LUND UNIVERSITY

Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Thormark, Catarina

2006

Link to publication

Citation for published version (APA):
Thormark, C. (2006). *Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem*. LTH, Lund University.

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

Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Catarina Thormark

Avdelningen för Byggnadsekonomi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Energi- och resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Kv Seglet 1, Karlstad

Catarina Thormark

©2006 - Catarina Thormark,
Avdelningen för Byggnadsekonomi
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

ISRNLUTVDG/TVBP--06/3089--SE
ISBN 91-85257-94-X

Energi- och Resursanvändning i ett 12-vånings lågenergihus utan värmesystem

Tryckt av Media-Tryck, Lund 2006

Förord

Denna rapport är en studie av energi- och resursanvändningen i det energieffektiva flerfamiljshuset Kv Seglet 1 i Karlstad, Sveriges första höghus där huvuddelen av värmesystemet är passivt.

I passivhus, sk hus utan värmesystem, är målet att man inte skall behöva tillföra någon energi för uppvärmning. Passivhus blir allt vanligare i Europa och i Sverige har flera passivhus byggts som radhus.

I takt med att byggnadens energibehov för drift minskar, kommer energi- och resursbehovet för material att utgöra en allt större andel av byggnadens totala energi- och resursbehov. Kunskap om hur energi- och resursanvändningen är fördelad över byggnadens livscykel har stor betydelse för att identifiera viktiga områden för att ytterligare kunna minska byggnaders energi- och resursanvändning. Referensvärden från byggnader med låg driftenergi har därför stor betydelse för både utformning och bedömningen av nya byggnader.

I ett pågående projektet på LTH studeras ett antal passivhus med avseende på

- materialens andel av byggnadens totala energi- och resursbehov
- i vilken utsträckning val av material och konstruktioner påverkar byggnaders energi- och resursanvändning
- i vilken utsträckning val av material och konstruktioner påverkar byggnaders återvinningspotential

Kv Seglet 1 är en av byggnaderna i projektet. Delprojektet Kv Seglet 1 har finansierats av Boverket.

Jag vill framföra ett stort tack till alla konsulter och entreprenörer som arbetat med Kv Seglet 1 och som generöst och snabbt tillhandahållit en stor mängd data. Ett speciellt tack till Gunnar Persson, projektledare på Karlstads Bostads AB, som introducerade mig i projektet och till Eva Nilsson på Skanska som underlättat mitt arbete.

Om något är oklart i rapporten så hör gärna av er. Jag nås på catarina.thormark@bekon.lth.se eller telefon 046 – 222 73 49.

Lund, oktober 2006

Catarina Thormark

Tekn.Dr, Lunds Tekniska Högskola, avdelningen för Byggnadsekonomi.

Publikationer i projektet

I projektet om energi- och resursanvändning i lågenergihus har hittills följande material publicerats

- Thormark, C. (2002). Miljöpåverkan i ett livscykelperspektiv från ett lågenergihus – Radhus i Lindås. ISBN 91-85257-98-2. Lunds Tekniska Högskola, Byggnadsekonomi.

- Thormark, C. (2002). A low Energy Building in a Lifecycle –Embodied energy, Energy Need for Operation and recycling potential. International Journal of Building and Environment. Vol 37, No. 4, pp. 429-435.

- Thormark, C. (2006). The Effect of Material Choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. International Journal of Building and Environment. Vol 41. No. 8, pp. 1019-1026.

Innehåll

Förord 3

Sammanfattning 7

1 Inledning 9

1.1 Bakgrund 9

1.2 Syfte 10

1.3 Projektet Kv Seglet 1, Karlstad 10

1.4 Beskrivning av byggnaden 11

2 Metod 13

3 Resultat 19

4 Diskussion 23

5 Jämförelser med andra studier 25

6 Slutsatser och fortsatt arbete 27

6.1 Slutsatser 27

6.2 Fortsatt arbete 28

Referenser 30

Bilaga A Energiproduktion 32

Bilaga B Resultat 37

Bilaga C Karakteriseringsfaktorer 38

Sammanfattning

Det finns idag kunskap och teknik för att bygga hus med mycket lågt energibehov för drift. En fråga är då vilka åtgärder man kan vidta för att ytterligare minska användningen av energi och resurser i byggnader. Är driftsfasen även i lågenergihus den helt dominerande fasen under byggnadens livstid? Hur stor betydelse har val av material? Hur stora vinster kan göras genom återvinning av rivningsrester och finns det anledning att utforma konstruktioner så att demontering och återvinning underlättas?

I denna delstudie studerades Sveriges första höghus där huvuddelen av värmesystemet är passivt. Huset har 12 våningar och totalt 44 lägenheter. I byggnaden används enkel teknik som utan problem kan användas i andra projekt. Ytterväggen är en stålstomme med utfackningsväggar med 450 mm mineralullsisolering. Bjälklag och bärande mellanväggar är av betong. Beräknat energibehov för uppvärmning är 13,6 kWh/m^2 BRA och år. Huset byggs utan traditionellt värmesystem men ett golvvärmesystem installeras för att vid behov kunna ge viss tillskottsvärme.

I studien analyserades energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv där flera alternativ av energikällor för drift användes. Vidare studerades byggnadens återvinningspotential samt i vilken utsträckning enkla materialval kan påverka energi- och resursbehovet för material.

Resultaten visar att material utgör 37 % av total energianvändning. Ur miljösynpunkt är en denna form av redovisning mycket begränsande. Mer relevant är att redovisa resursanvändningen för energiproduktion. Material utgör nästan 70 % av byggnadens totala resursanvändning för energiproduktion (material och drift) under 50 år. Endast när all el och värme till byggnadens drift kom från danska kraftvärmeverk, utgjorde driften en dominerande andel av resursanvändningen.

Återvinningspotentialen beräknades för två olika återvinningsscenarier. Det ena scenariot innebar materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och återvinningspotentialen var då 30-40 %. I det andra scenariot ingick även återbruk av vissa materialmängder och återvinningspotentialen var då 40-50 %.

Effekten av materialval studerades för ett låg- och ett hög-resursalternativ. Resultaten visar att resursanvändningen både för energiproduktion och resurser i materialen i hög grad kan påverkas av materialvalet. Resursanvändningen för energiproduktion var i Låg-alternativet ca 15 % lägre än i Hög-alternativet. Resursanvändningen i material var i Låg-alternativet ca 35 % lägre än i Hög-alternativet.

Resultaten pekar på främst tre saker. Det ena är vikten av att beakta energikällorna, d.v.s. resursanvändningen för energiproduktion, i studier av energianvändning. Det andra är att materialproduktion och transporter utgör en helt dominerande andel av byggandens totala energianvändning. Det tredje är att materialvalet avsevärt kan påverka resursanvändningen.

För att i nybyggnad minska resursanvändningen, öka återvinningspotentialen och minska kostnaderna med bygg- och rivningsrester krävs att

- byggnader utformas så att de får lågt energibehov för drift
- energi- och resurssnåla material används
- demonterbara konstruktioner används
- fler demonterbara konstruktioner utveklas
- alla konstruktioner utvecklas med hänsyn till både arbetsmiljö och naturmiljö

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Forskning har hitintills främst fokuserats på energibehovet för drift, men på senare år har ett ökat intresse riktats mot byggnaders energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv.

Livscykeln kan indelas i tillverkning och transport av byggnadsmaterial, uppförande, drift, underhåll och rivning. Studier av byggnader i livscykelperspektiv ger en uppfattning om vilken fas i livscykeln som är viktigast att förbättra. Ett stort antal studier har visat att driften står för den helt dominerande andelen av en byggnads totala energianvändningen. I studier av svenska bostäder byggda under 90-talet utgjorde energi för drift ca 85 % av summan av total energianvändning under en antagen livslängd på 50 år.[1] (Adalberth, 1997, 2000).

Genom intensiv forskning har energibehovet för drift kunnat minskas avsevärt och under senare år har flera mycket energisnåla bostadshus byggts i Sverige. En byggnad kan göras så energieffektiv att i princip inget uppvärmnings- eller kylningssystem krävs. Det innebär att förlusterna ut via klimatskal och ventilation är så låga att förlusterna under större delen av året kan kompenseras av den värme som avges från människor och verksamhet. Under en begränsad period under vintern krävs dock ofta viss kompletterande värme.

Genom det reducerade behovet av värme, kommer resursanvändningen för material och transporter att utgöra en ökande andel av byggnadens totala resursbehov. Få studier har gjorts av det totala behovet i ett livscykelperspektiv i lågenergihus i kallt klimat. De genomförda studierna visar att materialproduktionen kan stå för omkring 60% av det totala energibehovet i byggnader med en antagen livslängd på 80 år (Nemeth 1998, Nielsen 1995). Andra studier har visat att trots att behovet av driftsenergi i ett bostadshus var mycket lågt, var husets totala energibehov högre än i hus som hade ett större energibehov för drift. Orsaken var drift och underhåll av driftsutrustning. (Röhm 1993, Feist 1996).

I takt med att energibehovet för drift minskar, kommer materialproduktionen att utgöra en allt större andel av byggnadens totala energianvändning. Valet av byggnadsmaterial får därmed ökad betydelse för byggnadens totala energi- och resursanvändning.

Kunskap om hur val av material och konstruktioner påverkar både byggnaders totala resursanvändning och byggnadens återvinningspotential har avgörande betydelse för hur relevanta och effektiva mål bör formuleras och för hur material och konstruktioner bör väljas.

De vinster som kan uppnås genom återvinning av en produkt kan sammanfattas i en produkts återvinningspotential. Viktiga faktorer för att ge goda förutsättningar för både miljömässigt och ekonomiskt effektiv återvinningen är möjligheter att demontera en produkt, sortera materialen, genomföra återvinningsprocessen samt möjligheter att använda de produkter som framställs av det återvunnet material.

[1] Se nedan avsnittet *4.2 Jämförelse med resultat från andra studier*.

Referensvärden från byggnader med lågt energibehov för drift har stor betydelse vid bedömningen av nya byggnader. Referensvärden från resurs- och kostnadseffektiva byggnader där man använt enkel teknik är speciellt intressanta.

1.2 Syfte

Det finns idag kunskap och teknik för att bygga hus med mycket lågt energibehov för drift. En fråga är då vilka åtgärder man kan vidta för att ytterligare minska användningen av energi och resurser i byggnader. Är det fortfarande driftsfasen som är den helt dominerande fasen under byggnadens livstid? Hur stor betydelse har val av material? Hur stora vinster kan göras genom att återvinna material och finns det anledning att utforma konstruktionerna så att demontering och återvinning underlättas?

Föreliggande studie har följande syften

- Analysera energi- och resursanvändning i ett livscykelperspektiv i ett passivhus-höghus.
- Beräkna återvinningspotentialen för olika återvinningsscenarier.
- Undersöka i vilken utsträckning enkla materialval påverkar energi- och resursbehovet för material.

1.3 Projektet Kv Seglet 1, Karlstad

Byggherre för Kv Seglet 1 är Karlstads Bostads AB, KBAB, och byggnaden uppförs i partneringsamarbete med Skanska som totalentreprenör.

Kv Seglet 1 är projekterat för att bli mycket energisnålt. Huset är Sveriges första höghus där huvuddelen av värmessystemet är passivt och KBAB har av Boverket beviljats särskilt utvecklingsstöd på 1,9 miljoner kronor. En stor del av stödet används för uppföljning och utvärdering av projektet där bl a Karlstads Universitet och Lunds Tekniska Högskola är involverade.

Ett stort antal utredningar har gjorts för att uppnå ett gott resultat och fler undersökningar för att utvärdera resultatet avser man att göra när huset har tagits i drift.

- Utredning inför energieffektivt fönsterval, WSP Environmental, Diana Avasoo.
- Energibehovsberäkning, WSP Byggprojektering, Lotti Lindstrii.
- Täthetsprovning, KBAB.
- Uppföljande täthetsprovning efter 2 år, KBAB.
- Värmekamerakontroll, KBAB.
- Byggande av provvägg och ventilationspaket trapphus innan projekteringsstart.
- Byggande av provschakt innan projekteringsstart för att hitta rätt detaljlösning.
- KBAB medverkar på byggarbetsplatsen för kvalitetsuppföljning mm.
- Hantverkare utbildas under byggskedet i byggnadstekniska frågor som täthet och fukt.
- Test av nytt arbetssätt avseende kontroll av uttorkningsklimat under byggproduktion, SKANSKA.
- Arbetsberedning och dokumentation i projektering och produktion (t.ex. upprättas detaljerade produktionsanvisningar i tidigt skede och kompletteras efter första montage). Uppföljning efter slutförd produktion för verifiering.

- Uppföljning av energi, värme-ventilation mm Karlstads Universitet, Jens Beiron.
- Uppföljning under garantitid, Örebroenkäten, hur bra trivs hyresgästerna?

1.4 Beskrivning av byggnaden

Byggnaden är ett 12-våningar högt bostadshus som uppförs 2006 i Karlstad på Babordsgatan1. Huset har totalt 44 lägenheter varav 22 st 2-RoK på 51,5 m^2 och 22 3-RoK på 68,5 m^2.

Projektkostnad (inkl. moms och byggherrekostnad) är beräknad till 53,5 miljoner kronor eller ca 20 200 kr/m^2 BOA. Hyran för lägenheterna differentieras beroende på lägenhetens läge i huset och blir för tvåor ca 4 660-5 045 kr/mån och för treor ca 6 565-7 570 kr/mån.

Huset byggs delvis på ett gammalt parkeringshus. För att klara kraven för det nya 12-våningshuset har olika förstärkningsarbeten utförts vilket till viss del kommit att komplicera och fördyra grundläggningen.

Under planprocessen etablerades ett bygglabb där vägg- och bjälklagsdetaljer samt installationsdetaljer testades i full skala.

Ytterväggarna är av en ny typ som ger rationellt montage, mycket god täthet och som inte skall ge köldbryggor. De består av inhängda prefab lättregelväggar med skivmaterial ytterst, isolering och bärande stålpelare och en lättregelvägg innerst. Totalt uppgår isoleringen till 450 mm. Fasadmaterial är av en glasfiberarmerad polymerkomposit.

Bjälklag är av betong och bärande väggar och pelare är av betong respektive stål.

Lägenhetsskiljande väggar är prefabricerad betong och bjälklagen är platsgjutna. Övriga innerväggar är gips på stålreglar.

Fönstren har U-värde 1,0 W/m^2 °K. Beräknade U-värden redovisas i Tabell 1.1.

Yttertaket är byggt av virke, råspånt, 30 mm mineralullsboard och takpapp. Vindsbjälklaget har 800 mm lösullsisolering med underliggande diff-spärr mot byggfukt i betongbjälklaget.

Tabell 1.1 Area och beräknd Up-värden för olika byggnadsdelar

Byggnadsdel	*Area (m2)*	*U_p (W/m^2, °C)*
Yttervägg	ca 49 %	0,11
Tak	ca 56 %	0,063
Golv	cs 75 %	0,13
Fönster	ca 90 %	1,0

Varje lägenhet har en plattvärmeväxlare med ca 50 % verkningsgrad för återvinning av värme ur frånluften. Den låga vekningsgraden valdes efter överväganden mellan en högre verkningsgrad som skulle medföra högre elbehov för avfrostning och en lägre verkningsgrad som skulle undvika risk för nedisning.

Beräknat energibehov för uppvärmning är 13,6 kWh/m^2 BRA (golvarea innanför omslutande ytterväggar) och år med uppvärmning till 20,5° C. Totalt energibehov, baserat på det beräknade uppvärmningsbehovet + KBAB's erfarenheter från egna fastigheter bedöms bli ca 50 kWh/m^2 år.

Byggnaden har inte några solfångare men förberedelser görs för möjligheten att senare ansluta till solfångare på grannfastigheter. En viktig åtgärd för att reducera energibehovet är hög lufttäthet.

I energiberäkningarna antogs infiltrationen vara 0,114 l/s, m^2 golvarea vid ±50 Pa tryckskillnad. Tryckprovningar kommer att genomföras av KBAB under byggtiden och ca 2 år efter inflyttning.

Visst behov av tillskottsvärme för uppvärmning bedöms finnas under november - mars. Ett golvvärmesystem med vattenburen värme installeras i lägenheternas hall och bostadsrum .Vattentemperaturen är +27°C för att klara parkettgolven. Vattnet är returvatten, +35°C, från fjärrvärmesystemet KBAB's övriga byggnader i området.

För varmvattenproduktionen kommer värmepump att användas och ca 20 % av energin kommer att utgöras av el och ca 80 % av fjärrvärrme.

Kallvatten, varmvatten och elförbrukning kommer att mätas och debiteras för varje lägenhet. Även användning av den allmänna tvättstugan debiteras för varje lägenhet. Erfarenheter visar att enskild debitering minskar förbrukningen av vatten och värme med ca 20 %.

För att torka ut byggfukt i betongbjälklag och betongväggar till omgivande klimat behövs uppskattningsvis 50 MWh eller totalt cirka 20 kWh/m^2. Detta innebär att energianvändningen kommer att vara högre än beräknat energibehov fram till dess att all byggfukt torkat ut.

Den invändiga standarden blir hög. Golv i trapphus är av stenmaterial. I lägenheterna är golv i badrum och kapprum av klinker och i övriga rum är det ek-parkett. Väggar i badrum är kaklade och väggar i övriga rum har papperstapet. Köksluckor och garderobsdörrar är laminerade. Varje lägenhet har plats för egen tvättmaskin i badrummet och i markplanet finns en fullt utrustad genensam tvättstuga. Det finns tillgång till plats både i P-garage och på uteparkering. Alla lägenheter har stor balkong.

Figur 1.1 Kv Seglet 1, Karlstad. Arkitekt Skanark AB.

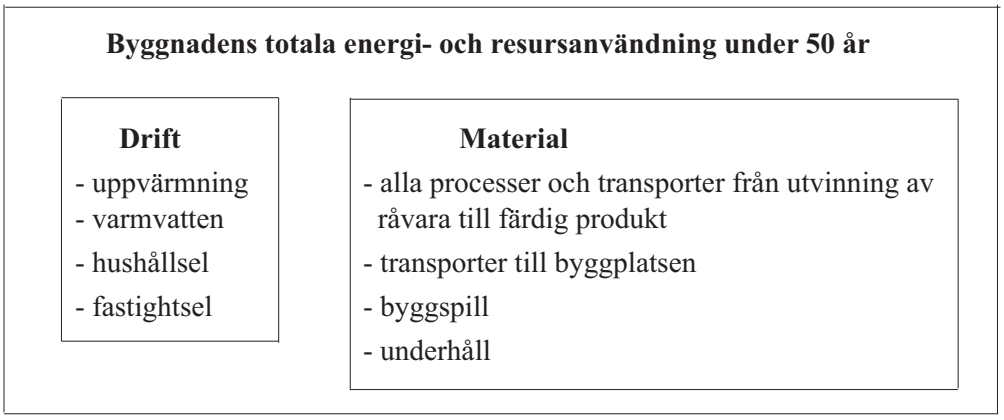
2 Metod

Funktionell enhet

Den studerade enheten är 1 hus under en period av 50 år. Under denna period underhålls byggnaden med erfarenhetsbaserade underhållsintervall och bostadsytan värms upp till +20,5°C. Resultaten presenteras per m^2 BRA (golvarea innanför omslutande ytterväggar).

Systemgränser

Byggnadens totala energi- och resursanvändning har delats upp i 'drift' och 'material'. Se Figur 2.1



Figur 2.1 Processer som har ingått i beräkningen av byggnadens totala energi och resursanvändning.

I drift ingår uppvärmning, varmvatten, hushållsel och fastighetsel (pumpar, fläktar etc).

Energibehovet för drift har beräknats av WSP Byggprojektering och utgörs av elenergi och fjärrvärme.

I material ingår alla processer från utvinning av råvara till dess materialet lämnar fabriken, transport från fabrik till byggplatsen, byggspill, underhåll samt transport av rivningsmaterial till deponi eller återvinningsanläggning. Energi för processerna för uppförande respektive rivning av byggnaden har inte inkluderats. Materialens förbränningsvärdet redovisas separat.

Byggnadens livstid har satts till 50 år. Detta har gjorts eftersom denna tidsperiod är den mest använda tidsperioden när byggnader studeras i ett livscykelperspektiv. Resultatet kan därmed enklare jämföras med andra studier.

Energi- och resursanvändning för underhåll har beräknats som

Underhåll = (antagen livslängd för byggnaden / materialets livslängd) – 1

För bestämning av materialets livslängd har erfarenhetsbaserade underhållsintervall använts och hämtats från (Vidén 2002).

Materialmängder har tillhandahållits av entreprenören. Eftersom byggnaden uppfördes på en befintlig grund har resursanvändningen för grunden baserats på materialmängder för en likvärdig byggnad.

Material

Data för byggmaterial har huvudsakligen hämtats ur livscykelanalyser, EPD (Environmental Product Declaration) eller byggvarudeklarationer. Källorna avser huvudsakligen nordiska processer under perioden 1995-2003.

För enstaka material saknades uppgifter om energibärare och energin har i beräkningarna då satts som 'ospecificerad'. Totalt utgjorde denna energiandel ca 4 % av den totala energianvändningen för materialproduktion. Energibärare för denna ospecificerade energi har sedan antagits vara densamma som i den specificerade energin. I Bilaga B, Tabell B.1 redovisas energisammansättningen för den totala materialproduktionen av byggnadens material.

Energi

I studier av byggnader i ett livscykelperspektiv brukar det anges att energianvändning utgörs av primärenergi. (Primärenergi definieras som den energi som finns som en naturresurs och som inte har genomgått någon omvandling av människan.) Vid en närmre undersökning av presenterade data visar det sig dock ofta att det endast är energianvändningen för materialproduktion som är i primärenergi medan energianvändningen för drift utgörs av köpt energi. Denna metod är utmärkt för att enkelt jämföra olika byggnaders förhållande mellan byggnadernas energianvändning för materialproduktion och byggnadernas energieffektivitet för drift.

I föreliggande studie är syftet att jämföra energi- *och* resursanvändning i en byggnad i ett livscykelperspektiv. Då är uppgifter om primärenergi inte tillräckligt underlag. Det finns idag bra underlag för förlitliga beräkningar av användning av fossila energiresurser. Det saknas däremot underlag för beräkningar av användning av icke-fossila energiresurser. Studien har därför begränsats till att a) undersöka förhållandet mellan energianvändning för materialproduktion och drift med den metod som ofta används (primärenergi för material och köpt energi för drift) och att b) undersöka förhållandet mellan materialproduktion och drift med avseende på användning av fossila energiresurser för energiproduktion.

Data för resursanvändning för produktion av fjärrvärme och el har huvudsakligen hämtats ur livscykelanalyser och EPD (Environmental Product Declaration).

El för drift har antagits vara nordisk elproduktion 2005 (Nordel 2006). Resursanvändningen för nordisk elproduktion har beräknats från LCA och EPD för 92 % av produktionskällorna. För övriga 8 % (som utgörs av kraftvärme från industrin, biokraft, avfall och termisk kraft) saknas tillförlitliga data och bedöms ha försumbar inverkan på resultatet. De 8 % har därför exkluderats från beräkningen av resursanvändning. Se Bilaga A, Tabell A.1 och A.2.

Använda värden för energibärares energiinnehåll följer internationell praxis och redovisas i Bilaga A, tabell A.9.

Transport

Alla material har antagits ha transporterats med tung lastbil med trailer, 40 ton, och ett genomsnittligt lastutnyttjande om 70 %. Alla produkter kommer inte direkt från producent utan via byggmaterialleverantörer. Det har därför antagits att 25 % av den totala vikten har transporterats ytterligare 10 km med lätt lastbil med 50 % fyllnadsgrad. Uppgifter om energibehov för godstransport, MJ/tonkm, har hämtats från Nätverket för Transporter och Miljön, NTM.

För alla material som används i större mängd än 5 kg/m^2 BRA (stål, betong, virke, gips, mineralull, fasadskivor och keramik) har det antagits att de levereras från närmaste belägna fabrik. För övriga material (utgör mindre än 2 vikts-%) har antagits ett schablonavstånd på 200 km.

Avståndet till förbränning och deponi har antagits vara 30 km. Materialåtervinning av mineralull, gips och ekofiber har antagits ske på respektive fabrik. Metallåtervinning har inte delats upp på olika metaller utan ett schablonavstånd på 275 km har använts. För att inte underskatta transporterna för återvinning, har dessa antagits ske med lätt lastbil med 50 % fyllnadsgrad.

Återvinning och återvinningsscenarier

Återvinning har använts som samlande begrepp för återbruk, materialåtervinning och förbränning med energiutvinning. Återbruk avser användning av materialet som det är efter en smärre uppgradering; t ex tegelsten används som tegelsten, mineralulls-skivor rivs till lösull. Materialåtervinning avser att materialet genomgår omfattande bearbetning för att användas i andra produkter; t ex metaller smälts ned för att bli råvara för nya produkter, gipsskivor mals ned för att bli råvara för nya gipsskivor. Förbränning avser förbränning med energiutvinning; t ex i fjärrvärmeverk.

Den största mängden av de totala bygg- och rivningsresterna utgörs av rivningsrester och dessa genereras i en tämligen avlägsen framtid. Hur hantering och eventuell återvinning av dessa kommer att vara är mycket svårt att bedöma. Lika osäkert är att beräkna vilka vinster som framtida återvinning innebär. I de två scenarier som gjorts här har alla vinster av energi och resurser beräknats utifrån dagens villkor vad gäller t ex energi- och materialanvändning. De främsta syftet med scenarierna har varit att få en uppfattning om skillnaden i vinster mellan materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och återbruk.

De två återvinnings-scenarierna som använts är; 1) Materialåtervinning/förbränning med energiutvinning och 2) Återbruk. I båda scenarierna antogs att allt material som kan sorteras vid eller efter rivning går till återvinning, övrigt material deponeras. De %-satser som använts för sortering och återbruk, bygger på ett stort antal intervjuer gjorda i mitten av 1990-talet. Intervjuerna gjordes med olika rivningsföretag och avfallshanterare angående tekniska möjligheter för dels demontering och sortering i samband med rivning, dels sortering på avfallsstationer. Alla demonteringsmöjligheterna är idag inte ekonomiskt lönsamma bl.a. på grund av tidsåtgången för demontering. Konstruktioner anpassade för demontering och återvinning minskar tiden för demontering och sortering, minskar energianvändningen i återvinningsprocesserna och ger bättre kvalitet på återvunnet material.

I scenariot Materialåtervinning/förbränning antogs att allt sorterat icke brännbart material går till materialåtervinning och allt sorterat brännbart material går till förbränning. Inget material

I scenariet Återbruk antogs att en viss procent av material återbrukades. Sorterat material som inte bedömdes lämpligt för återbruk antogs gå till materialåtervinning eller förbränning. Antagen återbruksprocent redovisas i Tabell 2.1. Återbruk av glasull innebär att materialet rivs till lösull.

Tabell 2.1 Antagen sorteringsprocent för olika material.

Material	Materialåtervinning, förbränning (%)	Återbruk (%)
Virke	95	
Metaller	95	
MinUll	95	
Gips	90	
Sten, betong,	90	
Plast	95	
Stålreglar ≥ 45 mm		65
MinUll, I-vägg		90
MinUll, vind, Y-vägg		75
Virke ≥ 70 mm	95	65

Återvinningspotential

Med återvinningspotential avses de energi- och resursvinster som kan uppnås genom återvinning av en produkt. Återvinningspotentialen, ÅvP, har beräknats som

$ÅvP = E_{prod} * \text{livstid} - E_{Åv}$

där

E_{prod} = energianvändningen för alla processer från utvinning av råvara till dess materialet lämnar fabriken

livstid = det återvunna materialets livstid som % av det materialets livstid som det återvunna materialet ersätter.

$E_{Åv}$ = energianvändningen för alla processer och transporter som krävs för att framställa en ny produkt

Inverkan av materialval

För att undersöka i vilken utsträckning energi- och resursanvändningen kan påverkas genom val av material, gjordes alternativa utformningar med syftet att minimera respektive maximera användningen av förnyelsebara råvarumaterial.

Miljövärdering

Miljöbelastningen av energi- och resursanvändning kan värderas på flera olika sätt och under 90-talet utvecklades flera olika värderingsmetoder. Metoderna bygger på olika utgångspunkter och kan därför ge mycket olika resultat. Valet av metod har därmed ofta en avgörande betydelse för vilka resultat man kommer fram till. Värderingsmetoderna kan indelas i olika grupper efter vilka principer som använts för värderingen, t ex total resursanvändning, kritiska föroreningsbelastningar i naturen, politiska mål, betalningsvilja eller expertpaneler.

För att få en bred belysning av resursanvändningen i material-delen i relation till resursanvändningen för drift-delen samt hur materialval påverkar resursanvändningen, har fyra värderingsmetoder använts. Metoderna har valts så att de representerar helt olika utgångspunkter för värderingen. Använda metoder är; EPS 2000 (Steen 1999), EcoIndicator 99 (Goedkoop 2001), CML 2 baseline 2000 (Guinée 2002) och EDIP (Wenzel 1997).

EPS 2000, V2.1

I metoden tas hänsyn till fem skyddsobjekt; mänsklig hälsa, biologisk mångfald, ekosystemens produktion, resurser och estetiska värden. (Estetiska värden används inte praktiskt.) Index räknas fram utifrån betalningsviljan inom OECD att återställa skador. I EPS ger användning av metaller generellt avsevärt högre belastning än användning fossila resurser. Metoden är utvecklad i Sverige.

EcoIndicator 99

I metoden värderas skador på olika system, t ex mänsklig hälsa, ekosystem, råvaruresurser. Index för råvaror baseras på den extra energi som kommer att krävas av framtida generationer för att utvinna mineraler och energi. Metoden inkluderar tre olika perspektiv; individualist, egalitarian och hierarchist (bra svenska översättningar saknas). I det individualistiska perspektivet tillämpas ett kort tidsperspektiv och endast bevisade effekter behandlas. I ett egalitarian perspektiv tillämpas ett mycket långt tidsperspektiv och möjliga effekter inkluderas. I det hierarchistiska perspektivet tillämpas ett medellångt tidsperspektiv och grundsynen är att många problem kan lösas genom politiska beslut. Det hierarchistiska perspektiv har använts i denna studie. Metoden är utvecklad i Holland.

CML 2 baseline 2000

I denna metod betraktas minskningen av icke förnyelsebara resurser som en nyckelfråga. Index baseras på förhållandet mellan råvarureserver och utvinningshastighet. I CML ger generellt användning av metaller avsevärt lägre belastning än användning fossila bränslen. Metoden är utvecklad i Holland.

UMIP (Udvikling af Miljøvenlige Industiprodukter) EDIP97 (Environmental Design of Industrial Products)

I denna metod baseras viktningsindex på förhållandet mellan utsläpp eller råvaruanvändning och de politiska målen för utsläpp eller råvaruanvändning. I EDIP ger generellt användning av metaller avsevärt högre belastning än användning fossila bränslen. Metoden är utvecklad i Danmark.

3 Resultat

Konstruktioner med alternativa material

Avsikten var att undersöka hur materialval påverkar energi- och resursanvändningen genom enkla förändringar för två alternativ; Alternativ Låg med maximerande av förnyelsebara material och Alternativ Hög med maximerande av icke förnyelsebara material. Eftersom originalutförandet var betongbjälklag med vattenburen golvvärme var enkla alternativ begränsade. För att få större spridning på alternativen gjordes därför ett extra alternativ med bjälklag av massivträ men utan hänsyn till hur tillskottsvärmen skall tillföras. Originalutformning och de alternativa lösningarna redovisas i tabell 3.1.

Försök gjordes i beräkningarna att använda kork som isolering i ytterväggarna. Det var dock inte möjligt att hitta data av sådan kvalitet att en jämförelse skulle vara meningsfull.

Tabell 3.1 Originalutformning och två alternativa lösningar. (- betyder ingen förändring)

Byggnadsdel	Original	Alt Låg 1	Alt Låg 2	Alt Hög
Ytterväggar	Stålreglar, träreglar	Träreglar	Träreglar	Stålreglar
Innerväggar	Stålreglar	Träreglar, (stålreglar i våtrum)	Träreglar, (stålreglar i våtrum)	-
	Prefab btg	-	Massivträ	-
Bjälklag	Betong	-	Massivträ	-
Ytskikt	Klinker i badrum och hall	-	-	PVC i badrum och hall

Energianvändning

I alla utförandena var energianvändningen, MJ/m^2, för material mellan 37-41 % av den totala energianvändning under 50 år. (Förhållandet mellan energianvändning för material och för drift behandlades tidigare i Kap 2, avsnittet om Energi.) Energianvändningen för drift och material redovisas i Tabell 3.2.

Transporterna utgjorde ca 8 % av energianvändningen för material.

Återvinningspotentialen i scenariot materialåtervinning/förbränning med energiutvinning motsvarar 30-40 % av energianvändningen för materialproduktion och transporter. I scenariot återbruk var återvinningspotentialen 40-50 %. Se Tabell 3.2.

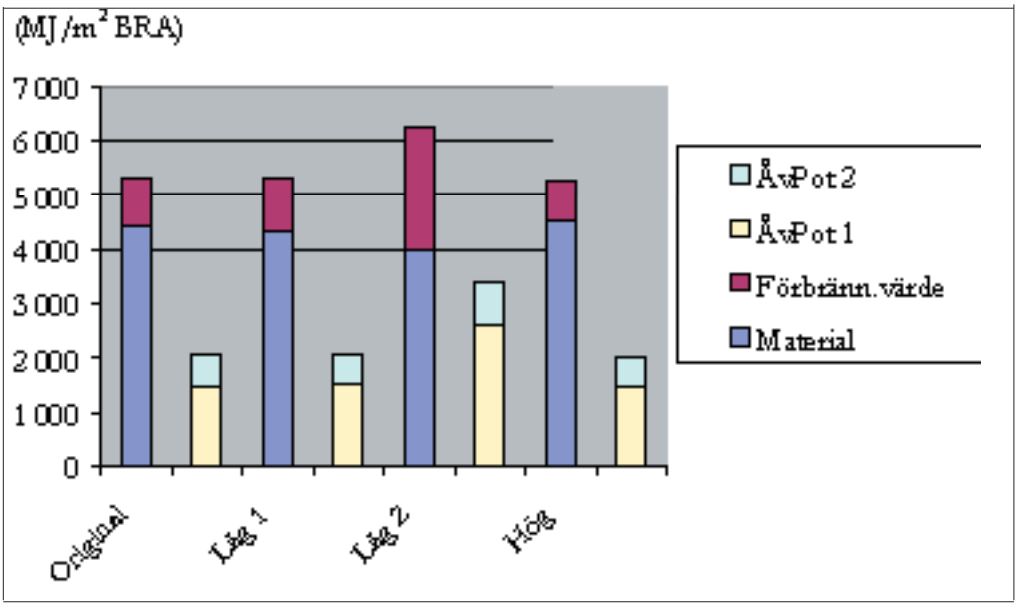
Tabell 3.2 **Energianvändning för material och drift och återvinningspotential för originalutförandet och det alternativa utförandet.**

Process	*MJ/m² BRA*			
	Original	*Låg 1*	*Låg 2*	*Hög*
Produktion tot (inkl värmevärde)	*5 379*	*5 395*	*6 250*	*5 357*
Material nybyggnad	3 238	3 161	2 943	3 305
Spill	159	153	82	165
Renovering	787	787	787	813
Värmevärde	865	975	2 239	746
Transporter	331	320	198	329
Återvinningspotential, alt A	1 490	1 516	2 613	1 487
Återvinningspotential, alt B	2 046	2 090	3 381	2 002
	kWh/m², år (köpt energi)		MJ/m², år (köpt energi)	
Drift	50		180	
Uppvärmning	13,6		48,96	

Återvinningspotential

Återvinningspotentialen i scenariot materialåtervinning/förbränning var både i originalutförandet och i de alternativa originalutförandena ca 30 % av total energianvändning för material. I scenariot återbruk var återvinningspotentialen ca 40 % i både original- och hög-alternativet och ca 55 % i låg-alternativet. Se Figur 3.1.

Återvinningspotentialen motsvarar ungefär 5 års drift i både originalutförandet och alternativen.



Figur 3.1 *Primärenergi för material (produktion, spill, underhåll och transport), värmevärde samt återvinningspotential för de tre fallen. ÅvPot 1 är besparingen som kan uppnås genom materialåtervinning/förbränning med energiutvinning. ÅvPot 2 är den ytterligare besparingen som kan uppnås genom återbruk.*

Resursanvändning

Det blev avsevärd skillnad i användning av råvaruresurser mellan alternativ Låg 2 (alternativet med mest förnyelsebara material) och alternativ Hög (alternativet med mest icke förnyelsebara material). I Låg 2 var användningen av både järnmalm och kol ca hälften mot alternativ Hög. Användningen av olja var ca 25 % lägre och användningen av naturgas ca 10 % lägre. Användningen av stenmaterial och sand var mindre en 1/10 medan virkesanvändningen däremot var ca 5 gånger större. Se tabell 3.3.

Tabell 3.3. Resultaten av den ändrade resursanvändningen i de alternativa utformningarna jämfört med originalutförandet.

Resurs	*Låg 2 jämfört med Hög*
Kol (energiresurser)	ca 49 %
Järnmalm	ca 56 %
Olja	cs 75 %
Naturgas	ca 90 %
Berg, sand, grus	ca 5 %
Virke	ca 500 %

Miljövärdering av resursanvändningen i materialen

Värdering av användningen av råvaruresurser i material (metaller, olja i plaster etc) visade att belastningen kan påverkas avsevärt genom val av material. Belastningen från Alternativ Låg 2 var ca 25-40 % lägre än belastningen från alternativ Hög. Se Tabell 3.4. (Resultaten för originalutförandet och alla alternativ redovisas i Bilaga B, Tabell B.2.)

Tabell 3.4 Resursanvändningen för Alternativ Låg som % av Alternativ Hög värderad med fyra olika värderingsmetoder.

	EPS 2000	*CML baseline 2000*	*EcoIndicator 99 (H)*	*EDIP 97*
Materialresurser i material 50 år	67 %	73 %	63 %	59 %
Energiresurser för produktion och transport av material	82 %	86 %	82 %	84 %
Material- och energiresurser för material	70 %	85 %	77 %	59 %

Miljövärdering av resursanvändningen för energiproduktion

Som nämndes ovan utgjorde energianvändningen, i kWh/m^2, för materialproduktion och transporter mellan 37-41 % av den totala energianvändning under 50 år i de fyra utförandena. Resultatet studerades även med avseende på resursanvändningen för energiproduktion för fem olika sammansättningar på driftenergin. Se Tabell 3.5. Resultatet när olika värderingsmetoder användes redovisas i Tabell 3.6.

Tabell 3.5. **Olika sammansättningar på driftsenergin. Resursanvändningen för respektive energikälla redovisas i Bilaga A.**

Alternativ	*El*	*Fjärrvärme*
A	Nordisk elmix	Uppsala kraftvärmeverk
B	Nordisk elmix	Göteborg Energi
C	Nordisk elmix	Uppsala Värme (avfallsförbränning)
D	Nordisk elmix	Olja
E	Danska kraftvärmeverk	Danska kraftvärmeverk

Tabell 3.6. **Fyra värderingsmetoder användes för att värdera energiresurser för material och transporter som % av byggnadens totala användning energiresurser under 50 år. Värden i tabellen avser endast orginalalternativet.**

Alternativ	*EPS 2000*	*CML baseline 2000*	*UMIP*	*EcoIndicator 99 (Hierarchist)*
A	35 %	83 %	77 %	73 %
B	48 %	87 %	82 %	78 %
C	44 %	90 %	86 %	83 %
D	43 %	71 %	62 %	55 %
E	11 %	11 %	12 %	14 %

Av Tabell 6 framgår att resursanvändningen för material och transporter i alla alternativ av energisammansättningar för driften utgör en ansenlig andel av byggandens totala resursanvändning för energiproduktion. Enda undantaget är när danska kraftvärmeverk används för energiproduktion för byggnadens el och uppvärmning.

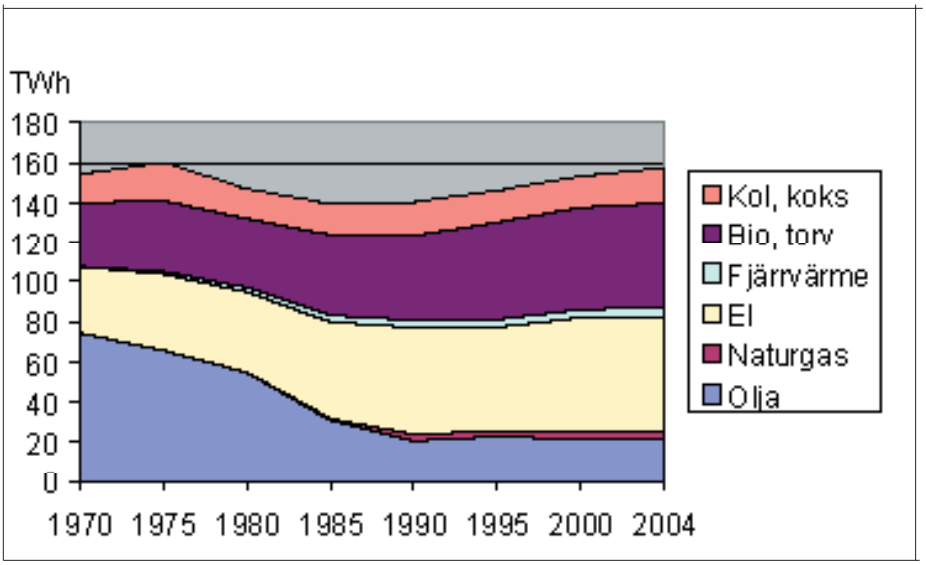
4 Diskussion

Den sannolikt viktigaste faktorn som kan påverka resultaten är kvaliteten på data för materialproduktion och energiproduktion.

Datakvaliteten för materialen bedöms vara av relativt liten betydelse i undersökningen av i vilken utsträckning materialval påverkar resultatet. Orsaken är att datakvaliteten är ungefär densamma för material både i den ursprungliga som i de alternativa utformningarna.

Datakvaliteten för energiproduktion i de olika driftsalternativen är alla generellt av hög kvalitet. Däremot är det svårt att bedöma resursanvändningen för en svensk medel- fjärrvärme och därför gjordes flera olika energi-mixer för driften. Rsultaten redovisades i Tabell 3.6.

Förutom kvaliteten på data kan även dess ålder inverka. Data för energiproduktion är generellt nyare än data för materialproduktion. Man kan anta att energisammansättningen för produktion av byggmaterial inte har förändrats mer än energisammansättningen för svensk industri generellt. Inom svensk industri har energisammansättningen genomgått ytterst små förändringar sedan slutet på 1980-talet. Se Figur 4.1.



Figur 4.1 Energianvändningen inom svensk industri 1970-2004 fördelad på enrgikällor. (Statistik från SCB)

Däremot har många processer blivit mer energieffektiva. Trots en ökad energieffektivitet inom vissa processer har den totala energianvändningen inom industrin inte minskat. Orsaken är att många producenter idag producerar mer högkvalitativa varor än tidigare vilket ofta är mer energikrävande. En viss ökad energieffektivitet kan säkerligen ha skett inom byggmaterialprod uktionen. Å andra sidan är uppgifter om materialanvändningen för byggnaden och flera data-set, t ex äldre data och byggvarudeklarationerna, inte heltäckande.

Det är därför liten sannolikhet att den totala energianvändningen för materialproduktionen och transporter skulle vara överskattad.

Ytterligare en faktor som man kan tänka sig kan ha viss betydelse för resultaten är hur energisammansättningen både för driften och för industriproduktionen kan tänkas förändras i framtiden. Generellt finns politiska mål att minska användningen av fossila bränslen. Av den totala energianvändningen för materialproduktionen för en byggnad används ca 80 % vid nybyggnad. En förändring av energisammansättningen inom industrin i framtiden har därför tämligen liten inverkan på resultatet. En förändrad sammansättning av driftenergin (förutsatt att förändringen innebär mindre användning av olja och kol) kommer att minska drifttidens andel av byggandens total resursanvändning för energiproduktion

Sammantaget bedöms datakvalitet och framtida förändringar av energisammansättningen för drift respektive materialproduktion ha tämligen liten inverkan på resultaten.

5 Jämförelser med andra studier

Kunskap om hur energi- och resursanvändningen för material förhåller sig till byggnadens energi- och resursbehov för drift är intressant av flera skäl, bl a för hur mål för byggnaders energieffektivitet bör formuleras. Flera studier inom detta område har därför gjorts både i Sverige och internationellt.

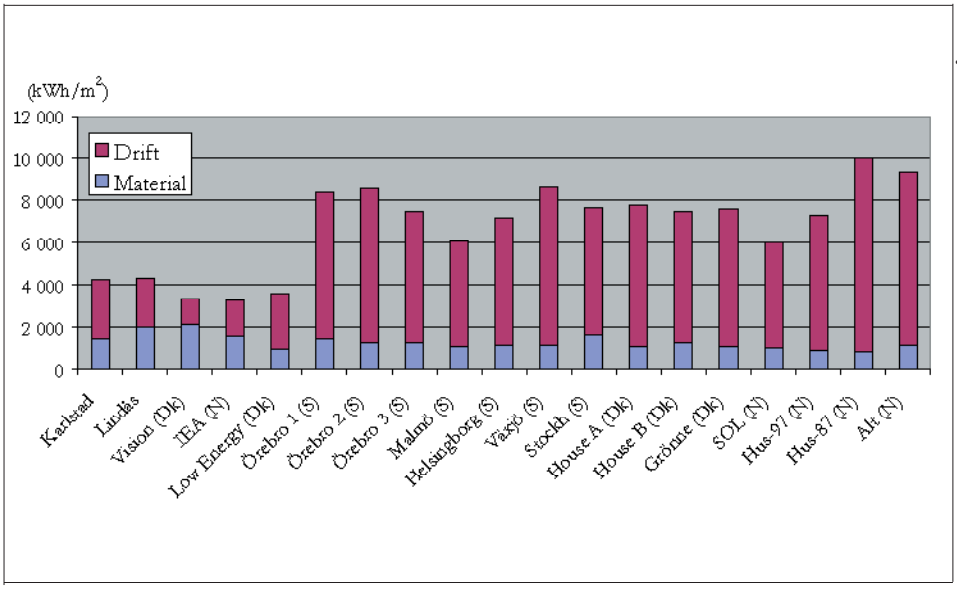
För dessa studier finns det olika metoder att använda beroende på vad man vill studera. Resursanvändningen för drift kan vara helt olika i två exakt likadana byggnader beroende på vilken energikälla som används för driften. Om man specifikt vill undersöka hur energianvändningen för *material* förhåller sig till byggnadens energieffektivitet avseende driften, är ett bra sätt att uttrycka energianvändningen för materialproduktion som primärenergi medan energianvändningen för drift uttrycks som köpt energi. Med denna metod kan olika byggnader jämföras utan att energikällan för driften påverkar resultaten. Om man däremot vill undersöka hur mycket råvaruresurer som används i bygganden, måste energikällorna för både materialproduktion och drift inkluderas.

Utförliga studier på total energianvändning i konventionella svenska bostadshus från 1990-talet har tidigare gjorts av Adalberth (Adalberth 1997, 2000). I dessa studier har köpt energi använts för energibehovet för drift. Resultaten visade att driften står för ca 85 % av byggnadernas totala energianvändning under 50 år. Det är från dessa studier som det ofta refererade värdet ”85 – 15” kommer.

Även i Danmark och Norge har denna typ av studier genomförts. Resultatet från Kv Seglet 1 jämfördes med resultat från alla dessa studier i de nordiska länderna. I studierna skiljer sig metoderna något åt mellan länderna och för att göra resultaten jämförliga gjordes därför vissa omräkningar. I de danska studierna (Nielsen 1995) användes en livstid på 80 år och resultaten räknades därför om för en livstid på 50 år. I de norska studierna (Fossdal 1995, Nemeth-Winter 1998) var inte förbränningsvärdet inkluderat men lades till i omräkningen. För alla byggnaderna antogs energin för drift var producerad i ett svenskt kraftvärmeverk. Jämförelsen redovisas i Figur 5.1.

Av byggnaderna i Figur 5.1 är det bara Karlstad (Kv Seglet 1), Lindås, Vision, IEA och Low Energy som har ett energibehov för drift under 75 kWh/m2 år. Övriga svenska exempel har ett energibehov för drift på mellan 100 och 150 kWh/m2 BRA och år. Karlstad är det enda höghuset. Övriga byggnader utgörs av 1- eller 2- våningsbyggnader förutom Helsingborg, Växjö och Stockholm som har tre eller fyra våningar. Generellt minskar energi- och resursanvändningen för material med ökningen av antalet våningar.

Av Figur 5.1 framgår tydligt att energianvändningen i lågenergihus avsevärt ökar och utgör en betydlig andel av byggnadens totala energianvändning.



Figur 5.1 Energianvändningen fördelad på material och drift i Karlstad (Kv Seglet 1) och i andra nordiska byggnader. Endast Karlstad, Lindås, Vision, IEA och Low Energy har ett energibehov för drift under 75 kWh köpt energi/m² år. Övriga svenska exempel har ett driftbehov på mellan 100 och 150 kWh köpt energi/m² BRA, år.

6 Slutsatser och fortsatt arbete

6.1 Slutsatser

Forskning om energianvändningen i byggnader har tidigare huvudsakligen fokuserat på energianvändningen för driften. På senare år har perspektivet vidgats och man har börjat betrakta byggnader i ett livscykel-perspektiv. Detta innebär bl a att energibehovet för drift jämförs med energibehovet för materialproduktion. I dessa studier har energi endast betraktats som kWh/MJ. Råvaruresurserna för energiproduktion har ofta inte beaktats.

Ur miljösynpunkt är det dock stor skillnad på olika energikällor och den allmänna politiska ambitionen är att styra över uppvärmningen av byggnader från fossila bränslen till förnyelsebara energikällor.

När råvaruresurserna för energiproduktionen beaktas är det inte längre driften utan istället materialproduktionen som utgör den största andelen av byggnadens totala energianvändning under 50 år. I lågenergihus utgör materialproduktionen ca 70 % av byggnadens totala resursanvändning för energiproduktion.

Olika byggnadsmaterial kräver olika mycket energi att producera. Valet av material kan därmed ha stor inverkan på byggnadens resursanvändning. Energianvändningen för produktion av alla byggnadens material kan skilja minst 15 % beroende på vilka material som används.

För att minska energi- och resursanvändningen är det därför viktigt att minska energianvändningen både för drift och för materialproduktion. Vidare har det stor betydelse att välja demonterbara konstruktioner och återvinningsbara material.

Genom återvinning kan stora energi- och resursbesparingar göras. Med materialåtervinning och förbränning med energiutvinning kan återvinningspotentialen bli minst 30-40 % av den totala energianvändningen för materialtillverkning och transport. Genom återbruk av vissa komponenter kan besparingen ökas och bli 40-50 %.

För att förbättra möjligheterna till en både ekonomisk och resursmässigt effektiv rivning och hantering av rivningsmaterial krävs att byggsektorn uppmärksammar frågan om demonterbara konstruktioner.

För att minska energi- och resursanvändningen, minska kostnaderna för bygg- och rivningsrester och öka återvinningspotentialen krävs att man

- utformar byggnader så att de får lågt energibehov för drift
- använder energi- och resurssnåla material
- använder demonterbara konstruktioner
- utvecklar fler demonterbara konstruktioner
- utvecklar alla konstruktioner med hänsyn till både arbetsmiljö och naturmiljö

6.2 Fortsatt arbete

Inledningsvis i projektet ställdes frågor om energi- och resursanvändningen i lågenergihus. Resultat från studien av Kv Seglet 1 och en tidigare studie av ett radhus ger tämligen entydiga svar för två helt olika byggsystem. Kv Seglet är ett punkthus med 12-våniningar, byggt med betongbjälklag och bärande väggar av betong. Radhuset har två våningar, bärande träregelväggar och trägjälklag.

De två studierna är båda av bostadshus. Ytterst få studier internationellt och inga studier i norden har gjorts på kontorsbyggnader. Vidare finns det idag ett starkt ökande intresse både för byggande med massivträ och byggande med stål. För att kunna generalisera resultaten både angående bostäder och kontor och angående materialval vore det därför av stort värde att också genomföra motsvarande studier av kontorsbyggnader och byggnader projekterade för massivträkonstruktioner och av byggnader projekterade för stålkonstruktioner.

Referenser

Adalbert K. (1997). Energy use during the life cycle of single-unit dwellings: examples. Building and Environment 1997;32:321–9.

Adalbert K. (2000). Energy use in four multi-family houses during thier life cycle. International Journal of Low Energy & Sustainable Buildings. 1999–2000; 1: (Electronical journal).

http://www.cc.kth.se/bim/leas/journal.htm

Elfor, Elkraft System, Energi E2, Elsam, Eltra. (2000). Livscyklusvurdering af dansk el og kraftvarme. Hovedrapport.

Frees, N., Pedersen, M.A. (1996). UMIP Enhedsprocesdatabase. Instituttet for produktudvikling (IPU), DTU, Milljøstyrelsen, Dansk Industri. Köpenhamn.

Feist, W. (1996). Life-cycle energy balances compared: Low-energy house, passive house, self-sufficient house. In Proceedings of the International Symposium of CIB W67, pp 183-190. Vienna, Austria, 1996.

Fossdal, S. Energi- og miljöregnskap for bygg. Prosjektrapport 173– 195. Norges byggforskningsinstitutt, Oslo, 1995.

Goedkoop, M. Et al. (2001). The Eco-indicator 99. A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment. Pre Consultants B.V. Amersfort, Holland.

Guinée, Jeroen B. (Ed.) (2002). Handbook on Life Cycle Assessment Operational Guide to the ISO Standards. Springer förlag. ISBN: 1-4020-0557-1.

Göteborg Energi. (2001). Certifierad miljövarudeklaration av fjärrvärme från Göteborg Energi AB.

Nemeth-Winther B. (1998). *Energibelastninger ved lavenergiboliger*. IBT-report, vol. 1: 1998. Doktors-avhandling. Institutt for bygningsteknologi, NTNU. Tronheim.

Nielsen P., et al. (1995). Energi- og miljöanalyser af bygninger. SBI-medelelse 108. Statens Byggeforskningsinstitut, Hørsholm, Danmark.

NordEl. (2006). Årsstatistik 2005. Föreningen för nordiskt elsamarbete.

Nätverket för Transporter och Miljön, NTM. http://www.ntm.a.se/index.asp

Röhm T. (1993) *Der Energieaufwand zur Herstellung des Energieautarken Solarhauses Freiburg. Institut für Chemische Verfahrenstechnik*. Universität Karlsruhe (TH), Karlsruhe, Germany.

Sheehan, J. et al. (1998). Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in an Urban Bus. Final Report. NREL/SR-580-24089 UC Category 1503. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Energy.

Steen, B. (1999). A systematic approach to environmental strategies in product development (EPS). Version 2000 – Aodels and data of the default methods. Centre for Environmental Assessment of Products and Material Systems. Chalmers University of Technology, Technical Environmental Planning, CPM report 1999:5.

Sydkraft. (2000). Livscykelanalys. Miljöpåverkan från Sydkrafts elproduktion 1999.

Thormark, C. (2002). A low Energy Building in a Lifecycle –Embodied energy, Energy Need for Operation and recycling potential. *International Journal of Building and Environment.* Vol 37, No. 4, pp. 429-435.

Thormark, C. (2006). The Effect of material choice on the Total Energy Need and Recycling Potential of a Building. *International Journal of Building and Environment.* Vol 41, No 8, pp 1019-1026

Vattenfall. (2003). Vattenfall AB:s Certifierad Miljövarudeklaration för el från Vattenfall AB:s svenska vindraftverk.

Vattenfall. (2004a). Vattenfall AB:s Certifierad Miljövarudeklaration av el från Ringhals kärnkraftverk.

Vattenfall. (2004b). Certifierade Miljövarudeklaration för avfallshantering/förbränning, fjärrvärme, ånga från Vattenfall Värme AB Uppsala, Block 5.

Vattenfall. (2005). Vattenfall AB Elproduktion Nordens Certifierade Miljövarudeklaration EPD för el från Vattenfalls vattenkraft i Norden.

Vattenfall. (2006). Vattenfall AB Nordens Certifierade Miljövarudeklaration EPD för el och fjärrvärme från kraftvärmeverket vid Vattenfall AB Värme Uppsala. S-P-00107, Mars 2006.

Vidén, S., Blomberg, I. (2002). PM Flerbostadshusens förnyelse – behov och förutsättningar2002/03. Underlag till Boverkets utredning "Bostadsbeståndets underhållsbehov"dnr 2011-1440/2002. BOOM-gruppen, Arkitekturskolan, KTH.

Wenzel, H. et al. (1997). Environmental Assessment of Products. Del 1. London: Chapman & Hall.

Bilaga A Energiproduktion

Tabell A.1 Energiresurser i nordisk el-mix beräknade från data i Tabell A2-A8.

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh levererad till kund*	*Mängd/kWh i resursberäkningen*
Brunkol	g	0,08	0,08*1,108
Kol	g	0,34	0,34*1,108
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	2,37	2,37*1,108
Olja	g	0,65	0,65*1,108
Uran	g	0,01	0,01*1,108
Biobränsle	g	2,02	2,02*1,108
El	kWh	0,108	

Tabell A.2 Nordisk el-mix 2004. Årstatistik 2005 från NordEl. (NordEl 2006)

Produktionskälla	*%*	*Datakälla*
Kärnkraft	25,0 %	EPD Vattenfall AB
Vattenkraft	49,2 %	EPD Vattenfall AB
Vindkraft	2,0 %	EPD Vattenfall AB
Kondenskraftverk	15,6 %	LCA av Sydkrafts elproduktion 1999
Gasturbiner	0,1 %	LCA av Sydkrafts elproduktion 1999
Biokraft	4,8 %	Ej inkluderade i miljövärderingen av använda energiresurser.
Avfall	0,8 %	
Kraftvärme industrin	2,1 %	
Geotermsik kraft	0,4 %	
Summa	100 %	

Tabell A.3 Vattenfalls vattenkraft i norden. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2005)

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Biobränsle, torrt	g	1,96E-02
Potentiell energi i vattnet	kWh	1,14E+00
Naturgas	g	70
Olja	g	54

Tabell A.4 **Kärnkraftverket i Ringhals. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2004a)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängs/kWh*
Brunkol	g	2,44E-01
Kol	g	5,88E-01
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	1,42E+00
Olja	g	3,48E-02
Uran	g	2,62E-02
Trä	g	4,14E-02
Vattenkraft	kWh	1,89E-03

Tabell A.5 **Vattenfalls svenska vindkraft. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Vattenfall 2003)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Brunkol	g	3,15E-01
Kol	g	2,56E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	2,84E-01
Olja	g	4,89E-01
Uran i malm	g	3,70E-05
Biobränsle torrsubstans	g	4,97E-02
vattenkraft	kWh	7,69E-04
Elförbrukning i vindkraftverken, köps från nätet när vindkraftverken står stilla	kWh	1,74E-03
Elförbrukning hos underleverantörer	kWh	5,81E-03

Tabell A.6 **Oljekondenskraft från Karlshamnsverket. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Sydkraft 2000).**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Kol	g	4,28E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	3,25E+00
Olja	g	1,16E+02
Uran	g	5,56E-03
Biomassa	g	3,31E+00
Vattenkraft	kWh	6,39E-01
Vindkraft	kWh	1,39E-03

Tabell A.7 **Uppsala kraftvärmeverk. Energiresurser per kWh el levererad till kund. (Vattenfall 2006)**

Energiresurser	*enhet*	*mängd/kWh*
Brunkol	g	0,398
Kol	g	3,66
Naturgas (0,81kg/Nm3)	g	6,96
Olja	g	11,9
Torv	g	266
Uran i malm	g	1,53E-03
Bio	g	4,94E+01
Potentiell energi i vattnet genom kraftverken	kWh	4,39E-02

Tabell A.8 **Sydkrafts gasturbiner. Energiresurser per kWh el levererad till stamnätet. (Sydkraft 2000)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Kol	g	1,61E+00
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	3,89E+00
Olja	g	9,97E+01
Uran	g	1,56E-03
Biomassa	g	1,06E+00
Vattenkraft	kWh	2,06E-01
Vindkraft	kWh	4,44E-04

Tabell A.9 **Använda värden för energiinnehåll i energibärare.**

Energiresurser	*Enhet*	*MJ/enhet*
Brunkol	kg	8
Kol	kg	20
Olja	kg	42,6
Naturgas	Nm3	35
Torv	kg	21
Uran	kg	560 000

Tabell A.10 **El från Danska kraftvärmeverk. Fossila energiresurser per kWh el levererad till kund. (Allokering mellan värme och el efter energikvalitet.) (Elfor et al 2000)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Brunkol	g	0,1
Kol	g	392
Naturgas	g	70

Tabell A.11 Bränsle i svensk fjärrvärrmeproduktion 2004. (Svensk Fjärrvärme 2006)

Energiresurser	%
Olja	7,7
Kol	6,3
Naturgas	6,0
Torv	6,0
Biobränsle	34,5
Tallbeck	2,0
Avfall	10,7
Spillvärme	10,2
Hetvatten	1,0
Övrigt bränsle	5,3
Värmepumpar	9,7
El	10,3

Tabell A.12 Uppsala kraftvärmeverk. Energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Vattenfall 2006)

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Brunkol	g	1,6E-01
Kol	g	1,45
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	2,75
Olja	g	4,90
Torv	g	105
Uran	g	6,04E-04

Tabell A.13 Göteborg Energi. Energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Göteborg Energi 2001)

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Kol	g	0,42
Naturgas (0,81 kg/Nm3)	g	27
Olja	g	5,6
Uran	g	3,8E-03
Tallbecksolja	g	2,3
Vattenkraft	kWh	7,1E-03

Tabell A.14 **Uppsala Värme. Energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till fjärrvärmenätet. (Vattenfall 2004b)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Trä, fuktigt	g	7,66E-09
Brunkol	g	4,83E-03
Kol	g	3,29E-02
Naturgas	g	1,93E-03
Olja	g	5,26E-03
Uran	g	5,21E-07
Biobränsle	g	3,71E-04

Tabell A.15 **Fjärrvärme i Danska kraftvärmeverk. Fossila energiresurser per kWh fjärrvärme levererad till kund. (Allokering mellan värme och el efter energikvalitet.) (Elfor et al 2000)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Brunkol	g	0,08
Kol	g	68,89
Olja	g	5,4
Naturgas	g	23,6

Tabell A.16 **Energiresurser för produktion av 1 MJ diesel för transport. (Sheehan 1998)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/MJ*
Oil	MJ	1,2

Tabell A.17 **Energiresurser för produktion av 1 MJ eldningsolja. (Frees 1996)**

Energiresurser	*Enhet*	*Mängd/kWh*
Kol	g	1,14E-02
Naturgas	Nm3	1,78E-03
Olja	g	24,03

Bilaga B Resultat

Tabell B.1 Energiresurser för köpt energi för materialproduktion av den samlade materialmängden i byggnaden.

Energiresurser	*Eenhet*	*Mängd/MJ*
Brunkol	g	4,10E-07
Kol	g	1,37E-05
Olja	g	4,33E-06
Naturgas	Nm3	2,02E-03
Træ, træstammer, 860kg/m3, 100 % vandindhold	m3	2,79E-06
Uran	g	7,09E-04
Brændbart, træ	g	2,55E-03
Brændbart, uspec.	g	7,07E-06

Tabell B.2 Resultat av miljövärdering av råvaruresurser för energiproduktion och råvaruresurser i material.

	EPS 2000 (ELU)	**CML 2 baseline 2000 (kg antimony eq.)**	**EcoIndicator 99 (H) (MJ surplus energy)**	**EDIP 97 (PE)**
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Original.	165	1,59	287	0,87
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Låg 1.	155	1,55	276	0,81
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Låg 2.	121	1,41	234	0,55
Råvaruresurser (materialresurs) 50 år. Hög.	173	1,63	298	0,94
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Original.	28,73	1,53	221,89	2,08E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Låg 1.	28,11	1,50	216,63	2,03E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Låg 2.	24,19	1,36	187,61	1,80E-3
Råvaruresurser (energiproduktion) för materialproduktion och transporter. Hög.	29,26	1,56	225,57	2,11E-3

Bilaga C Karakteriseringsfaktorer

Tabell C.1 Använda karakteriseringsfaktorer för värdering av abiotiska råvaror.

Råvara	EPS 2000 V2.1 (ELU/kg)	CML 2 baseline 2000 (kg antimony eq.)	EcoIndicator 99 Hierarchist (Suplus energy/kg)	EDIP 97 (PE/kg)
Bauxit, in ground	9,22E-02	2,10E-09	5,00E-01	1,50E-03
Copper ore	2,35E+00	2,20E-05	4,15E-01	2,10E-02
Iron ore, in ground	5,48E-01	4,80E-08	2,90E-02	8,50E-05
Zink ore, in ground	2,28E+00	3,95E-05	1,64E-01	3,60E-02
Nickel ore, in ground	1,60E+02	1,08E-04	3,56E-01	1,10E-01
Gas natural 35 MJ/Nm3 (Nm3)	7,86E-01	1,87E-02	5,25E+00	4,30E-05
Coal, brown (8-10MJ/kg)	4,98E-02	6,71E-03	1,55E-01	1,00E-05
Coal, (18-24MJ/kg)	4,98E-02	1,34E-02	1,55E-01	1,00E-05
Oil (42 MJ/kg)	5,06E-01	2,01E-02	6,04E+00	3,90E-05
Uranium	1,19E+03	2,87E-03		
Peat in ground	1,99E-01			

LUNDS UNIVERSITET

Avdelningen för Byggnadsekonomi, Box 118, John Ericssons väg 1, 221 00 Lund
Telefon 046-222 74 21. Telefax 046-222 44 14