energibehov måste hänsyn tas till alla tidsfaser som ett hus genomgår, alltså inte bara brukartiden. Även om denna studie visar att brukartiden har en stor inverkan på det totala energibehovet bör de andra faserna också vägas in. Orsaken är att ju mindre energi som behövs under brukartiden till uppvärmning, varmvatten, fastighets- och hushållsel ju större inverkan får t.ex. tillverkningsfasen.

Låt oss leka med tanken att ett s.k. noll-energi-hus byggs (tanken är inte orealistisk). Ett noll-energi-hus är ett hus som behöver noll kWh för att värmas upp. Byggnadsmaterialen till huset behöver energi för att tillverkas, transporteras etc. Troligtvis kommer tillverkningsenergin för ett sådant hus vara högre än för de tre studerade småhusen i denna rapport, eftersom mer material finns i noll-energi-huset för att t.ex. lagra energi och minska transmissionsförluster. I framtiden då hus med ännu lägre energibehov under brukartiden byggs, kommer tillverkningsfasens inverkan att bli större på det totala energibehovet.

Å andra sidan kan utvecklingen mot ett kretsloppssamhälle leda till att byggnader med längre livslängd än 50 år eftersträvas. I så fall kommer energibehovet under brukarstadiet bli mer dominant.

Då transportenergibehovet visas vara litet sett ur husets hela livscykel innebär detta t.ex. att en återvinningsstation inte behöver ligga nära byggplatsen med hänsyn till transportenergibehovets storlek. Transportenergibehovet till en återvinningsstation skulle kunna jämföras med transportenergibehovet under produktionsfasen (mellan tillverkare, leverantör och byggarbetsplats).

Transport av råvara och halvfabrikat mellan fabriker är inkluderat i tillverkningsenergin. Denna transportenergi utgör ca 5-10% av tillverkningsenergin för varje byggnadsmaterial (svar vid förfrågan hos Statens Byggeforskningsinstitut i Danmark som tagit fram data för tillverkningsenergi för olika byggnadsmaterial).

Det totala energibehovet väljs att presenteras i enheten kWh/(m²BRA·50år). En annan relevant enhet skulle kunna vara kWh/(person·50 år), då antal brukare (personer) i ett småhus kan variera. Det skulle kunna innebära att ett hus med fem brukare får lägre totalt energibehov per person räknat än samma hus med färre antal brukare. I denna rapport har hus 1, 5 och 19 samma antal brukare varför val av enhet, kWh/(m²BRA·50år) eller i kWh/(person·50år), inte har någon betydelse.

Beräkningsmodellen för det totala energibehovet kan mycket väl användas för småhus. Om tillverkningsenergi för byggmaterial i framtiden finns för svenska förhållanden kan de

antagna "danska" substitueras. Nivån på energin för uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel, som här är på Nivå 2, bör dock studeras närmare för att komma ner till Nivå 1. Dessutom skulle det vara intressant om det totala energibehovet kunde delas upp i elektricitet- respektive värmebehov.

5.7 Parameterstudie av hus 1

Med parameterstudie menas att intressanta faktorer (parametrar) varieras. De varierade faktorerna sätts in i aktuell simuleringsmodell. Ju mer resultatet på den aktuella simuleringsmodellen påverkas ju större betydelse har parametern. På så sett kan husets för- och nackdelar värderas.

Denna studie skall ge svar på följande parametrars betydelse på det totala energibehovet:

- Hur påverkas energibehovet av olika livslängder på huset?
- Hur påverkas energibehovet om brukaren hushållar med varmvattnet och hushållselen?
- Hur påverkas energibehovet om värmeisolerförmågan hos en konstruktionsdel ökas eller minskas?
- Vilket energibehov kan det studerade småhuset teoretiskt komma ner till om huset utformas och används energieffektivt?

I parameterstudien väljs hus nummer 1 på Bo92 ut som simuleringsobjekt.

5.7.1 Husets livslängd varierar

I denna studie varierar husets livslängd. Livslängden antas till 40 år, 50 år respektive 60 år. Stommens, parkettgolvets, vattenledningarnas, ventilationskanalernas och elledningarnas livslängd antas vara lika långa som husets livslängd. Livslängden för de övriga materialen antas dock vara detsamma som tidigare, se tabell 19. Ju längre livslängd ett hus har ju fler antal gånger kommer ett material, med kortare livslängd än huset, att bytas ut.

I tabell 26 presenteras resultatet på parameterstudien då husets livslängd varierar.

Hus 1	Livslängd 40 år		Livslängd 50 år		Livslängd 60 år	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 40\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 60\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	900	13	900	11	900	9
Transport	40	1	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	5700	81	7100	83	8500	85
Renovering: tillverkning	270	4	390	5	510	5
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	10	0	10	0
Transport	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh(m ² BRA·livslängd):	7000	100	8500	100	10100	100
Total energi kWh(m ² BRA·år):	174		170		167	

Tabell 26: Energibehovet för hus 1 då husets livslängd varierar: 40, 50 respektive 60 år.

Ju längre livslängd ett hus har ju lägre blir energibehovet per år räknat. Orsak är att tillverkningsenergin under produktion slås ut på fler år.

Energibehovet till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel blir också betydelsefullare ju längre livslängden är.

5.7.2 Brukarberoende parametrar varieras

Brukarberoende parametrar såsom varmvatten- och hushållsenergibehov varierar mycket från ett hushåll till ett annat, även om de tekniska förutsättningarna är lika t.ex. vattenarmaturer, tvättmaskin.

I avsnitt 4.8 beräknas varmvatten- och hushållsenergibehov på basis av följande ekvationer:

$$\begin{aligned} \text{varmvattenbehov (kWh/dygn):} & \quad 5,0 \cdot \text{antal lägenheter} + 0,05 \cdot \text{uppvärmd area} \\ \text{hushållsenergibehov (kWh/dygn):} & \quad 4,5 \cdot \text{antal lägenheter} + 0,045 \cdot \text{uppvärmd area} \end{aligned}$$

Ekvationerna baseras på en undersökning på 8000 hushåll i Stockholm år 1972-84 (Anderlind G et al, 1984). Undersökningen omfattar varmvatten- och hushållsenergibehovet. Varmvatten- och hushållselbehov för hus nummer 1 på Bo92, med en uppvärmningsarea på 130 m², blir med hjälp av ovanstående ekvationer enligt tabell 27.

Hus 1	$\frac{\text{kWh}}{\text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{(\text{m}^2\text{BRA} \cdot \text{år})}$
Varmvattenbehov	4200	32
Hushållsenergibehov	3800	29

Tabell 27: Varmvatten- och hushållsenergibehovet för hus 1.

I detta avsnitt varieras varmvatten- och hushållsenergibehovet. I en första ansats minskas varmvatten- och hushållsenergibehovet med 20%, därefter är de enligt ovanstående ekvationer (benämnt "konstanta") och i den sista ansatsen ökas de med 50%, se tabell 28.

Hus 1	Varmvatten- och hushållsenergibehovet minskas med 20%		Varmvatten- och hushållsenergibehovet hålls konstant		Varmvatten- och hushållsenergibehovet ökas med 50%	
	$\frac{\text{kWh}}{\text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA} \cdot \text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA} \cdot \text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{år}}$	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA} \cdot \text{år}}$
Varmvattenbehov	3400 ¹	26	4200	32	6200	48
Hushållsenergibehov	3000	23	3800	29	5700	44

¹ En minskning med 800 kWh/år (4200-3400=800 kWh/år) för varmvattenbehovet kan jämföras med att duschtiden för ett hushåll minskas med 5 minuter/dag.

Antaganden för denna beräkning är: värmekapacitet för vatten 4200 Ws/(kg·K), vattentemperatur 40°C, kallvattentemperatur 10°C, duschmunstyckets flöde på 12 liter/min.

Tabell 28: Varmvatten och hushållsenergibehovet för hus 1 om brukarna minskar sitt behov med 20%, håller de konstanta eller om de ökar sitt behov med 50%.

I tabell 29 presenteras resultatet på parameterstudien då energibehovet till varmvatten och hushållsel varierar.

Hus 1	Varmvatten- och hushållsenergibehovet minskas med 20%		Varmvatten- och hushållsenergibehovet hålls konstant		Varmvatten- och hushållsenergibehovet ökas med 50%	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	900	11	900	11	900	9
Transport	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	6400	83	7100	83	8700	86
Renovering: tillverkning	390	5	390	5	390	4
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	10	0	10	0
Transport	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh(m ² BRA·50år):	7900	100	8500	100	10100	100
Total energi kWh(m ² BRA·år):	157		170		203	

Tabell 29: Energiförbehovet för hus 1 då varmvatten- och hushållsenergiförbehovet varierar. I första ansatsen minskar de med 20%, därefter hålls de "konstanta" och i en tredje ansats ökar de med 50%.

Det totala energiförbehovet minskar med 13 kWh/(m²BRA·år) då varmvatten- och hushållsenergiförbehovet minskar med 20%. Energiförbehovet ökar med 33 kWh/(m²BRA·år) då varmvatten- och hushållsenergiförbehovet ökar med 50%.

5.7.3 Inomhustemperatur varierar

I denna studie varierar temperaturen inomhus. I en första ansats sätts inomhustemperaturen till 19°C, i den andra till 20°C och i den tredje 20,9°C. Det tredje fallet motsvarar en genomsnittlig inomhustemperatur i ett småhus i Sverige under åren 1990-1992 (Boman et al, 1993). Energibehovet under förvaltningen (uppvärmningsenergin) påverkas endast.

I tabell 30 visas det totala energibehovet då inomhustemperaturen varierar.

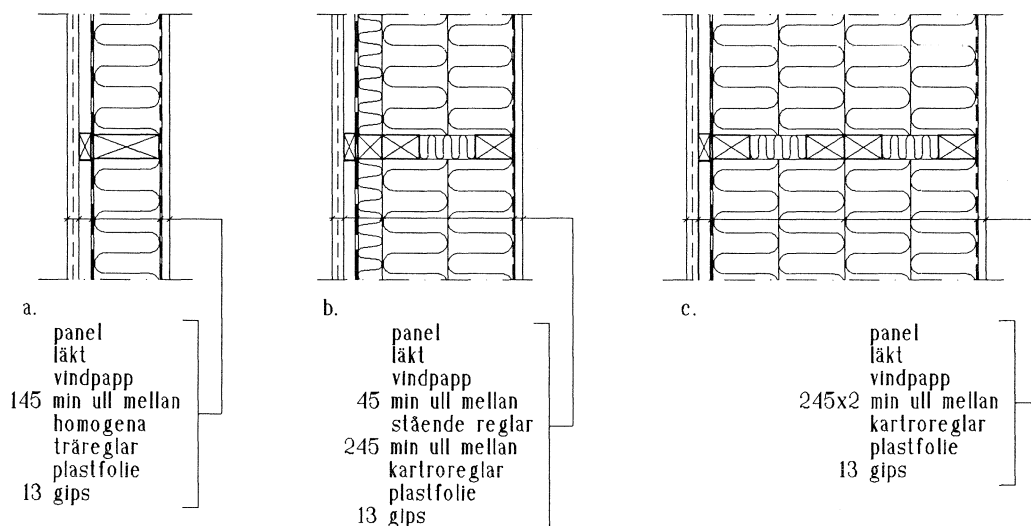
Hus 1	Innetemperatur 19°C		Innetemperatur 20°C		Innetemperatur 20,9°C	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	900	11	900	11	900	11
Transport	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	6800	83	7100	83	7300	83
Renovering: tillverkning	390	5	390	5	390	5
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	10	0	10	0
Transport	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8300	100	8500	100	8700	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	165		170		175	

Tabell 30: Energibehovet för hus 1 då inomhustemperatur varierar. I en första ansats antas inomhustemperaturen vara 19°C, i en andra 20°C och i en tredje 20,9°C.

Då inomhustemperaturen ökas med en grad från 19 till 20°C ökar det totala energibehovet med 5 kWh/(m²BRA·år), vilket motsvarar en ökning med 3% (= 5/165).

5.7.4 Ytterväggars värmeisoleringsjocklek varieras

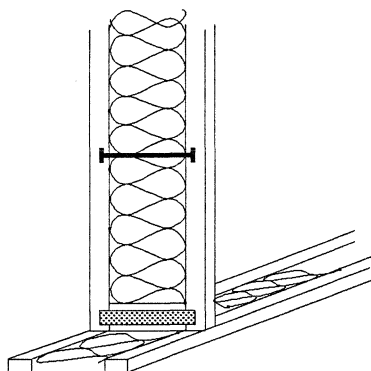
I denna studie varieras ytterväggarnas värmeisoleringsjocklek. I figur 52 visas hur de studerade ytterväggarna ser ut. I den vänstra ytterväggen i figuren är värmeisoleringsjockleken 145 mm, i den mittersta 290 mm (samma som i avsnitt 5.4) och i den högra 490 mm.



Figur 52: I denna parameterstudie varieras ytterväggarnas värmeisoleringsjocklek. Den vänstra ytterväggen i figuren har 145 mm mineralull, den mittersta 290 mm och den högra 490 mm.

Den vänstra ytterväggen i figur 52, med en värmeisoleringsjocklek på 145 mm mineralull, antas ha homogena träreglar som bärande konstruktion. Den mittersta ytterväggen, med en värmeisoleringsjocklek på 290 mm mineralull, antas ha Kartroreglar och homogena träreglar (45x45 mm) som bärande stomme. Den sista ytterväggen, med 490 mm mineralull, antas bestå av två Kartroreglar.

En Kartroregel består, i detta fall, av två 45x70 mm homogena träreglar som är sammanlänkade med tre spikplåtar, se figur 53. Fördelen med en Kartroregel är att den utgör en mindre köldbrygga i en yttervägg i jämförelse med en homogen träregel.



Figur 53: I figuren visas en Kartroregel. Den består här av två 45x70 mm homogena träreglar som är sammanlänkade med spikplåtar. Fördelen med en Kartroregel är att den utgör en mindre köldbrygga i en yttervägg i jämförelse med en homogen träregel.

Ytterväggarnas U-värde presenteras i tabell 31.

Yttervägg med:	U-värde
	W/(m ² ·K)
145 mm mineralull	0,340
290 mm mineralull	0,152
490 mm mineralull	0,090

Tabell 31: I tabellen presenteras ett beräknat U-värdet för ytterväggar med olika värmeisolerings tjocklek. Ytterväggarnas värmeisolerings tjocklek varieras för att studera hur det totala energibehovet påverkas.

Då ytterväggarnas värmeisolerings tjocklek varieras påverkas energibehovet under produktion (tillverknings- och transportenergin) och förvaltning (uppvärmnings-, tillverknings- och transportenergin). Ytterväggarnas tjocklek antas minska respektive öka utifrån så att bruksarean blir densamma. De materialtyper/materialvolymen som därför kommer att beröras är mineralull, träreglar, Kartro-beslag, vindpapp, spikar, spikläkt, träpanel, betong, makadam och cellplast. I tabell 32 presenteras resultatet då värmeisolerings tjockleken i ytterväggarna varieras.

Hus 1	145 mm mineralull		290 mm mineralull		490 mm mineralull	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	870	10	900	11	940	11
Transport	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	7600	84	7100	83	7000	82
Renovering: tillverkning	390	4	390	5	390	5
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	10	0	10	0
Transport	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	9000	100	8500	100	8400	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	180		170		168	

Tabell 32: Energibehovet för hus 1 då värmeisoleringstjockleken i ytterväggen varierar. I det första fallet är värmeisoleringstjockleken 145 mm, i det andra 290 mm och i det tredje 490 mm.

I tabell 32 framgår att tillverkningsenergin ökas ju tjockare värmeisolering ytterväggen har, eftersom mer material behöver tillverkas (inget konstigt med det).

I tabell 32 kan också utläsas att energibehovet under förvaltningen minskar ju tjockare värmeisolering ytterväggen har eftersom transmissionsflödet genom ytterväggen minskar. Denna minskning av energi är mindre än vad ökningen är vid tillverkningen av materialen. Det innebär att det totala energibehovet minskar från "vaggan till graven".

Minskningen i det totala energibehovet är betydande när värmeisoleringstjockleken ökas från 145 mm till 290 mm, ca 10 kWh/(m²BRA·år). Minskningen blir endast 2 kWh/(m²BRA·år) om värmeisoleringstjockleken ökas från 290 mm till 490 mm.

5.7.5 Antal glas i fönster varierar

I denna studie varierar antal glas i fönstren i hus 1. Detta påverkar tillverknings-, transport- och uppvärmningsenergin. Vad gäller det sistnämnda är det U-värdet och solinstrålningen som ändras.

I det första fallet antas fönstren ha 3 glas, där den innersta glasrutan förses med lågemissionsskikt mot glashetens centrum. U-värdet för fönstren är $1,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ och solfaktorn antas vara 0,92. Solfaktorn är den andel solstrålning som faller mot ett fönster och som fortsätter in i rummet.

I det andra fallet antas fönstren bestå av 2+2-glas med lågemissionsskikt (Hidemark B et al, 1993). Fönstrens U-värde antas vara $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ med en solfaktor på 0,84. I tabell 33 presenteras energibehovet under de olika tidsfaserna då antal glasrutor i fönstret varierar.

Hus 1 Tidsfaser	3-glas fönster		2+2-glas fönster	
	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{BRA} \cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \text{BRA} \cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:				
Tillverkning	900	11	910	12
Transport	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1
Förvaltning:				
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	7100	83	6400	82
Renovering: tillverkning	390	5	410	5
Renovering: transport	<10	0	<10	0
Destruktion:				
Processer vid nedrivning	10	0	10	0
Transport	25	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8500	100	7900	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	170		158	

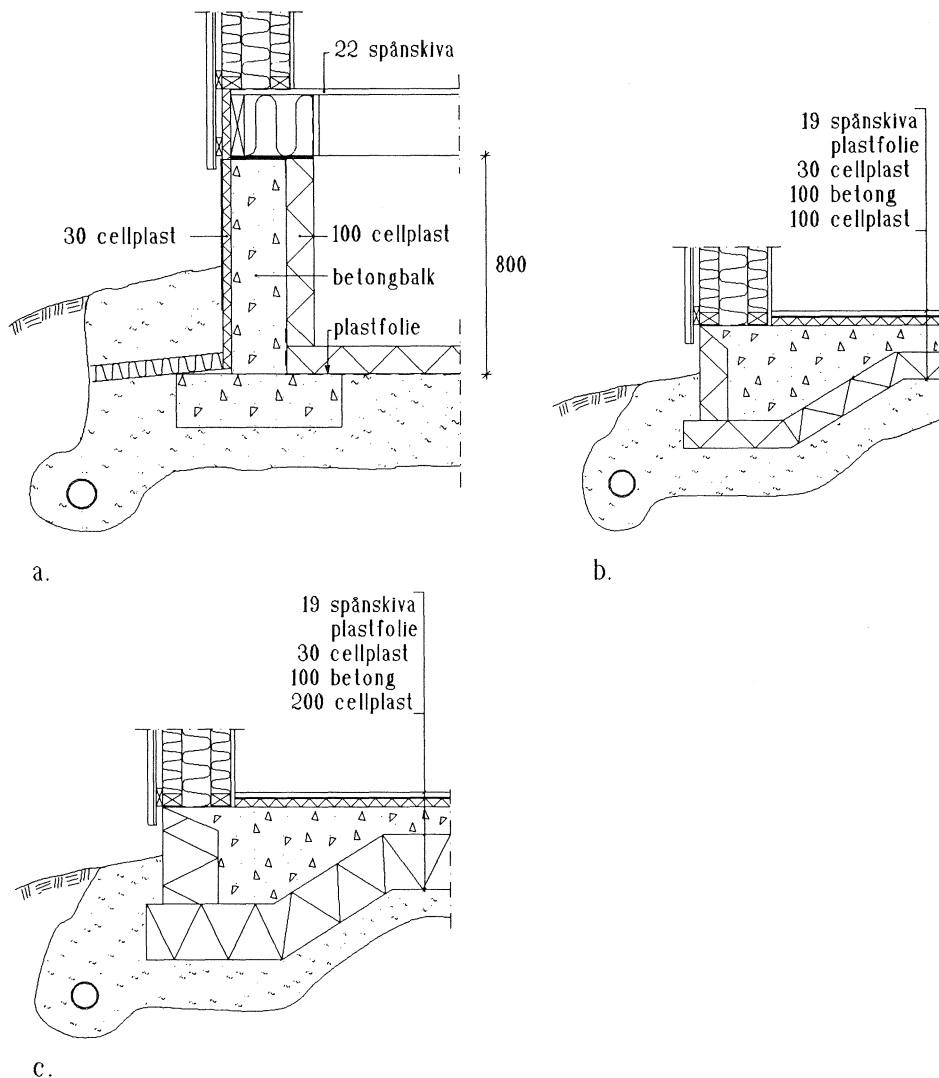
Tabell 33: *Energibehovet för hus 1 då antal glas i fönstret varierar. I det första fallet antas 3-glas och i det andra 2+2-glas.*

I tabell 33 framgår att tillverkningsenergin ökar ju fler glasrutor fönstret har, eftersom mer material behöver tillverkas (inget konstigt med det).

I tabell 33 utläses också att energibehovet under förvaltningen minskar ju fler glasrutor fönstret har eftersom värmeflödet genom fönstret minskar. Denna minskning av energi är större än vad ökningen är vid tillverkningen av materialen. Det innebär att det totala energibehovet minskar från "vaggan till graven". Minskningen i det totala energibehovet är 12 kWh/(m²BRA·år), vilket motsvarar en minskning med 7% (= 12/170).

5.7.6 Grundläggningsmetod varieras

I denna studie varieras grundläggningsmetoden i hus 1. I ett första fall antas huset ha en ineluftsventilerat kryprum. I ett andra och tredje fall antas huset ha en platta på mark med 100 mm respektive 200 mm cellplast under betongplatta, se figur 54.



Figur 54: I denna parameterstudie varieras grundläggningsmetoden i hus 1. I ett första fall antas huset ha ett ineluftsventilerat kryprum, i det andra en platta på mark med 100 mm cellplast under och i det tredje fallet också en platta på mark men med 200 mm cellplast under.

U-värdet för grundläggningsmetoderna i figur 54 presenteras i tabell 34.

Grundläggningsmetod:	U-värde
	$W/(m^2 \cdot K)$
innetluftsventilerat kryprum	0,258
platta på mark med 100 mm cellplast under	0,269
platta på mark med 200 mm cellplast under	0,159

Tabell 34: I tabellen presenteras ett beräknade U-värdet för olika grundläggningsmetoder.

Då grundläggningsmetoden varieras påverkas produktionen (tillverkningsenergi, transportenergi och processenergi under uppförandet av byggnaden), förvaltningen (uppvärmningsbehovet) och destruktionen (processenergi för nedrivning av byggnaden).

De material som påverkas vid olika utförande av grunder är träbjälkar, mineralull, plastfolie, betong, cellplast och makadam.

I tabell 35 presenteras energibehovet för hus 1 då dess grundläggningsmetod varieras.

Hus 1	Inneluftsventilerat kryprum		Platta på mark med 100 mm cellplast under		Platta på mark med 200 mm cellplast under	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:						
Tillverkning	900	11	990	11	1100	13
Transport	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	70	1	70	1
Förvaltning:						
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	7100	83	7200	84	6700	81
Renovering: tillverkning	390	5	400	4	400	5
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:						
Processer vid nedrivning	10	0	<10	0	<10	0
Transport	30	0	20	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8500	100	8700	100	8300	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	170		174		166	

Tabell 35: Energibehovet för hus 1 då grundläggningsmetoden varierar. I det första fallet består grundläggningen av ett inomhusventilerat kryprum, i det andra en platta på mark med 100 mm cellplast under och i det tredje också en platta på mark men med 200 mm cellplast under.

Tillverkningsenergin ökar då grundläggningsmetoden är en platta på mark. Visserligen minskar (försvinner) trä mängden i plattorna på mark i jämförelse med kryppgrunden, men energibehovet är större för att tillverka betong.

Processenergin för uppförandet av småhuset minskar något eftersom grundläggningsdjupet för platta på mark är mindre än för en kryppgrund. Därav följer mindre schakt- och transportarbete för platta på mark.

Under förvaltningen minskas uppvärmningsbehovet ju lägre U-värde grunden har. Plattan på mark med den tjockare värmeisoleringen är här gynnsammast.

Rivningsfasen påverkas inte nämnbart.

Sammanfattningsvis är grundläggningsmetoden platta på mark med 200 mm underliggande polystyren, $U=0,159 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, den som kräver minst energi från "vaggan till graven" i jämförelse med de två andra (innetluftventilerad grund $U=0,258 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ och platta på mark med 100 mm polystyren under $U=0,269 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$).

Då plattan på mark med 200 mm polystyren under har "god" värmeisolerförmåga kan tjälnedträngningen leda till ett problem för grundkonstruktionen. I denna rapport görs ingen studie på tjälens nedträngning.

5.7.7 Energieffektiv utformning och användning

I början av detta kapitel ställdes frågan: Vilket energibehov kan det studerade småhuset teoretiskt komma ner till om huset utformas och används energieffektivt? I detta avsnitt av parameterstudien skall frågan besvaras.

I en första del ändras parametrar som kan relateras till husets utformning. I en andra del ändras parametrar som är kopplade till hur huset används och brukas. För information av den ursprungliga utformningen av hus 1 hänvisas till avsnitt 5.3.1.

Parametrar relaterade till utformning av hus 1

För det första väljs konstruktioner (grundläggning, yttervägg, tak och fönster) med lägre värmetransmissionsförluster. Grundläggningen väljs till en platta på mark med 200 mm cellplast under, ytterväggarna utformas med en tjockare värmeisolering 490 mm mineralull, liksom takkonstruktionen 700 mm lösull. Som fönster väljs 2+2-glas.

För det andra förbättras byggnadens täthet i de omslutande ytterytorna. Luftläckningen (tätheten) sätts till $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid tryckskillnad 50 Pa över ytterkonstruktionerna. Husets ursprungliga utförande (det verkliga) är $3,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad.

Slutligen ökas värmeåtervinningen i ventilationsluften. I hus 1 finns mekanisk till- och frånluft med värmeväxling. Då frånluften värmväxlas kan energi utvinnas ur frånluften innan den passerar ut i det fria. Denna värmeåtervinning ökas från 50% till 80%.

I tabell 36 sammanfattas ovanstående parametrar som valts för att utforma huset energieffektivt. Parallellt i tabellen visas också ursprungliga utförandet i hus 1.

Hus 1	Valts till:	Ursprunglig utformning:
Grundläggning	Platta på mark med 200 mm cellplast under $U=0,157 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Inneluftsventilerat kryprum $U=0,258 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Yttervägg	490 mm mineralull $U=0,090 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	290 mm mineralull $U=0,152 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Tak	700 mm lösull $U=0,070 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	550 mm lösull $U=0,085 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Fönster	2+2-glas $U=0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Solfaktor 0,84	3-glas $U=1,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Solfaktor 0,92
Täthet i ytterkonstruktionen	$1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad	$3,8 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad
Energiåtervinning ur värmväxlad frånluft	80%	50%

Tabell 36: I denna studie väljs parametrar som medverkar till att hus 1 utformas energieffektivt. I tabellen presenteras dessa parametrar samt hur huset ursprungligen är utformat.

Parametrar relaterade till användning och boende av hus 1

I ytterligare en ansats väljs parametrar som medverkar till energieffektiv användning och boende av hus 1.

För det första antas att varmvatten- och hushållselbehovet minskas med 20%. För det andra väljs en inomhustemperaturen som är en grad lägre än den ursprungliga inomhustemperaturen, 20°C.

Resultat

I tabell 37 presenteras det totala energibehovet då parametrar relaterade till husets utformning och användning ändras.

I den andra kolumnen presenteras energibehovet för hus 1 enligt dess ursprungliga utformning, i den tredje energibehovet då konstruktioner, täthet och värmeåtervinning ändras, den fjärde energibehovet då konstruktioner, täthet och värmeåtervinning ändras samt varmvatten- och hushållselbehovet minskas mer 20%.

I den sista kolumnen presenteras energibehovet då konstruktioner, täthet och värmeåtervinning ändras, varmvatten- och hushållselbehovet minskas med 20% och inomhustemperaturen sänks med en grad till 19°C.

Hus 1	Energibehov för ursprunglig utformning		Energibehov då konstruktioner, tätet och värmeå- tervinning av från- luften ändras		Energibehov då konstruktioner, tät- het och värmeåter- vinning av frånluft- ten, varmvatten- och hushållselbeho- vet ändras		Energibehov då konstruktioner, tät- het och värmeåter- vinning av frånluft- ten, varmvatten och hushållselbehovet och inomhustempe- raturen ändras	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:								
Tillverkning	900	11	1190	16	1190	18	1190	19
Transport	40	0	40	1	40	1	40	1
Uppförande	80	1	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:								
Uppvärmning, varm- vatten, hushållsel	7110	83	5400	76	4800	74	4700	73
Renovering: tillverkning	390	5	400	6	400	6	400	6
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:								
Processer vid nedrivning	10	0	<10	0	<10	0	<10	0
Transport	30	0	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8500	100	7200	100	6500	100	6400	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	170		144		131		128	

Tabell 37: Energibehovet för hus 1 då parametrar ändras som medverkar till att huset utformas och används energieffektivt: energieffektiva konstruktioner väljs, tätet i byggnadsskalet förbättras, värmeåtervinning av frånluften ökas, varmvatten- och hushållsenergibehovet minskar och inomhustemperaturen sänks.

Det totala energibehovet minskar med 26 kWh/(m²BRA·år), ca 15% (26/170), om hus 1 utformas med energieffektiva konstruktioner, förbättrad tätet i byggnadsskalet och ökad värmeåtervinning av frånluften.

Om husets ägare dessutom hushållar med varmvatten, hushållselektricitet och sänker inomhustemperaturen med en grad kan det totala energibehovet minskar med 1/4-del ((170-128)/170=0,25 d.v.s. 25%). Observera att hus 1 i nuvarande utformning anses vara ett låg-energi-hus.

5.7.8 Mindre energieffektiv utformning och användning

I motsats till förra avsnittet handlar detta om att hus 1 utformas och används mindre energieffektivt.

I en första del ändras parametrar som kan relateras till husets utformning. I en andra del ändras parametrar som är kopplade till hur huset används och brukas. För information av husets ursprungliga utformning hänvisas till avsnitt 5.3.1.

Parametrar relaterade till utformning av hus 1

För det första väljs andra konstruktioner med högre transmissionsförluster i hus 1. Grundläggningen väljs till en platta på mark med 100 mm cellplast under och ytterväggarna utformas med en tunnare värmeisolering, 145 mm mineralull.

I tabell 38 sammanfattas ovanstående konstruktioner som valts för att utforma huset mindre energieffektivt. Parallellt i tabellen visas också ursprungliga utformningen av hus 1.

Hus 1	Valts till:	Ursprunglig utformning:
Grundläggning	Platta på mark med 100 mm cellplast under $U=0,271 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	Inneluftsventilerat kryprum $U=0,258 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Yttervägg	145 mm mineralull $U=0,340 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$	290 mm mineralull $U=0,152 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Tabell 38: I denna studie väljs parametrar som medverkar till att hus 1 utformas mindre energieffektivt. I tabellen presenteras dessa parametrar samt husets ursprungliga utformning.

I denna studie väljs parametrar som medverkar till att hus 1 utformas mindre energieffektivt. I tabellen presenteras dessa parametrar samt husets ursprungliga utformning.

Parametrar relaterade till användning och boende av hus 1

I ytterligare en ansats ökas energibehovet relaterat till användningen och boendet i hus 1.

För det första antas att varmvatten- och hushållsenergiebehovet ökas med 50%. För det andra höjs inomhustemperaturen från 20°C till 20,9°C (i genomsnitt har småhusen i Sverige en inomhustemperatur på 20,9°C (Boman et al, 1993)).

Resultat

I tabell 39 presenteras det totala energibehovet då parametrar relaterade till husets utformning och användning ändras.

I den första kolumnen presenteras husets olika tidsfaser. Därefter presenteras, i den andra kolumnen, energibehovet för hus 1 enligt dess ursprungliga utformning, i den tredje energibehovet då konstruktioner ändras, i den fjärde energibehovet då konstruktioner ändras samt då varmvatten och hushållselbehovet ökas med 50%. I den sista kolumnen presenteras energibehovet då konstruktioner ändras, varmvatten- och hushållselbehovet ökas med 50% och då inomhustemperaturen ökas från 20°C till 20,9°C.

Hus 1	Energibehov för ursprunglig utformning		Energibehov då konstruktioner ändras		Energibehov då konstruktioner, varmvatten och hushållselbehovet ändras		Energibehov då konstruktioner, varmvatten och hus- hållselbehovet och inomhustemperatur- en ändras	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:								
Tillverkning	900	11	960	10	960	9	960	9
Transport	40	0	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	70	1	70	1	70	1
Förvaltning:								
Uppvärmning, varmvatten, hushållsel	7100	83	7700	85	9300	86	9600	86
Renovering: tillverkning	390	5	390	4	390	4	390	4
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:								
Processer vid nedrivning	10	0	<10	0	<10	0	<10	0
Transport	30	0	20	0	20	0	20	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8500	100	9200	100	10800	100	11100	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	170		183		216		221	

Tabell 39: Enerigibehovet för hus 1 då parametrar som medverkar till att huset utformas och används mindre energieffektivt väljs: högre transmissionsförluster genom konstruktioner, ökning av varmvatten- och hushållselbehovet liksom inomhustemperaturen.

Resultatet i tabell 39 visar att det totala energibehovet ökar med 13 kWh/(m²BRA·år), ca 8% (13/170), om huset utformas med konstruktioner med högre transmissionsförluster: platta på mark, $U=0,271 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, istället för en inomhusventilerad krypgrund, $U=0,258 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, och en yttervägg med 145 mm värmeisolering, $U=0,340 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$, istället för 290 mm värmeisolering, $U=0,152 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$.

Det totala energibehovet ökas också kraftigt då de brukarberoende parametrarna ökar (inomhustemperaturen ökas med 0,9 grader till 20,9°C , varmvatten- och hushållselbehovet ökas med 50%). I det här fallet 51 kWh/(m²BRA·år), ca 30% (151/170)!

5.7.9 Hushålls- och fastighetselens verkningsgrad varierar

I denna studie görs en ansats till att beräkna elenergiebehovet under brukartiden från Nivå 4 till Nivå 1, se figur 31. Verkningsgraden och förlusterna för elektriciteten från Nivå 4 till Nivå 2 är 0,89 enligt uppgift från Mats Söderström, Linköpings tekniska högskola. Uppgiften är publicerad i en rapport avsedd endast för Örebro Energi.

I en första ansats i denna studie antas all elektricitet vara producerad i ett kärnkraftverk med en verkningsgrad på 0,33 (SCB, 1990) från Nivå 2 till 1. Verkningsgraden från Nivå 4 till Nivå 1 blir då 0,29 (0,89 multiplicerat med 0,33).

I en andra ansats antas elektriciteten vara producerad både i ett kärnkraftverk och i ett vattenkraftverk. I Sverige produceras nämligen en stor del av elektriciteten både i kärnkraft- och vattenkraftverk. Dess genomsnittliga verkningsgrad är 0,49 (SCB, 1990) från Nivå 2 till 1. Verkningsgraden från Nivå 4 till Nivå 1 blir då 0,44 (0,89 multiplicerat med 0,49).

I en sista ansats antas all elektricitet vara producerad i ett vattenkraftverk med en verkningsgrad på 0,85 (SCB, 1990) från Nivå 2 till 1. Verkningsgraden från Nivå 4 till Nivå 1 blir då 0,76 (0,89 multiplicerat med 0,85).

Elenergin under brukartiden påverkas endast, eftersom de andra tidsfasernas elenergiebehov, t.ex. tillverkningsfasen och processer under uppförandet av byggnaden, redan är på Nivå 1.

I tabell 40 presenteras energibehovet då elbehovet är räknat på Nivå 2 respektive 1.

Hus 1	verkningsgraden för elektricitet antas vara 0,89 (Nivå 2)		verkningsgraden för elektricitet antas vara 0,29 (Nivå 1)		verkningsgraden för elektricitet antas vara 0,44 (Nivå 1)		verkningsgraden för elektricitet antas vara 0,76 (Nivå 1)	
Tidsfaser	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%	$\frac{\text{kWh}}{\text{m}^2\text{BRA}\cdot 50\text{år}}$	%
Produktion:								
Tillverkning	900	11	900	8	900	9	900	10
Transport	40	0	40	0	40	0	40	0
Uppförande	80	1	80	1	80	1	80	1
Förvaltning:								
Uppvärmning, varm- vatten, hushållsel	7100	83	10400	88	8800	86	7400	84
Renovering: tillverkning	390	5	390	3	390	4	390	4
Renovering: transport	<10	0	<10	0	<10	0	<10	0
Destruktion:								
Processer vid nedrivning	10	0	10	0	10	0	10	0
Transport	30	0	30	0	30	0	30	0
Total energi kWh/(m ² BRA·50år):	8500	100	11800	100	10200	100	8800	100
Total energi kWh/(m ² BRA·år):	170		237		204		176	

Tabell 40: Energibehovet för hus 1 då hushållselen under förvaltningen omräknas från Nivå 4 till 2 respektive från Nivå 4 till 1.

Skillnaden i det totala energibehovet mellan de fyra fallen är markant. Energibehovet under förvaltningen får större andel av det totala energibehovet då hushållselektriciteten får lägre verkningsgrad mellan Nivå 2 och 1.

Om elenergin, som levereras till Örebro Energi, är tillverkad som elenergin är i genomsnitt i Sverige (52% kärnkraft och 44% vattenkraft) innebär det att ansatsen med verkningsgraden 0,44 (Örebro Energis verkningsgrad 0,89 multiplicerat med 0,49) är tänkbar. Med en verkningsgrad från Nivå 4 till Nivå 1 på 0,44 utgör brukarfasen (energi till uppvärmning, varmvatten, hushålls- och fastighetsel) 86% av det totala energibehovet.

5.7.10 Sammanfattning

Parameterstudien för hus 1 skulle ge svar på följande frågor:

- Hur påverkas energibehovet av olika livslängder på huset?
Svar: Ju kortare livslängd ett hus har ju större blir det totala energibehovet per år räknat. Orsak är att stommen antas ha lika lång livslängd som småhuset, vilket medför att tillverkningsenergin för stommen blir lägre *per år räknat* då livslängden ökar.
- Hur påverkas energibehovet om brukaren hushållar med varmvatten och hushållsel?
Svar: Varmvatten- och hushållselbehovet har mycket stor inverkan på det totala energibehovet. Om varmvatten- och hushållsenergiebehovet minskas med 20% minskas det totala energibehovet med 7%.
- Hur påverkas energibehovet om värmeisoleringsförmåga hos en konstruktionsdel ökas eller minskas?
Svar: Beräkningarna visar att det totala energibehovet minskar ju bättre värmeisoleringsförmåga en konstruktion har, t.ex. ger ett 4-glas fönster totalt sett lägre energibehov (8%) från "vaggan till graven" än ett 3-glas fönster liksom 200 mm tjock värmeisolering under en platta på mark istället för 100 mm.
- Vilket energibehov kan det studerade småhuset teoretiskt komma ner till om huset utformas och används energieffektivt?
Svar: Det totala energibehovet från "vaggan till graven" kan minskas med ca 1/4-del. Detta förutsätter att husets konstruktioner har: låga transmissionsförluster (490 mm värmeisoleringstjocklek i ytterväggar; 200 mm cellplast under en platta på mark; 700 mm lösull i takkonstruktionen; 4-glas fönster), täthet i ytterskalet på $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad, värmeåtervinning ur frånluften på 80% och där de boende hushållar med varmvattnet och hushållselen samt sänker inomhustemperaturen med en grad till 19°C.

I tabell 41 följer en sammanställning över de parametrar som varierar i detta kapitlet och vilka konsekvenser de ger på det totala energibehovet från "vaggan till graven". Parametrarna är rangordnade efter parametrarnas inverkan på det totala energibehovet: lägst energibehov kommer först och högst energibehov sist. Observera att enheten är i $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{BRA} \cdot \text{år})$.

Parametrar som varierar i hus 1:	Energibehov $\frac{kWh}{(m^2BRA \cdot \text{år})}$	Ökning i % i jämförelse med ur- sprunglig utformning
Energieffektiv utformning * ¹ och boende * ² väljs	128	-25 %
Energieffektiv utformning * ¹ väljs	144	-15 %
4-glas fönster väljs, $U=0,85 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	158	-8 %
Varmvatten och hushållselbehovet minskas med 20%	157	-7 %
Temperaturen inomhus sänks från 20°C till 19°C	165	-3 %
Platta på mark med 200 mm cellplast under väljs, $U=0,159 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	166	-2 %
Yttervägg med 490 mm värmeisolering väljs, $U=0,090 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	168	-2 %
Livslängd 60 år väljs	167	-2 %
Ursprungliga utformning av hus 1:		
Inneluftsventilerad grund, $U=0,258 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$		
Yttervägg med 290 mm värmeisolering, $U=0,152 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$		
3-glas fönster, $U=1,63 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	170	$\pm 0 \%$
Inomhustemperatur 20°C		
Livslängd 50 år		
Platta på mark med 100 mm cellplast under väljs, $U=0,269 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	174	+1 %
Livslängd 40 år	174	+3 %
Inomhustemperatur 20,9°C väljs	175	+3 %
Ytterväggar med 145 mm värmeisolering väljs, $U=0,340 \text{ W}/(m^2 \cdot K)$	180	+7 %
Mindre energieffektiv utformning * ³ väljs	183	+8 %
Varmvatten- och hushållselbehovet ökas med 50%	203	+20 %
Mindre energieffektiv utformning * ³ och boende * ⁴ väljs	221	+31 %

Tabell 41: Sammanställning av parametrar som varierar i detta kapitel och vilka konsekvenser det ger på det totala energibehovet från "vaggan till graven". (Observera enheten $kWh/(m^2BRA \cdot \text{år})$). Kolumnen längst till höger anger parameterns inverkan på det totala energibehov, i %, i jämförelse med husets ursprungliga utformning.

**¹) Den energieffektiva utformningen syftar på att husets konstruktioner utformas med: låga transmissionsförluster (490 mm värmeisoleringstjocklek i ytterväggar; 200 mm cellplast under en platta på mark; 700 mm lösull i takkonstruktionen; 4-glas fönster), en täthet i ytterskalet på $1,0 \text{ m}^3/(m^2 \cdot h)$ vid 50 Pa tryckskillnad och med en värmeåtervinning ur frånluften på 80 %.*

**²) Det energieffektiva boendet syftar på att de boende minskar varmvatten och hushållsenergibehovet med 20% samt sänker inomhustemperaturen med en grad till 19°C.*

**³) Den mindre energieffektiva utformningen syftar på att husets konstruktioner utformas med högre transmissionsförluster (100 mm cellplast under platta på mark och 145 mm värmeisolering i ytterväggar).*

**⁴) Det mindre energieffektiva boende syftar på att de boende ökar varmvatten och hushållsenergibehovet med 50% samt ökar inomhustemperaturen från 20 till 20,9°C.*

5.7.11 Slutsatser

Resultatet från parameterstudien, tabell 41, visar att totala energibehovet för hus 1 från "vaggan till graven" kan minskas med ca 1/4-del! Detta förutsätter att husets konstruktioner har låga transmissionsförluster (490 mm värmeisoleringsjocklek i ytterväggar; 200 mm cellplast under en platta på mark; 700 mm lösull i takkonstruktionen; 4-glas fönster), har en täthet i ytterskalet på $1,0 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ vid 50 Pa tryckskillnad, har en värmeåtervinning ur frånluften på 80% och om de boende hushållar med varmvattnet och hushållselen samt sänker inomhustemperaturen med en grad till 19°C . Observera att hus 1 från början anses vara ett låg-energi-hus (uppvärmnings-, varmvatten-, hushålls- och fastighetselbehovet är $138 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{BRA} \cdot \text{år})$).

Ur tabell 41 kan också utläsas att följande parametrar har stor inverkan på husets totala energibehov:

- val av fönster
- de boendes hushållning med varmvatten och hushållsel
- och inomhustemperaturen.

Av tabell 41 framgår dessutom att brukaren bör välja 4-glas fönster (istället för 3-glas fönster) framför alternativet med ökad värmeisoleringsjocklek (från 290 till 490 mm) i ytterväggarna. Vidare framgår att en sänkning av inomhustemperaturen med 1°C ger nästan samma energibesparingseffekt som t.ex. en ökning i ytterväggars värmeisoleringsjocklek från 290 till 490 mm.

Slutligen bör det även påpekas att brukarnas vanor och beteende (varmvatten, hushållsel och inomhustemperaturen) har också stor påverkan på den totala energianvändningen. De boende bör därför få information om hur deras vanor påverkar energibehovet och om vikten av energihushållning.

6 Avslutande diskussion

Denna rapport handlar om ett antal småhus som byggdes under 1991 och 1992. Husen visades upp på den Svenska Bostadsmässan Bo92 i Örebro. Temat för småhusen var att de skulle vara vackra, energisnåla och sunda. Företaget Boro AB planerade och konstruerade husen. Till en början byggde de också husen, men efter Boros konkurs i november 1991 fullföljdes uppförandet av Facio Bygg AB. Byte av entreprenör fick betydande konsekvenser för projektet varom mer i det följande.

Syftet med detta arbete är att ta fram kunskaper om den totala energiåtgången för småhusen under deras användningstid (livscykel). Nämnas bör att hänsyn också tas till det praktiska utförandet av småhusen. De olika tidsfaserna under livscykeln är: tillverkning, transport, uppförande, brukande, renovering och rivning. I denna studie jämförs energianvändningen för de olika tidsfaserna sinsemellan.

Syftet med arbetet är även att studera inverkan av olika tekniska lösningar i husen för att analysera vilken påverkan dessa har på småhusens samlade energianvändning under livscykeln.

Nedan diskuteras några viktiga resultat och slutsatser som läggs fram i rapporten. Resultaten och slutsatserna baseras enbart på småhusen byggda i Örebro d.v.s. på svenska förhållanden och för prefabricerade småhus med träregelstomme.

Arbetsutförandets inverkan på energibehovet

I Bo92 projektet påvisades hur viktigt det är att entreprenörer och dess hantverkare får utförlig information och kunskap för att husens kvalitet skall bli den rätta. En entreprenör som får dålig information från projektörer eller som ignorerar projekteringshandlingar tillverkar inte alltid husen så som det var tänkt. I början av Bo92-projektet fanns en dialog mellan Boros Vetsenskapliga råd, projektörer, entreprenörer och hantverkare för att klarlägga och förmedla olika kunskaper och idéer om husen. Före färdigställande av småhusen gick Boro i konkurs och entreprenadarbetet övertogs av ett annat företag.

Med konkursen gick information och kunskap förlorad då nya entreprenörer fick färdigställa småhusen. Konsekvenserna blev bl.a. att några material och vissa utformningar av konstruktioner avviker från ursprungliga intentioner. Dessutom är inte själva arbetsutförandet på flera punkter genomfört såsom ursprungligen avsågs. Förändringarna är dåligt dokumenterade av entreprenören. Det är därför svårt att i efterhand bedöma konsekvenserna av gjorda avvikelser.

En prognostiserad ökning av uppvärmningsbehovet p.g.a. avvikande materialval, konstruktionsutformningar och arbetsutförande är i genomsnitt 10% eller 7 kWh/(m²BRA·år) för hus 1 t.o.m. hus 24. De "inbyggda felen" kommer att följa husen så länge de finns d.v.s. under många år framåt. Felen kan åtgärdas, men är i efterhand svårare att rätta till. Därför är det bättre att göra "rätt" från början.

Husens "verkliga" energibehov har sammanställts av Johan Hedbrant från Linköpings universitet (Hedbrant J, 1995). Det uppmätta energibehovet under andra uppvärmningssäsongen är i genomsnitt 147 kWh/m²BRA för hus 1 t.o.m. hus 24. Detta resultat kan jämföras med det beräknat energibehovet, med hjälp av projekteringshandlingar, på 129 kWh/(m²BRA·år) för hus 1 t.o.m. hus 24. Det beräknade energibehovet med viss kunskap om hur husen blivit byggda (materialval, konstruktionsutformningar och arbetsutförande) är 135 kWh/(m²BRA·år) för hus 1 t.o.m. hus 24. Resultaten visar att det uppmätta energibehovet i genomsnitt är större än det teoretiska beräknade. Anledningen till skillnad mellan beräknat

och uppmätt kan bl.a. vara annorlunda inomhustemperatur än antaget i beräkningar, varmvattenanvändning, hushålls- och fastighetselanvändning.

Det är viktigt att olika byggaktörer samarbetar för att husens kvalitet ska bli den rätta. Ett kunskaps- och informationsutbyte mellan arkitekter, projektörer, entreprenörer och förvaltare är ett måste för att skapa sunda och resurshushållande byggnader.

Byggmaterials energibehov för tillverkning

I olika debatter i tidningar och på seminarier framförs synpunkter såsom att producera byggnader med lågt tillverkningsenergiebehov, eftersom detta energibehov är av betydelse för att skapa energisnåla hus.

I denna rapport visas att de tre studerade småhusens teoretiska energibehov för tillverkning av byggnadsmaterial (både för produktion och renovering) motsvarar ca 15% av den totala energianvändningen. Den mest dominerade delen, 85% av den totala energianvändningen, används under brukarfasen.

Ett ökat energibehov för tillverkningen p.g.a. att husen ges en energieffektivare utformning för brukarskedet är från energisynpunkt välmotiverat. För att exemplifiera resonemålet ges här ett exempel från kapitel 5. Glasantalet i fönstren varieras i ett av småhusen på Bo92. I det första fallet antas huset ha 3-glas fönster med ett U-värde på $1,63 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. I det andra fallet antas det ha 4-glas fönster, med ett U-värde på $0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Resultatet visar att energibehovet för tillverkningen ökar ju fler glasrutor fönstren har. Å andra sidan minskar energibehovet under brukarfasen. Denna minskning är avsevärt större än vad ökningen är för tillverkningen av materialen. Totalt sett under livscykeln är energivinsten $12 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{BRA} \cdot \text{år})$. Därför bör ett ökat energibehov för tillverkningen som innebär en energieffektivare utformning för brukarskedet vara mycket väl motiverat.

Ett annat exempel tas från kapitel 5. Här varieras tjockleken på värmeisoleringen i ytterväggarna i ett av småhusen på Bo92. I ett första fall antas ytterväggen ha en värmeisoleringstjocklek på 145 mm, i ett andra 290 mm och i ett tredje 490 mm. På samma sätt ökar tillverkningsenergin ju tjockare värmeisolering ytterväggarna har. Å andra sidan minskar energibehovet under brukarfasen mer ju tjockare värmeisolering ytterväggarna har. Totalt sett är energivinsten $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{BRA} \cdot \text{år})$ om 290 mm tjock värmeisolering används i ytterväggen istället för 145 mm. Energivinsten är $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{BRA} \cdot \text{år})$ om 490 mm tjock värmeisolering används i ytterväggen istället för 290 mm.

Energiebehov för transporter

I detta arbete studeras energibehovet för transporter av byggnadsmaterial, d.v.s. transporter från tillverkare till byggarbetsplats. Resultatet visar att energibehovet för transporter utgör mindre än 1% av det totala energibehovet, varför detta energibehov är litet sett på husets hela livscykel.

I energibehovet för transporter inkluderas även de transporter som går via "prefab-fabriker" d.v.s. från byggmaterialtillverkare till fabriker som prefabricerar byggelement för vidare transport till byggarbetsplats. Inte heller detta transportbehov medför något nämnvärt energibehov i jämförelse med energianvändningen under brukartiden.

Fördelarna med prefabricering i jämförelse med platsbygge är övervägande, t.ex. att byggelementen skyddas från väder och vind, att måttnoggrannheten är större, att materialspill är mindre eftersom prefab-fabriker hushållar med material för att spara pengar, att hantverkarna för de olika arbetsmomenten är väl instruerade vilket medför bättre utförande och kvalitet på byggelementen etc.

Småhusens energibehov under livscykeln

I denna rapport visas att de studerade småhusens teoretiska energibehov för tillverkning av byggnadsmaterial (både för produktion och renovering) motsvarar 15% av den totala energianvändningen. Transportenergin och processenergin under uppförandet och rivningen av småhusen utgör mindre än 1% av det totala, varför dessa tidsfaser energibehov är litet sett på husets hela livscykel.

Huvuddelen av energianvändningen, ca 85%, sker under brukartiden! Det är därför mycket viktigt att producera hus med lågt energibehov under dess brukarfas. Detta kan uppnås genom att planera, konstruera och bygga hus med låga transmissionsförluster, med få köldbryggor, som utnyttjar solinstrålning, som är lufttäta, som har fungerande ventilation med värmeåtervinning, som har hög verkningsgrad på värmeanläggningen och som har energieffektiva hushållsmaskiner.

I sammanhanget skall inte brukaren av småhuset glömmas bort. Brukarens påverkan på energianvändningen under brukarfasen är relativt stort. Brukaren bör därför ges information om hur han eller hon skall underhålla huset och bruka det för att hushålla med energi.

Dokumentera byggfasen

Slutligen bör påpekas hur viktig en dokumentering av program-, projektering och byggskedet är. Detta moment ger en återföring av kunskap och ett kvitto på utfört arbete, en s.k. kvalitetskontroll. En ytterligare fördel, som inte är att förringa, är att kunskap om byggnaden förs vidare efter avslutad byggverksamhet!

7 Referenser

- Adamson B och Källblad K, 1984: *BKL-metoden: Byggnaders energibalans - en handberäkningsmetod*. R19:1984. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Adalberth K, 1993: *En byggteknisk dokumentation och utvärdering av 26 småhus*. Rapport TVBH-3019. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Adalberth K, 1994a: *Energianvändning i småhus, Bo92 - Del 1: Beräkningar*. Rapport TVBH-3023. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Adalberth K, 1994b: *Energi för att BYGGA BRUKA RIVA småhus*. Rapport TVBH-3024. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Anderlind G, Bankvall C och Munther K, 1984: *Energibehov i nya byggnader*. R140:1984. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Andersen S, Dinesen J, Hjort Knudsen H och Willendrup A, 1993: *Livscyklus-baseret bygningsprojektering*. SBI-rapport 224. Statens byggeforskningsinstitut. Hørsholm. Danmark.
- Asplund E, Danielson U och Moström L, 1994: *Byggandet i kretsloppet*. ISBN 91-7988-085-1. Byggförlaget. Stockholm.
- Berge B, 1992: *Byggnings materialenes økologi*. ISBN 82-00-406091. Universitetsforlaget AS. Oslo. Norge.
- Blomsterberg Å och Eek H, 1989: *Tillämpad passiv solvärme - Resurssnål bebyggelse i Karlstad*. R24:1989. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Blomsterberg Å och Stadler C-G, 1985: *Välisolerade småhus med luftburen värme - Utvärdering av två småhus i Skultorp*. SP rapport 1985:42. Statens Provningsanstalt. Borås.
- Boman C A, Jonsson B-M och Skogberg S, 1993: *Mätning av innetemperatur*. ELIB-rapport nr 4. TN:39. Statens institut för byggnadsforskning. Svensk Byggtjänst. Solna.
- Boverket, 1988: *Värmeisolering*. ISBN 91-38-12196-4. Allmänna Förlaget. Stockholm.
- Boverket, 1991: *Nybyggnadsreglerna*. Allmänna Förlaget. Stockholm.
- Bülow-Hübe H, 1993: *The Solar Village in Dalby - Evaluation of an Energy-Efficient and Healthy Single Family Houses Based on Dynamic Insulation Technique*. 3rd Symposium on Building Physics in the Nordic countries, vol. 2 pp 427-431. Lyngby. Danmark.
- Carlsson P-O och Hansson T, 1991: *Lättbygg - Långtidsuppföljning 1987-1989 av energibehov, fuktförhållanden och boendesynpunkter*. R42:1991. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.

- Carlsson T och Tornevall M, 1993: *Kontroll av bostäder i Bo92, Örebro*. SP rapport 91E70477B. Sveriges Provning- och Forskningsinstitut. Borås.
- Cole R, 1994: *Assessing the environmental performance of office buildings*. BEPAC - Building Environmental Performance Assessment Criteria. University of Columbia. Vancouver, Kanada. Published on "Buildings and the environment". Conference in May '94.
- Demex, 1990: *Demonstrationsprojekt "Det Genanvente Hus": Fase 1*. Demex Rådgivende Ingeniörer A/S. Köpenhamn. Danmark.
- Demex, 1991: *Demonstrationsprojekt "Det Genanvente Hus": Fase 2*. Demex Rådgivende Ingeniörer A/S. Köpenhamn. Danmark.
- Elmroth A, Abel E, Adamson B, Elmberg A, Johansson T B, Karlsson B och Ranäng L, 1987a: *Energisvar. Frågor och svar om energihushållning i byggnader*. G17:1987. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Elmroth A och Granberg G, 1987b: *SPARSAM - Fem energisnåla småhus med glasveranda och värmepump*. R47:1987. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm.
- Erlandsson M och Jönsson Å, 1993: *Jämförande livscykelanalys av betongpannor, tegelpannor och takplåt*. Institutionen för Byggnadsmaterial och Avdelningen för Teknisk Miljöplanering. KTH och CTH. Stockholm och Göteborg.
- Fossdahl S, 1992: *Energi og miljøegenskap for bygg - vugge til grav analyse*. Energi- og miljøvennlige bygninger. Nordisk seminar om bygningers totalenergiforbruk og miljøbelastninger i Trondheim. Rapport nr STF62 A93005. SINTEF. Trondheim. Norge.
- Hagentoft C-E, 1986: *An analytical model for crawl-space temperatures and heat losses. PC-program CRAWL*. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Hagentoft C-E, 1988a: *Design rules for the slab on the ground and the cellar. PC-program SLAB*. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Hagentoft C-E, 1988b: *Heat loss to the ground from a building: Slab on the ground and cellar. TVBH-1004. pp 80-81*. Avdelningen för Byggnadsfysik. LTH. Lund.
- Hagentoft C-E, 1991: *Heat Conduction Program. PC-program HConP*. Hagentoft Konsultfirma. Lund.
- Hedbrant J, 1995: *Energianvändning Villastaden, Bo92*. Avdelningen för Energisystem. Linköpings universitet. Linköping. Under publicering.
- Hidemark B, Samuelson I och Sjöholm B, 1993: *Bo92 fönstret 2+2. - Beskrivning och mätresultat. SP AR 1993:64*. Energiteknik/Byggnadsfysik. Sveriges Provning- och Forskningsinstitut. Borås.
- IVA, 1974: *Rivning av byggnader - återvinning, återbruk, avfallshantering*. Meddelande 186. Ingenjörsvetenskapsakademin. Stockholm.

- Larsson B, 1983: *Materialförbrukning på byggarbetsplatsen*. Institutionen för byggnadsekonomi och byggnadsorganisation. Chalmers tekniska högskola. Göteborg.
- Lindroth P, 1991: *Frånluftsventilerade kryprumsgrunder*. PM 910124. Boverket. Karlskrona.
- Munther K, 1992: *ENORM version 800*. Energiforskning AB. Stockholm.
- Nevander L E och Elmarsson B, 1981: *Fukthandboken*. ISBN 91-7332-158-3. Svensk Byggtjänst. Stockholm.
- Nielsen A, 1993: *Computer Model (SIN-BIP) for Energy Consumption, Cost, Energy Content and Environmental Loads from buildings*. 3rd Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, vol. 1 pp 293-300. Lyngby. Danmark.
- Nielsen P, 1995: *Energi- og miljøanalyser af bygninger*. SBI-rapport 108. Statens byggeforskningsinstitut. Hørsholm. Danmark.
- Nordiska ministerrådet, 1991: *Energi och Miljö i Norden: användning av skatter och avgifter som miljöpolitiska styrmedel inom energisektorn*. Nord 1991:23. ISBN 91-7996-349-8. Nordiska ministerrådet. Köpenhamn. Danmark.
- NUTEK, 1992: : *Energiläget 1992*. ISSN 0282-2539. Närings- och teknikutvecklingsverket. Stockholm.
- NUTEK, 1994: : *Energiläget 1994*. ISSN 0282-2539. Närings- och teknikutvecklingsverket. Stockholm.
- Prior J, Raw G J och Charlesworth, 1991: *BREEAM/New Homes version 3/91*. Building Research Establishment Environmental Assessment Method. The Building Research Establishment. Garston. Watford. England.
- Prior J och Bartlett P, 1995: *Environmental Standard - Homes for a greener world*. Building Research Establishment. Garston. Watford. England.
- SABO, 1992: *Underhållsnorm. Planering- och Budgeteringshjälpmedel*. Sveriges Allmännyttiga Bostadsföretag. Stockholm.
- Samuelson I, 1992: *Fuktsäkrare byggnadsdelar*. SP AR 1992:17. Statens Provningsanstalt. Borås.
- SBUF, 1990: *Bättre materialhantering på bygget*. Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond informerar. Nr 90:20. Stockholm.
- SCB, 1990: *Elförsörjning och fjärrvärmeförsörjning*. Statistiska meddelanden E20. Statistiska Centralbyrån. Örebro.
- SCB, 1993: *Energistatistik för småhus 1991*. Statistiska meddelanden E16 SM 9302. Statistiska Centralbyrån. Örebro.

- Steen B och Ryding S-O, 1992: *The EPS enviro-accounting method. An application of environmental accounting principles for the evaluation and valuation of environmental impact in product design*. IVL rapport B 1080. Göteborg.
- Thormark C, 1995: *Återbygg - Möjligheter och problem med återvinning av byggnadsmaterial*. Rapport TVBH-3028. Institutionen för Byggnadskonstruktionslära. LTH. Lund.
- Tillman A-M, Baumann H, Eriksson H och Rydberg T, 1991: *Packaging and the Environment - Life-cycle analyses of selected packaging materials - Quantification of environment loadings*. SOU 1991:77. Chalmers industriteknik. Chalmers Teknikpark. Göteborg.
- Transportrådet, 1985: *Lastbilars Energieffektivitet vid olika transportuppgifter*. Rapport nr 1985:13. Transportrådet. Solna.

Bilaga A: Sammanställning av Englands miljöbedömningsmodell

THE ENVIRONMENTAL STANDARD AWARD

Table 2 The *Environmental Standard* award: summary of minimum credits required and their distribution

Summary of minimum credits required

Credits	Global	Local	Indoor
Mandatory	5	0	1
Additional optional	3	2	1
Total required	8	2	2
Total available	13	5	4

Mandatory

Global issues and use of resources

- CO₂ emission rate equal to or less than a maximum allowable value which depends on the floor area of the dwelling.

Floor area (m ²)	CO ₂ emission maximum (kg/m ² /year)
less than 50	31
50–100	30
more than 100	29

- All insulants with ozone depletion potential of 0.10 or less
- All solid timber from all managed, regulated sources, or suitable re-used timber
- All timber panel products from well managed sources or suitable re-used timber
- Storage containers for recyclable household waste

Indoor issues

- Formaldehyde emissions minimised; timber only treated when necessary and always treated industrially prior to use; no asbestos and no added lead in paint

Optional

Global issues and use of resources

- CO₂ emission rate equal to or less than a maximum allowable value which depends on the floor area of the dwelling.

Floor area (m ²)	CO ₂ emission maximum (kg/m ² /year)
less than 50	21
50–100	19
more than 100	17

- All insulants with ozone depletion potential of zero
- Low-energy lighting
- Provision of gas cooking point
- At least 50% recycled/re-used material in roof covering
- At least 50% recycled/re-used material in walls or floor
- Demolition materials for fill and hard core
- Timber frame construction

Local issues

- Ecological damage to site minimised
- Re-use of existing site
- Ecological value of site enhanced
- WCs with purpose designed maximum 6-litre flush volume
- Rain-water butt

Indoor issues

- Level of airborne loose fibrous insulation material minimised
- Provision of house log book
- BS 8206: Part 2 Daylight criteria met in kitchen and habitable rooms

THE HOMES FOR A GREENER WORLD COMPETITION

Table 6 Homes for a Greener World competition: summary of minimum credits required and their distribution

Summary of minimum credits required

Credits	Global	Local	Indoor
Mandatory	8	1	2
Additional optional	3	3	1
Total required	11	4	3
Total available	13	5	4

Mandatory

Global issues and use of resources

- 2 credits for CO₂ emissions such that CO₂ emission rate is equal to or less than a maximum allowable value which depends on the floor area of the dwelling.

Floor area (m ²)	CO ₂ emission maximum (kg/m ² /year)
---------------------------------	---

less than 50	21
50–100	19
more than 100	17

- All insulants with ozone depletion potential of zero (2 credits)
- All solid timber from all managed regulated sources or suitable re-used timber
- All timber-panel products from well managed, regulated sources or suitable re-used timber
- Storage containers for recyclable household waste
- Low energy lighting

Local issues

- Ecological damage to the site minimised

Indoor issues

- Formaldehyde emissions minimised; timber only treated when necessary and always treated industrially before use; no asbestos and no added lead in paint
- BS 8206: Part 2 daylight criteria met in kitchen and habitable rooms

Optional

Global issues and use of resources

- Provision of gas cooking point
- At least 50% recycled/re-used material in roof covering
- At least 50% recycled/re-used material in walls or floor
- Demolition materials for fill and hardcore
- Timber frame construction

Local issues

- Re-use of existing site
- Ecological value of site enhanced
- WCs with purpose-designed maximum 6-litre flush volume
- Rain-water butt

Indoor issues

- Level of airborne loose fibrous insulation material minimised
- Provision of house log book

Bilaga B: Transmission- och ventilationsförluster för hus 30

OBS! Beräkningen av motstånd för en byggnads klimathölje är förenklad

I avsnitt 4.5 beskrivs en modell för beräkning av värmetransport genom en icke ventilerad krypgrund med golvvärme i bottenbjälklaget. För att kunna beräkna värmetransporten genom bjälklaget måste energiflödet genom byggnadens klimathölje q_b (W/K) beräknas. Nedan visas hur beräkningen på q_b utfördes.

- Transmission genom tak, väggar, fönster och dörrar

$$q_{b,trans} = \Sigma (A \cdot U) = 0,1 \cdot 216,8 + 0,152 \cdot 164,1 + 1,2 \cdot 88,7 + 0,9 \cdot 6,3 = 158,7$$

- Ventilation

$$q_{b,vent} = 0,33 \cdot n \cdot V = 0,33 \cdot 342 = 112,9$$

- Totalt

$$q_b = q_{b,trans} + q_{b,vent} = 158,7 + 112,9 = 271,6 \text{ W/K}$$

Det aktuella huset, för vilka beräkningarna är gjorda för, är indelat i tre delar. Nedan följer en uppskattning på värmeflödet för respektive del $q_{b,aktuell del}$ (W/K):

$$q_{b,aktuell del} = q_b \cdot \text{area för respektive del} / \text{total area}$$

$$\text{Norra del: } \frac{16,7-5,92}{18,9-6,55+16,7-5,92+6,3-5,7} \cdot 271,6 = 103,8$$

$$\text{Östra del: } \frac{18,9-6,55}{18,9-6,55+16,7-5,92+6,3-5,7} \cdot 271,6 = 130,0$$

$$\text{Västra del: } \frac{6,3-5,7}{18,9-6,55+16,7-5,92+6,3-5,7} \cdot 271,6 = 37,7$$

Motståndet för byggnadens klimathölje för respektive del $R_{b,aktuell del}$ (K/W) fås genom att invertera flödet $q_{b,aktuell del}$ (W/K):

$$\text{Norra del: } R_{b,norr} = 1/130,0 = 76,9 \cdot 10^{-4} \text{ (K/W)}$$

$$\text{Östra del: } R_{b,öst} = 1/103,8 = 96,2 \cdot 10^{-4} \text{ (K/W)}$$

$$\text{Västra del: } R_{b,väst} = 1/37,7 = 265 \cdot 10^{-4} \text{ (K/W)}$$

Bilaga C: Beräkningsalgoritmer i datorprogrammet ENORM

Årets, eller dygnets, värmebalans antas kunna beskrivas med följande formler för byggnadens avgivna och tillförda värmeenergi. För byggnadens avgivna värmeenergi $Q_{avgiven}$ (kWh/år) gäller följande:

$$Q_{avgiven} = Q_{trans} + Q_{vent} - Q_{växl} + Q_{läck} + Q_{avlopp}$$

där

$$Q_{trans} = \text{transmissionsförluster (kWh/år)}$$

$$Q_{vent} = \text{ventilationsförluster (kWh/år)}$$

$$Q_{växl} = \text{ventilationsvärmewäxling efter avdrag för kanalförluster och drivel (kWh/år)}$$

$$Q_{läck} = \text{förlust för okontrollerad luftväxling (kWh/år)}$$

$$Q_{avlopp} = \text{förlust p.g.a. vattenanvändning (kWh/år)}$$

För byggnadens tillförda värmeenergi $Q_{tillförd}$ (kWh/år) gäller följande:

$$Q_{tillförd} = Q_{solnytt} + Q_{persnytt} + Q_{procnytt} + Q_{vpnytt} + Q_{basnytt} + Q_{tillnytt} + Q_{prodnytt}$$

där

$$Q_{solnytt} = \text{instrålad solenergi (kWh/år)}$$

$$Q_{persnytt} = \text{tillgänglig personvärme (kWh/år)}$$

$$Q_{procnytt} = \text{värmertilskott från processer (för bostäder hushålls- och fastighetsel) (kWh/år)}$$

$$Q_{vpnytt} = \text{basvärme från eventuellt värmepump (kWh/år)}$$

$$Q_{basnytt} = \text{annan basvärme än från värmepump (kWh/år)}$$

$$Q_{tillnytt} = \text{tillsatsvärme (kWh/år)}$$

$$Q_{prodnytt} = \text{värmertilskott från produktions- och distributionssystem (kWh/år)}$$

Totalt behov av köpt energi $W_{köpt}$ (kWh/år) under ett kalenderår:

$$W_{köpt} = W_{proc} + W_{flpu} + W_{vpdriv} + W_{basnett} + W_{tillnett} + W_{prod}$$

där

$$W_{proc} = \text{köpt processenergi (hushålls- och fastighetsel) (kWh/år)}$$

$$W_{flpu} = \text{köpt energi till fläktar och pumpar (kWh/år)}$$

$$W_{vpdriv} = \text{köpt drivel för värmepump (kWh/år)}$$

$$W_{basnett} = \text{köpt annan basenergi exklusive förluster (kWh/år)}$$

$$W_{tillnett} = \text{köpt tillsatsenergi exklusive förluster (kWh/år)}$$

$$W_{prod} = \text{förluster vid värmeproduktion, -distribution och -reglering (kWh/år)}$$

Bilaga D: Indata till ENORM

Siffror inom parantes anger det projekterade värdet

Hus nr:	enheter	1	2	3	4	5
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	1	1	1	1
BRA	m ²	129,7	140	151,2	86,2	128,5
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(1,9) 3,8	(2,0) 3,0	(2,0) 1,6	(2,0) 3,1	(2,0) 2,4
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	50	50	100	50	100
Rumstemperatur	°C	20	20	20	20	20
Köldbryggor	W/°C	3,3	3,0	7,3	2,0	7,8
AREOR:	m ²					
Vindsbjälklag		131,0	141,3	75,6	86,2	128,5
Vägg mot luft		70,1	115,8	130,3	76,9	89,0
Golvbjälklag mot jord		129,7	-	75,6	-	128,5
Golvbjälklag mot luft		-	140,0	-	86,2	-
Fönster, karmyttermått		24,8	44,5	43,7	10,2	16,6
Dörrar, karmyttermått		4,1	5,5	2,1	4,1	5,0
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)					
Vindsbjälklag		0,085	0,085	0,085	(0,130) 0,085	0,085
Vägg mot luft		0,152	0,152	0,173	(0,168) 0,183	0,173
Golvbjälklag mot jord		0,258	-	0,289	-	0,272
Golvbjälklag mot luft		-	0,140	-	(0,195) 0,159	-
Fönster		(1,39) 1,63	1,36	1,80	(1,36) 1,95	1,36
Dörrar		0,69	0,69	0,69	(0,69) 0,90	0,69
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
GLASAREOR	m ²					
Nord		4,65	9,53	6,27	1,39	6,82
Öst		3,45	2,65	5,22	3,26	-
Syd		15,62	14,54	30,11	1,42	8,36
Väst		1,09	17,82	2,09	4,17	1,39
Solfaktor	-	92/92/91/92	1	1	1	0,92
Avskärningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Värmekälla		Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Uppvärmning		Luftvärme	Luftvärme	Luftvärme	Vattenrad	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTX	FTX	FTX
Luftflöde	m ³ /h	(178) 230	(216) 175	(173) 169	(178) 97	(259) 245

Hus nr:	enheter	6	7	8	9:1	9:2
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	1	1	1	1
BRA	m ²	153,9	126,7	86,2	130,0	130,0
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(2,0) 2,9	(1,4) 1,9	(2,0) 3,3	(2,0) 4,2	(2,0) 6,0
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	100	100	50	100	100
Rumstemperatur	°C	20	20	20	20	20
Köldbryggor	W/°C	7,6	6,2	2,0	4,7	2,6
AREOR:	m ²					
Vindsbjälklag		105,0	126,7	86,2	65,0	65,0
Vägg mot luft		119,1	90,8	76,9	86,9	44,7
Golvbjälklag mot jord		82,1	126,7	-	64,0	64,0
Golvbjälklag mot luft		-	-	86,2	-	-
Fönster, karmyttermått		25,5	16,6	10,2	33,1	32,5
Dörrar, karmyttermått		2,1	2,1	4,1	2,1	2,1
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)					
Vindsbjälklag		0,102	0,085	(0,130) 0,085	0,085	0,085
Vägg mot luft		0,173	0,152	(0,168) 0,183	0,173	0,173
Golvbjälklag mot jord		0,293	0,272	-	0,258	0,258
Golvbjälklag mot luft		-	-	(0,195) 0,159	-	-
Fönster		(1,50) 1,80	(1,50) 1,75	(1,36) 1,95	(1,68) 1,82	(1,69) 1,79
Dörrar		0,69	0,69	(0,69) 0,9	0,69	0,69
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
GLASAREOR	m ²					
Nord		7,71	3,33	1,39	6,04	6,04
Öst		2,76	4,15	4,17	0,57	-
Syd		10,17	7,90	1,42	21,90	21,90
Väst		4,83	1,17	3,26	4,52	4,52
Solfaktor	-	1	1	1	0,92/0,92/1/1	0,92/-/1/1
Avskärmningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Värmekälla		Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Uppvärmning		Luftvärme	Luftvärme	Vattenrad	Luftvärme	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTX	FTX	FTX
Luftflöde	m ³ /h	(202) 167	(271) 250	(178) 97	(144) 133	(144) 142

Hus nr:	enheter	9:3	10:1	10:2	11	13
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	1	1	1	1
BRA	m ²	130,0	111,9	111,9	141,8	129,6
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(2,0) 4,2	(2,0) 1,9	(2,0) 2,1	(2,0) 2,9	(2,0) 2,7
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	100	100	100	50	50
Rumstemperatur	°C	20	20	20	20	20
Köldbryggor	W/°C	4,7	4,1	4,1	4,2	4,1
AREOR:	m ²					
Vindsbjälklag		65,0	56,0	56,0	75,3	68,0
Vägg mot luft		79,9	84,2	84,2	131,1	123,9
Golvbjälklag mot jord		64,0	56,0	56,0	70,7	64,8
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster, karmyttermått		33,0	16,6	16,6	29,3	20,1
Dörrar, karmyttermått		2,1	6,2	6,2	3,2	2,8
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)					
Vindsbjälklag		0,085	0,085	0,085	0,098	0,098
Vägg mot luft		0,173	0,152	0,152	0,173	0,173
Golvbjälklag mot jord		0,258	0,279	0,279	(0,258) 0,322	0,258
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster		(1,68)1,82	1,36	1,36	1,65	1,65
Dörrar		0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
GLASAREOR	m ²					
Nord		6,04	6,95	6,95	8,52	3,62
Öst		-	3,79	-	5,46	4,72
Syd		21,90	5,84	5,84	9,86	7,08
Väst		5,09	-	3,79	5,46	4,72
Solfaktor	-	0,92/-1/-99	0,92	0,92	1	1
Avskärningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Värmekälla		Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	El (ved)	El (ved)
Uppvärmning		Luftvärme	Vattenrad	Vattenrad	Luftvärme	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTX	FTX	FTX
Luftflöde	m ³ /h	(144) 135	(151) 162	(151) 158	(198) 214	(198) 203

Hus nr:	enheter	15	16	17	18	19
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	1	1	1	1
BRA	m ²	126,0	156,5	155,0	147,6	138,1
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(2,0) 4,6	(2,0) 5,9	(2,0) 6,6	(2,0) 3,3	(2,0) 2,1
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	50	50	50	50	100
Rumstemperatur	°C	20	20	20	20	20
Köldbryggor	W/°C	3,5	4,8	4,9	4,5	6,2
AREOR:	m ²					
Vindsbjälklag		63,0	79,0	83,0	75,0	76,0
Vägg mot luft		121,1	124,1	112,1	125,0	110,0
Golvbjälklag mot jord		81,1	93,0	95,0	75,8	81,0
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster, karmyttermått		16,6	17,8	24,7	28,7	24,4
Dörrar, karmyttermått		2,8	4,6	4,3	4,9	2,1
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)					
Vindsbjälklag		0,095	0,095	0,095	0,087	0,091
Vägg mot luft		0,173	0,173	0,173	0,173	0,173
Golvbjälklag mot jord		0,258	0,258	0,258	0,258	0,288
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster		1,65	1,65	(1,65) 1,80	1,65	1,36
Dörrar		0,69	0,69	0,69	0,69	0,69
Annan area mot luft		-	-	-	-	-
GLASAREOR	m ²					
Nord		5,14	3,00	4,01	4,90	6,04
Öst		4,81	1,94	6,95	6,91	5,47
Syd		2,32	6,62	5,42	5,13	10,05
Väst		4,30	6,20	8,36	11,74	2,78
Solfaktor	-	1	1	1	1	0,92
Avskärningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Värmekälla		El (ved)	El/Ved	El (ved)	El (ved)	Fjärrv/Gas
Uppvärmning		Luftvärme	Vattenrad	Luftvärme	Vattenrad	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTX	FTX	FTX
Luftflöde	m ³ /h	(194) 198	(240) 234	(282) 288	(220) 198	(178) 184

Hus nr:	enheter	20		21	22	
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus	garage
Antal lägenheter	st	1	1	1	1	0
BRA	m ²	149,8	35,5	152,8	149,8	23,7
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(2,0) 4,8	(2,0) 4,8	(2,0) 2,1	(2,0) 4,8	(2,0) 4,8
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	100	100	100	100	100
Rumstemperatur	°C	20	20	20	20	14
Köldbryggor	W/°C	7,1	2,5	6,9	7,4	1,4
AREOR:	m ²					
Vindsbjälklag		79,1	35,0	154,0	79,1	23,8
Vägg mot luft		111,0	29,0	90,1	115,0	19,0
Golvbjälklag mot jord		79,1	35,5	152,8	79,1	23,8
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster, karmyttermått		40,7	10,5	31,7	41,2	-
Dörrar, karmyttermått		6,2	2,1	6,2	8,2	5,7
Annan area mot luft		33,7	9,0	-	15,8/29,5	8,6
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)					
Vindsbjälklag		0,085	0,085	0,085	0,085	0,085
Vägg mot luft		0,152	0,152	0,152	0,152	0,152
Golvbjälklag mot jord		0,260	0,260	0,267	0,260	0,260
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-	-
Fönster		(1,36)1,88	(1,39)1,84	(1,36)1,61	(1,40)1,88	-
Dörrar		0,63	0,69	0,69	0,65	0,69
Annan area mot luft		0,132	0,132	-	0,19/0,14	0,14
GLASAREOR	m ²					
Nord		5,33	0,40	1,65	5,81	-
Öst		5,38	2,26	6,04	5,38	-
Syd		22,39	6,40	3,45	22,39	-
Väst		3,06	1,40	20,56	3,06	-
Solfaktor	-	0,99	0,98	92/, 92/, 92/, 98	1	-
Avskärningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75	-
Värmekälla		El	El	El	El (ved)	-
Uppvärmning		Luftvärme	Luftvärme	Luftvärme	Luftvärme	-
Ventilation		FTX	FTX	FTX	FTX	FTX
Luftflöde	m ³ /h	(305) 151	(88) 203	(207) 198	(269) 144	(30) 65

Hus nr:	enheter	24		26	
Typ av verksamhet		småhus	garage	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	0	1	1
BRA	m ²	161,6	23,7	149,8	23,7
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	(2,0) 5,0	(2,0) 5,0	4,7	4,7
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	100	100	100	100
Rumstemperatur	°C	20	14	20	20
Köldbryggor	W/°C	8,9	1,1	7,2	1,4
AREOR:	m ²				
Vindsbjälklag		91,5	23,8	82,7	24,1
Vägg mot luft		123,0	19,0	116,0	22,0
Golvbjälklag mot jord		91,5	23,8	82,7	24,1
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-
Fönster, karmyttermått		49,7	-	41,2	3,9
Dörrar, karmyttermått		6,2	5,7	8,2	2,1
Annan area mot luft		24,5/42,0	-	25,0	4,9
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)				
Vindsbjälklag		0,085	0,085	0,085	0,085
Vägg mot luft		0,152	0,152	0,152	0,152
Golvbjälklag mot jord		0,260	0,260	0,260	0,260
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-
Fönster		(1,39) 1,87	-	1,88	1,76
Dörrar		0,63	0,69	0,65	0,69
Annan area mot luft		0,064/0,132	-	0,14	0,14
GLASAREOR	m ²				
Nord		5,73	-	5,81	0,40
Öst		7,64	-	5,38	-
Syd		28,79	-	22,39	3,46
Väst		3,06	-	3,06	-
Solfaktor	-	1	-	1	1
Avskärningsfaktor	-	0,75	-	0,75	0,75
Värmekälla		El (ved)	-	El (ved)	El
Uppvärmning		Luftvärme	-	Luftvärme	Luftvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTVP	FTVP
Luftflöde	m ³ /h	(269) 167	(30) 70	155	149

Hus nr:	enheter	28		30	
Typ av verksamhet		småhus	småhus	småhus	småhus
Antal lägenheter	st	1	0	1	0
BRA	m ²	174,0	40,8	195,8	21,0
Otätthetsfaktor	m ³ /(m ² ·h)	6,7	6,7	13,8	3,0
Värmekapacitet	Wh/(m ² ·°C)	100	100	60	60
Rumstemperatur	°C	20	18	20	18
Köldbryggor	W/°C	1,5	1,0	25,2	4,6
AREOR:	m ²				
Vindsbjälklag		174,0	40,8	195,8	21,0
Vägg mot luft		108,5	48,7	133,0	31,1
Golvbjälklag mot jord		174,0	40,8	195,8	21,0
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-
Fönster, karmyttermått		77,8	1,4	84,7	4,0
Dörrar, karmyttermått		4,2	6,3	4,2	2,1
Annan area mot luft		6,8	-	-	-
U-VÄRDE	W/(m ² ·°C)				
Vindsbjälklag		0,100	0,100	0,100	0,100
Vägg mot luft		0,152	0,152	0,152	0,152
Golvbjälklag mot jord		0,184	0,257	1,160	1,160
Golvbjälklag mot luft		-	-	-	-
Fönster		1,79	1,75	1,20	1,20
Dörrar		0,46	0,90	0,90	0,90
Annan area mot luft		0,017	-	-	-
GLASAREOR	m ²				
Nord		13,20	-	7,00	-
Öst		17,20	1,40	28,70	4,00
Syd		29,80	-	6,00	-
Väst		17,30	-	43,00	-
Solfaktor	-	1	1	0,92	0,92
Avskärningsfaktor	-	0,75	0,75	0,75	0,75
Värmekälla		Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme	Fjärrvärme
Uppvärmning		Luftvärme	Luftvärme	Golvvärme	Golvvärme
Ventilation		FTX	FTX	FTVP	FTVP
Luftflöde	m ³ /h	424	59	306	36

Bilaga E: Antagna körsträckor för byggmaterial

Tabellen nedan redovisar vilka körsträckor som är antagna för byggnadsmaterialen i hus 1, 5 och 19. Transportenergibehovet bygger på dessa antaganden (avsnitt 5.4.2). Körsträckorna som angivits gäller från byggmaterialtillverkare, i vissa fall via fabrik där några byggnadsmaterial monteras till prefabricerade element, och vidare till byggarbetsplats. Fabrikerna, där några byggnadsmaterial monteras till prefabricerade element, ligger antingen i Mockfjärd (Dalarna) eller i Landsbro (Småland). Några materialtillverkare har inte kunnat fastställas. Antagande därom har fått göras. Dessa har markerats med *.

material	tillverkare	sträcka	km
betong till grund	lokal tillverkare	inom Örebro kommun	20
makadam	lokal tillverkare	inom Örebro kommun	20
takpannor	Benders	Kvänum-Örebro	170
gips	Gyproc	Varberg-Mockfjärd-Örebro	230+170
		Varberg-Landsbro-Örebro	220+210
kakel	importeras	Italien-Stockholm-Örebro	2500+180
klinkers	Partek	Höganäs-Örebro	370
mineralull	Gullfiber	Billesholm-Mockfjärd-Örebro	500+130
		Billesholm-Landsbro-Örebro	190+210
trämaterial		Mockfjärd-Örebro	130
		Landsbro-Örebro	210
trappa	Snickarlaget	Landsbro-Örebro	210
spånskiva	Edsbyn träförädling	Edsbyn-Mockfjärd-Örebro	110+130
		Edsbyn-Landsbro-Örebro	450+210
skåp, garderober	Kallinge Kök	Kallinge-Örebro	350
list	GA-list	Ronneby-Örebro	350
parkett/trägol	Kähr AB	Nybro-Örebro	300
	Siljansnäs	Mora-Örebro	200
Ecoprim, polystyren	Rockwool	Skövde-Örebro	130
Tenotät, polyeten LD	Rosenlew Bygg	Norrköping-Mockfjärd-Örebro	220+130
		Norrköping-Landsbro-Örebro	160+210

material	tillverkare	sträcka	km
Tetofol, polyeten LD	Monarflex	Köpenhamn-Säffle-Mockfjärd-Örebro	500+190+130
		Köpenhamn-Säffle-Landsbro-Örebro	500+280+210
dräneringsrör, polyeten HD	Davinyl AB *	Dalstorp-Örebro	220
vattenledning, polyeten HD	Depex AB	Västerfärnebo-Örebro	100
VA-rör, PVC	Davinyl AB	Dalstorp-Örebro	220
fiberduk, polyesterergarn	Fov Fabrics AB *	Borås-Örebro	250
PVC-golv	Holmsund	Holmsund-Örebro	600
Platon-matta, polyeten HD	Platon	Oslo-Solna-Örebro	450+180
rör till centralsdammsugare, PVC	Allaway *	Jyväskylä-Sollentuna-Örebro	600+180
tapet och färg	Beckers/Casco *	Stockholm-Örebro	180
fönster	Classic Fönster	Lycksele-Mockfjärd-Örebro	500+130
		Lycksele-Landsbro-Örebro	830+210
dörrar	Classic Dörr	Piteå-Örebro	750
spik, skruv, etc	Gunnebo spik *	Malmö-Mockfjärd-Örebro	550+130
		Malmö-Landsbro-Örebro	220+210
vattenavledning, stål	Lindab	Grevie-Örebro	350
stålvas	Ifö sanitär *	Bromölla-Örebro	350
sanitetsporslin	Gustavsberg	Gustavsberg-Örebro	180
vitvaror	Elektroheli	Stockholm-Örebro	180