

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 39 1996

Det genanvendte hus - renere teknologi

Bilagsrapport 5
Energianalyse af produktionen

Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Nr. 39 1996

Det genanvendte hus - renere teknologi

Bilagsrapport 5

Energianalyse af produktionen

COWI

Danmarks Tekniske Universitet.

Laboratoriet for Bygningsmaterialer

samt Institut for Anlægsteknik

Rapporten er udarbejdet med tilskud fra Rådet vedr.
genanvendelse og mindre forurenende teknologi.

Det skal bemærkes, at de fremsatte synspunkter ikke
nødvendigvis dækkes af Rådet eller Miljøstyrelsen.

FORORD

Denne bilagsrapport er en del af det renere teknologi-projekt, der har som formål at miljøvurdere demonstrationsprojektet "Det Genanvendte Hus". I rapporten analyseres det forventede bruttoenergiforbrug ved husets opførelse.

Renere teknologi-vurderingen foretages af COWiconsult Rådgivende Ingeniører A/S sammen med Laboratoriet for Bygningsmaterialer og Institutet for Anlægsteknik, DTH, med cand.techn.soc. Ole Stilling, COWiconsult som projektleder. Vurderingens aktiviteter er beskrevet i COWI's aktivitetsbeskrivelse" (31/7-1991 og rev. 1/6-1992). Nærværende rapport omhandler aktivitet 9 i 1. fase: *"Identifikation af særligt energikrævende forhold i forbindelse med såvel produktion som anvendelse og bortskaffelse af materialer til GA-hus og sammenligningsnormen"*.

Dataindsamlingen og det første udkast til rapporten er udført af civ.ing Lillian Rasch i perioden april-maj 1993. Rapporten er revideret, gennemarbejdet og sat på sin endelige form i november-februar 1993/94 af civ.ing, Ph.D.-stud. Ebbe Holleris Petersen og undertegnede.

Projektet har desuden været fulgt af adjunkt Niels-Arne Jensen, Institutet for Anlægsteknik.

Lyngby, November 1994

Anders Nielsen
Docent, Instituttleder

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	3
1.1	Verdens energiforbrug	3
1.2	Miljøeffekter fra energiforbrug	3
1.3	Energiressourcer	5
1.4	Formål	6
2	Afgrænsning og forudsætninger	7
2.1	Analyseniveau	7
2.2	Luftemissionsbidrag	8
2.3	Energiforbrugende processer i en bygnings livsforløb	12
2.4	Spild	14
2.5	Materialernes livscyklus	14
2.6	Dataindsamling	16
3	Energianalyse af bygningselementer	17
3.1	Tegl	17
3.2	Beton	27
3.3	Stål	28
3.4	Genanvendelse af vinduer	29
3.5	Gipsplader	30
3.6	Træ	31
3.7	Letbeton (porebeton)	32
4	Sammenfatning og konklusioner	35
5	Referencer	41

1 Indledning

1.1 Verdens energiforbrug

Siden år 1900 er verdens befolkning steget fra 1,6 mia. til 5 mia. mennesker. Fortsætter denne vækst, vil verdens befolkning inden midten af næste århundrede overstige 10 mia. mennesker. Verdens samlede energiforbrug er siden år 1900 steget fra 20.000 PJ pr. år til 340.000 PJ pr. år, dvs. med en faktor 17, mens gennemsnitsforbruget pr. indbygger er steget med en faktor 5. Af verdens samlede energiforbrug anvendes de 80% af en femtedel af menneskeheden. Hvis alle menneskers energiforbrug skulle bringes op på de industrialiserede landes nuværende niveau, ville det kræve omkring en 4-dobling af verdens samlede energiforbrug.

1.2 Miljøeffekter fra energiforbrug

Den største del af energisektorens påvirkninger af miljøet er en direkte eller indirekte følge af anvendelsen af forskellige brændsler. Påvirkningerne kan komme fra hele brændselskæden: Udvinning af råstoffet, behandling og transport, selve afbrændingen/energiomdannelsen samt efterbehandling, transport og deponering af eventuelle restprodukter fra afbrændingen. Den væsentligste påvirkning af miljøet er luftforureningen fra brændselskæden, især fra forbrændingsprocessen. De forskellige stoffer, der udledes ved forbrænding, påvirker både det lokale, regionale og det globale miljø.

Emission af miljømæssigt problematiske stoffer til atmosfæren i forbindelse med afbrænding af fossilt brændsel omfatter mange forskellige gasser samt partikler, primært SO_2 , CO_2 og NO_x (kvælstofiller). Derudover dannes der i et mindre omfang f.eks. H_xC_x (kulbrinter), blyforbindelser, dioxinforbindelser og sodpartikler.

I det følgende er det primært de energirelaterede miljøbelastninger som følge af forureningen af atmosfæren med SO_2 , CO_2 og NO_x , der behandles.

SO_2 (svovldioxid) medfører *forsuring* af jord og vand og kan resultere i skovdød, døde søer og vandløb. Desuden kan det skade afgrøder og livet i de ferske vande. Bygningsmaterialer bliver eroderet af den sure nedbør. Tillige påvirkes menneskers luftveje af SO_2 , der kan give forskellige luftvejssygdomme /4/.

CO_2 (kuldioxid) er en drivhusgas. Øvrige drivhusgasser er CFC-gasser, haloner, metan, lattergas, ozon og vanddamp. De fleste af disse er også mere eller mindre knyttet til forskellige energianvendelser.

Koncentrationen af kuldioxid i atmosfæren er idag 30% over niveauet for 150 år siden /3/.

Danmark er blandt de lande i verden, der udleder mest kuldioxid pr. indbygger, fordi vort energiforbrug er højt, og fordi fossile brændsler og især kul udgør en høj andel af det danske bruttoenergiforbrug. Dannelsen af kuldioxid er stort set bestemt af brændslets indhold af kulstof. Stenkul giver de største kuldioxidudledninger, fordi det består af ca. 2/3 kulstof og 1/3 kulbrinter. Naturgas er den reneste brændsel blandt de fossile brændsler.

Det er i praksis umuligt, eller i hvert fald meget bekosteligt, at tilbageholde den kuldioxid, som dannes ved afbrænding af et givet brændsel. Kuldioxidudledningen kan derfor i praksis kun begrænses ved at reducere selve brændselsforbruget, eller ved at skifte til en energikilde med mindre eller ingen kulstofudledning pr. energienhed.

NO_x (kvælstofoxider) NO₂ indgår i kemisk forbindelse med vand til *salpetersyre*, som har ækvivalente skadevirkninger som den *sure nedbør* fra SO₂. Desuden kan det i vand virke som gødning og medvirke til *iltsvind*. NO_x sammen med emission af kulbrinter medvirker til øget dannelse af ozon i stratosfæren. Disse stoffer bidrager også til dannelse af fotokemisk *smog*. Lattergas (N₂O) er en *drivhusgas*, som medvirker til ødelæggelse af *ozonlaget* /4/.

Udledningerne af såvel kuldioxid som svovl- og kvælstofoxider er stort set steget i takt med energiforbruget.

Udledningerne af svovl- og kvælstofoxider kan begrænses ved forskellige rensningsforanstaltninger. Således er der de senere år opført afsvovlningsanlæg på nye kraftværksblokke, og der er planlagt rensningsanlæg for kvælstofoxider på nogle af kraftværkerne /3/.

Tabel 1 viser de samlede emissioner af SO₂, CO₂ og NO_x fra energiproduktionen i Danmark i årene 1975-1990.

Emissionerne er beregnet på grundlag af faktisk energiforbrug, excl. nettoimport af el. De relativt lave emissioner i 1989 og 1990 skyldes primært usædvanlig stor nettoimport af el, hvorfor den hjemlige elproduktion var tilsvarende formindsket.

Årstal	Emission af SO ₂ (1000 tons)	Emission af CO ₂ (mio. tons)	Emission af NO _x (1000 tons)
1975	420	53	200
1976	449	59	221
1977	464	61	232
1978	435	61	242
1979	456	64	255
1980	449	64	273
1981	364	54	237
1982	369	56	261
1983	313	54	255
1984	296	55	267
1985	341	63	299
1986	279	64	311
1987	252	63	306
1988	244	59	293
1989	193	53	271
1990	181	55	284

*Tabel 1: Emissioner af SO₂, CO₂ og NO_x fra energiproduktionen i Danmark i årene 1975-1990. Data for emissioner stammer fra kil-
derne [3], [4] og [5].*

1.3 Energiressourcer

De fossile brændsler dækker idag omkring 90% af verdens energiforsyning. De resterende 10% af energiforbruget dækkes hovedsageligt af vandkraft, A-kraft og biomasse [3].

Fossile brændsler (f.eks. kul, olie og naturgas) er dannet ved aflejringer i jordens indre i løbet af millioner af år. Fossile brændsler betegnes derfor som ikke-fornyelige energiressourcer, da de ikke genskabes i en for menneskeracen relevant tidshorisont.

Det er svært at lave en præcis opgørelse over energilagrenes størrelse, men Brundtland-kommissionen nævner i sin rapport, at mange forudsigelser om oliereserver og ressourcer som lader sig udvinde, tyder på, at olieproduktionen vil flade ud omkring de første årtier i det kommende århundrede, og derefter falde gradvist. Gasforsyningerne skulle kunne vare over 200 år, og kullene omkring 3000 år ved det nuværende forbrugsniveau.

I Energiministeriets handlingsplan for en bæredygtig udvikling "Energi 2000" fra 1990 /3/, vurderes det, at de samlede udvindelige forekomster af kul, olie og naturgas, vil kunne dække verdens forbrug i henholdsvis 1000, 100 og 150 år. Det forudsætter dog, at forbruget holdes på det nuværende niveau. En yderligere stigning i forbruget vil, selv om den er relativ beskeden, f.eks. 2% pr. år, formindske ressourcevarigheden til henholdsvis 150, 55 og 70 år. Og såfremt udviklingen i verdens befolkningstal og energiforbrug forsætter som hidtil, kan stigningstakten let blive større end de nævnte 2% pr. år. Ressourcehensyn og de globale miljøproblemer kræver, at man forsøger at forhindre sådanne stigningstakter i fremtiden, ved at nedsætte energiforbruget.

Danmark har allerede nået store resultater. Det samlede energiforbrug var i 1986 af samme størrelse som i 1972, selvom bruttonationalproduktet steg med 30%, og det opvarmede etageareal blev forøget med 33% /9/. Til rumopvarmning bruges idag, pr. kvadratmeter, kun omkring halvdelen af den energimængde, som blev brugt i starten af 1970'erne. Til gengæld er elforbruget fordoblet fra 1970 til 1986, mens transportsektoren har øget sit brændselsforbrug med knap 30% i samme periode. Den sidstnævnte stigning skyldes især, at der bruges mere diesel til godstransport.

1.4 Formål

Formålet med dette projekt er at vurdere de ressource- og miljømæssige gevinster i "Det Genanvendte Hus" i forhold til et konventionelt hus med samme udformning, "Sammenligningsnormen".

Udgangspunktet for undersøgelsen er en oversigt over anvendte materialer i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen, som beskrevet i /1/.

Rapporten er baseret på de beslutninger og materialvalg, som var truffet i foråret 1993. Man skal være opmærksom på, at en række af disse beslutninger kan være ændret siden hen. Dette vil der være taget højde for i dette projekts hovedrapport, hvor hovedrapportens udsagn er gældende i de tilfælde, hvor der måtte være divergerende oplysninger mellem denne bilagsrapport og hovedrapporten.

2. Afgrænsning og forudsætninger

Inden for byggesektoren har energiberegninger hidtil næsten udelukkende omfattet bygningers driftsenergiforbrug, hvorimod energiforbruget ved bl.a. fremstilling og nedrivning af bygninger samt genanvendelse af byggematerialer, er sparsomt og mangelfuldt beskrevet.

En forudsætning for at kunne opstille krav eller retningslinier til bygningers miljøvenlighed og at kunne prioritere kravene rigtigt er, at der findes beregningsmetoder og data til analyse af alle bygningens bestanddele i hele dens levetid. Ellers vil der kunne forekomme fejlpositioner, hvor man f.eks. for at opnå et lavt energiforbrug til opvarmning vælger byggematerialer med et meget stort fremstillings-energiforbrug, som ikke kan "tjenes ind" ved det lavere opvarmningsforbrug. Omvendt kan det være en god idé at vælge byggematerialer med et relativt stort fremstillings-energiforbrug, hvis de til gengæld holder meget længe uden nogen energikrævende vedligeholdelse.

Energianalyse kan defineres som en beregning af det totale energiforbrug til produktion af et givet objekt inden for et givet analyseområde, afgrænset med hensyn til energiproduktion, objektproduktion, geografisk udstrækning og tid. Objektet kan være en bygningsdel, et hus eller en løbende fastholdelse af f.eks. husets tilstand.

En bolig opført efter BR 66 vil typisk have et samlet livstids-energiforbrug på ca. 13-14.000 kWh/m² over 50 år. En lavenergibygning vil til sammenligning typisk have et energiforbrug på omkring 5-6.000 kWh/m². Den væsentligste forskel på de to bygninger er isoleringstykkelsen. Det er driftsenergiforbruget der er gået ned, medens forbruget til anlæg og fjernelse er næsten det samme /2/. Energiforbruget til anlægsfasen vil udgøre en større og større andel af det totale energiforbrug efterhånden som driftsenergiforbruget bliver mindre. Dette er en god grund til at se på det samlede energiforbrug, fremfor som tidligere, kun på energiforbruget i driftsfasen. Den foreliggende rapport omhandler kun anlægsfasen. Driftsfasen er udsat ens, i de to huse.

I det følgende gennemgås de forudsætninger og afgrænsninger, som rapporten er baseret på.

2.1 Analyseniveau

The International Federation of Institutes of Advanced Study (IFIAS) /24/, udarbejdede i 1974 nogle retningslinier for at lette sammenligningen af energianalyser. Der gives i /24/ forslag til fire forskellige niveauer for energianalyser med angivelse af hvilke energiforbrug man skal medregne i analyserne.

På analyseniveau 1 vælges grænserne således, at kun det direkte (primære) energiforbrug til produktionen medtages, dvs. brændsel, elektrisk energi -

men ikke energiforbruget i de forudgående processer og ej heller energiforbrug i forbindelse med energiens omdannelse til den anvendte form.

På analyseniveau 2 udvides grænserne så også energikonvertering og transport af energi medtages. Samtidig medregnes det direkte energiforbrug til fremstilling af råmaterialer.

På analyseniveau 3 er yderligere medregnet det energiforbrug, der er forbundet med fremstilling af systemets produktionsapparat.

Endelig er der med det 4. analyseniveau taget alle mulige faktorer i betragtning, som resulterer i energiforbrug, og som kan relateres til den analyserede produktion.

Ifølge /5/ omfatter energianalyser på niveau 2 90-95% af det totale energiforbrug, hvilket her vurderes at være tilstrækkeligt.

Analysen af Det Genanvendte Hus udføres på niveau 2.

2.2 Luftemissionsbidrag

Idag foregår 95% af *elproduktionen* på centrale, kulfyrede kraft- og kraftvarmeværker. Kullene males til kulstøv og afbrændes i kedler, hvor vand opvarmes til damp som udnyttes i dampturbiner. Ved forbrænding af kullene dannes især SO₂, CO₂, NO_x og flyveaske.

På de fleste kraftværker er monteret filtre til fraseparering af flyveaske, og på enkelte værker er etableret afsvovlingsanlæg. Det planlægges endvidere at etablere anlæg til reduktion af NO_x-emissionerne på de enkelte værker.

Der bruges energi til rensningen, i størrelsesordenen 1-10% af elproduktionen afhængig af anlægstype og emissionskrav /6/.

Tabel 2 angiver emissioner til luft for dampturbineteknologien, som er den teknologi, der oftest anvendes i traditionel elproduktion.

Elproduktion Forbrændingsteknologi	Virkningsgrad	Emissioner		
		SO ₂ g/MJ	CO ₂ g/MJ	NO _x g/MJ
Kulkraftværk	55%	0,6	100	0,2

Tabel 2: Luftemissioner for dampturbineteknologiske anlæg /5/.

Forskellige industrielle processer (f.eks. smeltning og tørring) kræver *opvarmning*, og denne varme frembringes ved afbrænding af brændsler. Den mest udbredte opvarmningsform er fyring med enten olie eller naturgas. Tabel 3 viser emissioner i forbindelse med opvarmning.

Varmeproduktion Forbrændingsteknologi	Virkningsgrad	Emissioner		
		SO ₂ g/MJ	CO ₂ g/MJ	NO _x g/MJ
Naturgas	95%	0	57	0,1
Olie	90%	0,1	74	0,1
Kulkraftvarme	90%	0,6	100	0,2

Tabel 3: Virkningsgrader og emissioner for fyring med naturgas, olie (fuelolie) og kul /5/.

Transport af materialer i den danske bygge- og anlægsbranche foregår i overvejende grad ved hjælp af dieseldrevne skibe, tog og lastbiler. Det samlede nationale godstransportarbejde i Danmark var i 1988 på ca. 13 mia. ton km, hvoraf knap 80% blev udført med vare-/lastbil, ca. 7% med bane og ca. 14% med skib. Langt den overvejende del af godstransportarbejdet ad landevej udføres på forholdsvis korte transportlængder, hvor der reelt ikke er mulighed for at anvende transportmåder som f.eks. bane. 45% af lastbilernes godstransportarbejde blev således udført på ture under 100 km, og kun 18% af lastbilernes transportarbejde udførtes på ture over 200 km /25/.

Emissioner af SO₂, CO₂ og NO_x for *togtransport* er vist i tabel 4. Energiforbruget pr. ton gods er 0,32 MJ/ton·km /7/.

Godstogstransport	Emissioner		
	SO ₂ g/ton km	CO ₂ g/ton km	NO _x g/ton km
Brændsel: Dieselolie	0,013	11,0	0,33

Tabel 4: Emissionsværdier for godstransport på tog, opgjort i gram/ton·km (brutto) /7/.

Emissioner af HC (kulbrinter), CO og NO_x for vejtransport med dieseldrevne lastbiler ved forskellige rejseshastigheder fremgår af tabel 5.

Rejseshastighed km/t	Emissioner		
	HC g/km	CO g/km	NO _x g/km
20	0,7	3,6	15
30	0,6	2,8	12
40	0,4	2,3	11
50	0,4	2,0	9,8
60	0,3	1,7	9,1
70	0,3	1,5	8,8
80	0,3	1,4	8,8
90	0,3	1,3	9,1
100	0,2	1,3	9,4

Tabel 5: Emissionsværdier for lastbiltransport (dieseldreven) ved forskellige hastigheder /8/.

For godstransport med dieseldreven lastbil vil der i det følgende blive benyttet emissionsværdier svarende til en transporthastighed på 70 km/t.

Ifølge Hans Bendtsen, Vejdatalaboratoriet, er emissionen af SO₂ ved biltransport så begrænset, at man har valgt ikke at måle den /8/.

I /5/ er SO₂-emissionen fra dieseldrevne biler gjort op til 0,09 g/MJ, hvilket er benyttet i det følgende.

Emissionen af CO₂ er stort set direkte proportional med energiforbruget (og afhænger ikke af hastigheden) og udgør, ifølge /8/, 74 g/MJ for dieselsbrændstof. Tabel 6 giver en sammenhæng imellem køretøjets vægt og dets energiforbrug.

Transportmiddel	Vægt ton	Energiforbrug v. 70 km/t MJ/km
Personbil	0-2	1,7
Varebil	2-3,5	2,7
Lastbil	< 20	6,9
Sættevogn	> 20	15

Tabel 6: Energiforbrug pr. km for forskellige typer dieseldrevne køretøjer /8/.

Energiforbruget pr. ton tomt køretøj vurderes ud fra tabel 6 til: 0,85 MJ/ton·km. Antages det at der per ton egenvægt kan transporteres et ton nyttelast, fås et energiforbrug til transport af et ton gods på: 1,7 MJ/ton·km. Ud fra tabel 5 beregnes herefter de emissionsværdier, som er anvendt i det følgende (tabel 7).

Transport	Emissioner		
	SO ₂ g/ton km	CO ₂ g/ton km	NO _x g/ton km
Lastbil			
Brændsel: Dieselolie	0,2	125,8	15

Tabel 7: Emissioner af SO₂, CO₂ og NO_x for lastbil transport.

Skibstransporter, undtaget færgetransporter, er normalt mere miljøvenlige og energibesparende end både lastbil- og jernbanetransporter ved transport af store godsmængder over længere afstande.

Det har ikke været muligt at få oplyst energiforbruget ved fragt af gods med skib hos DSB (Peter Poulsen/Maskin teknisk afdeling - DSB 27. maj 1993). P.P. henviser til "Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling" /25/.

Transporthandlingsplanen anfører ikke nogen eksakt værdi for energiforbruget, men giver følgende oplysninger om energiforbruget ved transport af 1.500 tons gods for 3 forskellige transportformer:

Århus - Marseilles:

Lastbiltransport 4.100 GJ

Jernbanetransport 2.700 GJ

Skibstransport 3.650 GJ

Toget skal tilbagelægge ca. 2.000 km, og ifølge /25/ skal skibet tilbagelægge en ca. dobbelt så lang strækning. Såfremt skibet altså fragter 1.500 tons gods 4.000 km og dertil forbruger 3.650 GJ, har energiforbruget pr. ton km været ca. **0,6 MJ/ton·km.**

Tilsvarende ville energiforbruget ved jernbanetransporten ud fra de ovenstående tal være ca. 0,9 MJ/ton·km - altså ca. 3 gange så meget som de af DSB oplyste, og her anvendte 0,32 MJ/ton·km

Det har ikke været muligt at få oplysninger om emissioner ved skibstransport.

Andet dieselforbrug ved bygge- og anlægsarbejder, sker i gravemaskiner, gummihjulslæssere og andre maskiner. Energiforbruget opgives oftest i forbrugt mængde dieselolie eller evt. direkte i MJ, jf. tabel 8.

Div. maskiner til byggepladsoperationer	Emissioner		
	SO ₂ g/MJ	CO ₂ g/MJ	NO _x g/MJ
Brændsel: Diesellole	0,09	74	0,52

Tabel 8: Emissioner af SO₂, CO₂ og NO_x ved andet dieselforbrug, opgjort i gram emission pr. MJ forbrugt brændsel [5].

2.3 Energiforbrugende processer i en bygnings livsforløb

Det totale energiforbrug til fremstilling og drift af en bolig består af en lang række energiforbrug til fremstilling af byggevarer samt aktiviteterne på byggepladsen.

I denne analyse er der kun medtaget energiforbruget til råstofindvindingen og fremstillingen af byggevarer, idet det forudsættes at energiforbrugene til opførelse, drift og vedligehold samt nedrivningen af Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen vil være lig hinanden.

De to faser: Råstofindvindingen og forarbejdningen til såvel primære som sekundære råmaterialer samt produktion af byggevarer, omfatter en lang række delprocesser, såsom udvinding af råstoffer, produktion af materialer, produktion af halvfabrikata, transport mv. inden den færdige byggevarer kan anvendes.

I denne analyse er der ikke dykket ned i de enkelte produktionsprocessers energiforbrug, men søgt et "færdigt" tal for de enkelte byggevarer, sammenstykket af energiforbrugene til byggevarerne og ikke til produktionsprocesserne.

Det direkte *energiforbrug under produktionen* er summen af energi til maskiner og til interne transportsystemer. Der er desuden et energiforbrug til belysning, opvarmning og ventilation af produktionslokaler, samt drift af kantine og administration.

Mange af de ovennævnte størrelser vil ved en energivurdering af alternative materialer i en konstruktionssituation være nøjagtig lige store, hvorfor de er uinteressante i denne sammenhæng. De størrelser, som evt. skal med i energiregnestykket, er relaterede til den involverede maskinpark eller det involverede procesudstyr.

Energiforbruget under distribution er direkte afhængigt af godsets vægt, volumen, form og transportafstanden.

I bygge- og anlægssektoren og de tilknyttede industrier foregår transporten i overvejende grad ved hjælp af lastbiler, jernbane og/eller skibe.

Ifølge /12/ udgør transportenergiforbruget sjældent mere end ca. 10% af det samlede energiforbrug til fremstilling af materialer.

Ved fastsættelse af transportafstande defineres Sammenligningsnormens beliggenhed som den samme som Det Genanvendte Hus⁷, dvs. at transportafstande ikke får nogen indflydelse på analysen.

Ud over afgrænsningen af analyseobjektets produktion er *den tidsmæssige afgrænsning* også væsentlig. En energianalyse af f.eks. to byggematerialer med levetiderne 20 år henholdsvis 40 år vil falde meget forskelligt ud, afhængigt af om analysen korrigerer for de forskellige levetider eller ej.

Det er imidlertid ikke muligt at bestemme levetiden af det enkelte materiale uden at se på konstruktionen, som materialet indgår i. Konstruktionens opbygning bestemmer først og fremmest, hvor store, ødelæggende belastninger materialet kommer ud for. En anden faktor, der er bestemmende for levetiden, er vedligeholdelsen af konstruktionen.

I denne analyse er det forudsat at de enkelte byggematerialer og bygningsdele i Det Genanvendte Hus har samme levetid og samme krav til vedligeholdelse som de tilsvarende byggematerialer og bygningsdele i Sammenligningsnormen.

Ikke alle *energiformer* er kvalitativt lige gode, hverken ud fra et produktionssynspunkt eller ud fra et miljøsynspunkt. Elektrisk energi kan omdannes til varme med en udnyttelse på op imod 100%; modsat kan der, med de processer der kendes idag, kun udvikles elektricitet af varme med en udnyttelse på ca. 35%.

Hvert energiforvandlingstrin, energikonvertering, er behæftet med et tab af energi. Derfor er det nødvendigt, ved beregning af energiforbrugene, at tage højde for *omdannelsesvirkningsgraderne* for fremstilling af de forskellige energiformer. Det er ligeledes nødvendigt at indregne de forskellige virkningsgrader for bearbejdningsprocesser, pumper, motorer etc.

Ved beregning af brændselsforbruget tages hensyn til energiforbruget ved udvindingen af brændslet. Dette forbrug lægges til det direkte brændselsforbrug.

Energiforbrugene bør omregnes til primær energi, hvilket er gjort i det følgende ved at tage højde for omdannelsesvirkningsgraderne.

En vurdering af de effekter, det pågældende energiforbrug har på miljøet forudsætter kendskab til brændsel, fyringsteknologi samt distributionsform ved energiproduktionen.

2.4 Spild

Betragtes det nedbrudte genanvendelsesmateriale som en resurce, vil vi med spild forstå den del af materialet, som ikke anvendes til det opstillede formål. Spild på byggepladsen har stor indflydelse på energiforbruget. Beregningsmæssigt indgår det i byggevaremængderne.

I forbindelse med såvel den grove skrotbehandling på byggetomten som oparbejdningen af skrot til genanvendelse skal der foretages visse arbejder, f.eks. adskillelse, frasortering, transport og oplagring.

Der vil være et spild flere steder i forløbet fra bygningens nedrivning, til skrottet kan indgå som genanvendt materiale i en ny bygning.

1) Nettoskrotmængden afhænger af materialekvalitet og konstruktive forhold mm. i den bygning som skal rives ned. Selv om der foretages selektiv nedrivning, og materialerne i princippet er velegnede til genanvendelse, er det ikke sikkert, at det rent faktisk kan lade sig gøre. Skrotmængden kan være reduceret på grund af materialesammensætningen (f.eks. anvendelse af stærk mørtel i svagere sten), materialernes alder og kvalitet, konstruktive hindringer (f.eks. indbygningen af installationer) mv. Nettoskrotmængden kan være betydelig mindre end den oprindelige mængde.

2) Der er yderligere et vist spild på nedrivningspladsen. Selv om skrottet er omhyggeligt udvalgt, vil der i praksis være spild i forbindelse med de processer der foregår ved adskillelse og transport af skrottet. Det skyldes først og fremmest u hensigtsmæssige adskillelsmetoder. Dette spild indregnes som en supplerende omkostning ved skrotbehandlingen.

3) Endelig er der et spild i forbindelse med oparbejdningen af genanvendelsesmaterialer. Skrottets kvalitet svarer normalt ikke til nye råvarer. Der vil derfor ofte være et større spild i produktionen, som skyldes frasortering af fejlbehæftede slutprodukter, når der anvendes sekundære råvarer.

Denne analyse omfatter ikke nogen opgørelse over spild i forbindelse med oparbejdning af materialer til Det Genanvendte Hus bhv. fremstilling af byggematerialer/varer til Sammenligningsnormen ud fra primære råvarer.

Da spildet ved brug af genanvendte materialer må forventes at være større end ved tilsvarende brug af nye materialer vil ovennævnte begrænsning af energianalysen betyde at energiforbruget ved genanvendelse af materialer i nogen grad undervurderes.

2.5 Materialernes livscyklus

Udgangspunktet for Det Genanvendte Hus er en nedrivning (selektiv) af en eller flere bygninger, hvorimod udgangspunktet for Sammenligningsnor-

men er primære råvarer. Materialerne til de to huse er altså i hver sin fase i livscyklus:

Livscyklus for materialer til Sammenligningsnormen:

- Råstofindvinding og forarbejdning til primære råmaterialer
- Produktion af byggeelementer
- Opførelse af bygning
- Drift og vedligehold
- Nedrivning og affaldsbortskaffelse

Livscyklus for materialer til Det Genanvendte Hus:

- Fremskaffelse og forarbejdning af sekundære råmaterialer
- Produktion af byggeelementer
- Opførelse af bygning
- Drift og vedligehold
- Nedrivning og affaldsbortskaffelse

Det var oprindelig tanken i dette projekt, at sammenligne alle faserne i materialernes livscyklus ud fra den antagelse at bortskaffelsesfasen ville være meget forskellig for de to huse. Hertil skulle der defineres en Sammenligningsnorm med henblik på hvor meget materiale der ville blive deponeret, afbrændt, genanvendt etc. samt foretages en sammenligning af energiforbruget ved selektiv og traditionel nedrivning:

De to nedrivnings "teknikker": Selektiv- og traditionel nedrivning er beskrevet i SBI-anvisning 171: "Nedrivning af bygninger og anlægskonstruktioner" og de energi- og miljømæssige forhold ved de to nedrivnings metoder er behandlet i /18/, hvori følgende bemærkes:

På energisiden viser de to nedrivningseksempler (hhv. selektiv- og traditionel nedrivning), at forbruget i selve nedrivningsprocessen ikke er væsentligt forskellig. Der sker en omlægning af energiforbruget fra selve nedrivningsprocessen til mere sorteringsprægede operationer, herunder mere manuelle operationer med håndværktøj som kun kræver et lille energiforbrug. Derimod er der sket en væsentlig reduktion i energiforbruget til transport og deponering. Dette skyldes især den mindre transportafstand, der normalt er til oparbejdningsanlæg i forhold til lossepladser.

Energiforbruget til manuelt arbejde medtages ikke i denne analyse, ligesom den sparede energi til deponeringstransport heller ikke indgår.

Med indførelsen af kommunernes affaldsregulativer er det blevet overflødig at skelne imellem selektiv og traditionel nedrivning, idet disse regulativer (der stadig må betragtes som under indkøring) omfatter bestemmelser om håndtering af bygge- og anlægsaffald, således at genanvendelse/selektiv nedrivning finder sted i væsentlig grad.

2.6 Dataindsamling

Det har været målet at fremskaffe så nye værdier for energiforbrugene som muligt. Det har dog vist sig vanskeligt at fremskaffe oplysninger herom for visse materialer, hvilket skyldes fabrikanternes hemmeligholdelse af oplysningerne. I disse tilfælde er der anvendt tal for energiforbrugene stammende fra S. Andersens opgørelse fra 1979 /11/. Disse tal er brugt, fordi de er de eneste foreliggende. Aktuelle tal for energiforbrugene vil formodentlig generelt ligge lavere.

Hvor S. Andersens tal er benyttet, er der i hvert enkelt tilfælde gjort forsøg på at vurdere og eventuelt korrigere disse, så de forventes at svare bedst muligt til den aktuelle situation.

3. Energianalyse af bygningselementer

3.1 Tegl

Følgende teglprodukter skal benyttes til hhv. Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen.

Mursten: Teglstenene til Det Genanvendte Hus skal være rensede, frostfaste facadesten med en trykstyrke svarende til stenklasse 22. Stenene skal stamme fra en selektiv nedrivning af et normalt murstensbyggeri. Stenene skal endvidere stamme fra facademurværket og må ikke have tegn på skader og skal være frasorteret inden væltning af vægfelter /14/.

Til Sammenligningsnormen anvendes nye facadesten af tilsvarende kvalitet.

Tagsten: Ifølge referatet af det 11. følgegruppemøde (16.12.1992 hos FSB) er det blevet besluttet at anvende genanvendte vingeteglsten i stedet for genanvendte skifre, som oprindeligt planlagt til Det Genanvendte Hus.

Tagarealet på Det Genanvendte Hus er 295 m² /1/. Ifølge /15/ anvendes der 14 stk. vingetagsten pr. m², dvs. at der må forventes at skulle anvendes ca. 4200 stk. tagsten (inkl. spild) til Det Genanvendte Hus. Til Sammenligningsnormen anvendes nye tagsten af tilsvarende kvalitet.

Knust tegl: Til Det Genanvendte Hus skal der anvendes nedknust tegl (evt. sammen med nedknust beton) til: Det kapillarbrydende lag, tilfyldningen omkring kælder og betontilslag i fundamentet, vægelementerne og de udstøbte fuger.

Tilsvarende anvendes der til Sammenligningsnormen lecanødder, sand- og grusfyld samt betontilslag af primære råvarer.

3.1.1 Produktion af nye mursten og tagsten, Processer og energiforbrug

Procesbeskrivelse:

Produktion af teglprodukter kan opdeles i følgende processer:

- Udvinding af leret
- Bearbejdning
- Formning
- Tørring
- Brænding
- Sortering

Teglfremstillingen begynder med *udgravningen* af leret, hvorefter det transporteres til teglværket med lastbil.

Funktion	Materiale (GH)	Mængde (GH)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Tilfyldning	Nedknust tegl og beton	80 m ³ 145 t	Sand- og grusfyld	80 m ³ 145 t
Kapillarbrydende lag	Nedknust tegl 16/32	32 m ³ 45 t	Lecanødder 10/20	24 m ³ 7.2 t
Fundamenter Betontilslag	Nedknust tegl Vand	130 m ³ 230 t 39 m ³ 39 t	Sten tilslag Vand	140 m ³ 300 t 47 m ³ 47 t
Undermuring, gavlfundament	Genanvendt tegl	2.700 stk 6,48 t	Nye teglsten	2.700 stk 6,48 t
Vægelementer, betontilslag	Nedknust tegl Vand	96 m ³ 173 t 29 m ³ 29 t	Sten tilslag Vand	104 m ³ 228 t 35 m ³ 35 t
Udstøbning, fuger, betontilslag	Nedknust tegl	12 m ³ 22 t	Sten tilslag	13 m ³ 29 t
Skalmur facade	Genanvendte teglsten, facade	48.000 stk 117 t	Nye teglsten, facade	48.000 stk 117 t
Indvendige skillevægge	Genanvendte teglsten, indermur	18.900 stk 46,1 t	Nye teglsten Letbeton	3.500 stk 8,5 t 22,5 m ³ 14,8 t
Tagbeklædning	Genanvendte tagsten	4.200 stk 11.700 t	Nye vingetagsten	4.200 stk 11.700 t

Tabel 9: Anvendt tegl i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen [1]

Bearbejdningen indledes i en forælder, hvor lermassens konsistens kan reguleres ved tilsætning af f.eks. vand eller lerpulver. Fra forælderens føres leret til et valseværk hvor evt. sten udskilles.

Teglprodukterne *formes* ved enten håndstrygning, blødstrygning eller strengpresning (håndstrøgne mursten fremstilles dog kun i en begrænset mængde, der især anvendes til restaureringsopgaver). Blødstrøgne sten

fremstilles i blødstenspressere, som er maskiner, der efterligner håndtrykningen. De såkaldte hulsten eller maskinsten formes på strengpressere: Her bliver leret presset igennem et mundstykke, hvorved det formes til f.eks. mursten.

Når produkterne er formet bliver de *tørret* i et tørringsanlæg, hvor der er mulighed for at regulere temperaturen, luftens fugtighed og -hastighed. Efter tørringen, *brændes* produkterne: De fleste danske lersorters brændingstemperatur ligger i intervallet 950-1050°C /16/.

Vingetagsten fremstilles ved strengpresning. Der anvendes et buet mundstykke, hvis åbning er en buet spalte af form som tværsnittet af en tagsten. På et automatisk afskærerbord afskæres de skrå hjørner, og lægte- og binderknasten friskæres i tagstensprofilet.

Efter brændingen sker der en *sortering* af stenene. Af kvalitetshensyn kasseres fra 1% til 10% af de producerede sten.

Energiforbrug:

Udvinding af ler: energiforbruget til udvinding af ler er i /11/ opgjort til 21,6 MJ/ton. Ifølge Steen Andersen, Skov- og Naturstyrelsen, opnås et mere realistisk billede af energiforbruget til udvinding af ler i 1993 ved at lægge 10% hertil. Dette skyldes at såvel ler som sten, grus og sand materialer nu må hentes i dybereliggende jordlag end i 1979. Energiforbruget til udgravning af ler opgøres herudfra til **24 MJ/ton**. Det antages at udgravningen foregår med dieseldrevne gravemaskiner. Da produktionsstedet (lergraven) ofte er i umiddelbar nærhed af industrien (teglværket), tillægges der ikke yderligere energiforbrug til transport af leret.

Bearbejdning, formning, tørring og brænding af leret samt sortering af stenene (procesenergiforbrug): Energiforbruget til bearbejdningen, formningen, tørringen og brændingen af leret samt den efterfølgende sortering af stenene betegnes under ét som procesenergiforbruget. Det har ikke været muligt at sætte tal på de enkelte processers energiforbrug, hvilket bl.a. skyldes at mange teglværker f.eks. udnytter overskudsvarmen ved brændingen til tørringen.

I 1992 foretog Dansk Teknologisk Institut en energjundersøgelse på et dansk teglværk. Resultatet heraf var et procesenergiforbrug på 2.406 MJ/ton brændt gods: Det pågældende teglværk fremstiller kun mursten. Undersøgelsen omfattede ikke nogen opgørelse over fordelingen på røde og gule sten. Ifølge Jørgen Krejberg, Petersminde Teglværk A/S, Stenstrup, er procesenergiforbruget ved fremstilling af 1 ton *gule* sten ca. 350 MJ højere end ved fremstilling af 1 ton *røde* sten.

Procesenergiforbruget ved fremstilling af tagsten skønnes at være ca. 10% højere end ved fremstilling af mursten, da ovnen ikke kan pakkes så tæt.

Danske teglværkers energiforbrug varierer en del. I /20/ er der vist en oversigt over teglværkernes gennemsnitlige energiforbrug i årene 1986-

1990, denne oversigt viser et samlet gennemsnit på 2500 MJ/ton brændt gods. Energiforbruget afhænger bl.a. af hvilken energiform der benyttes til fyring i ovnen, samt om hvorvidt der anvendes varm overskudsluft fra brændingen til tørringen.

Danske tunnelovne fyres i ca. 85% af tilfældene med naturgas. Af det samlede procesenergiforbrug på Petersminde teglværk stammer ca. 90% fra naturgasforbrug og resten fra elforbrug.

Effektiviteterne ved produktion af el og varme blev angivet i kap. 2: Virkningsgraden for et kulkraftværk ved elproduktion er ca. 55% og virkningsgraden for et naturgasfyret fjernvarmeværk er ca. 95%.

Distribution: I det følgende antages det, at murstenene til Sammenligningsnormen vil blive leveret fra et nordsjællandsk teglværk, f.eks. Helsingør, og at tagstenene vil blive leveret fra et Jysk teglværk, f.eks. Højslev teglværk i Skive.

Transporten af mursten antages at foregå med dieseldreven lastbil (ca. 60 km.), medens transporten af tagsten antages at foregå med jernbane (ca. 350 km.), skib (ca. 20 km.) og lastbil (ca. 5 km.).

Det samlede energiforbrug til produktion og distribution af mursten og tagsten (samt emissioner hidrørende fra dette energiforbrug) er opgjort i hhv. tabel 10 og 11.

Proces	Energikilde	Energiforbrug MJ/ton	Emissioner		
			SO ₂ g	CO ₂ kg	NO _x g
Udvinding af ler	Diesel (vej)	24	2	1,8	12
Teglværksprocesser	Naturgas	2280	0	130	228
	El	437	262	43,7	87
Distribution	Diesel (vej)	102	12	7,5	900
Total		2843	276	66	1227

Tabel 10: Energiforbrug og dertil hørende emissioner ved produktion og distribution af 1 ton mursten.

Proces	Energikilde	Energiforbrug MJ/ton	Emissioner		
			SO ₂ g	CO ₂ kg	NO _x g
Udvinding af ler	Diesel (vej)	24	2	1,8	12
Teglværksprocesser	Naturgas	2507	0	143	251
	El	481	289	48,1	96
Distribution	Diesel (jernbane)	112	5	4	116
	Diesel (skib)	12	?	?	?
	Diesel (vej)	9	1	0,6	75
Total		3145	297	198	550

Tabel 11: Energiforbrug og dertil hørende emissioner ved produktion og distribution af 1 ton tagsten.

3.1.2 Genanvendte mursten og tagsten i Det Genanvendte Hus. Processer og energiforbrug

Mursten: Som nævnt skal alle mursten i normalformat leveres som genanvendte, sorterede og afrensede frostfaste facadesten. Til det formål er der indkøbt en rensemaskine i England. Erfaringerne med maskinen indtil videre er bl.a. følgende:

- I byggeri hvor der er anvendt både for- og bagmursten, er det vigtigt at holde disse adskilte ved nedrivningen, da der ellers opstår et stort problem med sorteringen af stenene.
- Mursten muret med mørtel der indeholder mere end 30% cement (i forhold til den totale mængde bindemiddel) kan ikke afrenses maskinelt. Dette skyldes at mørtel med højere cementindhold bliver hårdere end selve stenen, som derfor bliver revet over ved afrensningen.

Kravet til kalkcementmørtel i dag er, at cementmængden mindst skal udgøre 35% af den samlede mængde bindemiddel (fordi en cementmængde under 35% ikke bidrager til en øget mørtelstyrke) /17/. Det medfører at det kun er sten fra murværk fra før dette krav blev indført der kan afrenses maskinelt. Ifølge Henrik Storm Nielsen, Axel Nielsen/Carl Bro, blev cementmørtel introduceret i 1930'erne og alment udbredt i 1960'erne.

- Et andet problem ved maskinel afrensning af mursten skyldes, at mursten, og især de ældre af slagsen, ikke er ens i formatet. Ifølge Niels Strufe, DEMEX, kan maskinen ikke rense de krumme sten.

De ovenfor nævnte problemer har været medvirkende til at afrensningsmaskinen endnu ikke har gennemført en større kørsel af mursten, og det har således end ikke været muligt at få et overslag over maskinens ydeevne¹⁾.

- ¹⁾ D. 26/10-92: Maskinen ejes af firmaet "Brick Cleaner" v. Preben Christensen. P. Christensen vil ikke give oplysninger om maskinens forventede ydeevne, men henviser til DEMEX, da det er dem som skal beregne energiforbruget ved afrensning af mursten.
- D. 6/11-92: Niels Strufe/DEMEX: Der er endnu ikke foretaget nogle kørsler på maskinen, da der ikke er fundet egnede sten.
- D. 13/5-93: Ifølge Niels Strufe/DEMEX har man endnu ikke fundet de mursten som skal anvendes til Det Genanvendte Hus. Det forventes at stenene bliver udtaget i forbindelse med nedrivningerne på Amager. Det er muligt, at dette sker umiddelbart efter pinse, og det vil da være muligt at overvære afrensningen af stenene.
- D. 27/5-93: Ole Stilling/COWI mener at Erik Petersen/Villy C. Petersen bør kunne give et bud på maskinens forventede ydeevne. Nedrivningsfirmaet Villy C. Petersen har aktier i Brick Cleaner.
- D. 2/6-93: Erik Petersen kan ikke (og mener at det er der ingen der kan...) give et bud på maskinens forventede ydeevne, da der endnu ikke er foretaget nogle kørsler af betydning. Man venter stadig på levering af egnede sten. E.P. henviser til Preben Christensen for oplysninger, når maskinen engang kommer til at køre.

Tagsten: Nedtagning og afrensning af tagsten foregår manuelt. Der er udelukkende tale om energiforbrug til manuelt arbejde samt transport.

I det følgende antages det, at tagstenene til Det Genanvendte Hus leveres af Katrinedal Tagstensdepot v. Jørgen Bryrup, Svinninge. Her vurderes mandtime- og energiforbruget ved nedtagning, transport, sortering og rensning af 1000 tagsten at udgøre (4. marts 1993):

Nedtagning: 6 mandtimer

Transport: Kørsel i dieseldreven lastbil fra depotet til nedtagningssted og retur:

2 gange 50-60 km. samt 2 mandtimer.

Dertil lægges transporten (lastbil) fra tagstensdepotet til Det Genanvendte Hus, ca. 80 km.

Sortering, rensning og palletering: 2-4 mandtimer (afhænger i høj grad af hvilken understrykningsmørtel der er anvendt). Efter palleteringen køres pallerne med tagstenene på lager med gaffeltruck. Energiforbruget medgået ved truckkørsel er ikke indregnet, da der ifølge J. Bryrup er tale om et forsvindende lille forbrug.

1 ton tagsten svarer til ca. 360 stk. tagsten /15/.

Energiforbruget i forbindelse med genbrug af tagsten består udelukkende af manuel arbejdskraft og transport. Tabel 12 viser energiforbrug og emissioner i forbindelse med dette arbejde:

Energikilde	Distance km	Energi- forbrug MJ/ton	Emissioner		
			SO ₂ kg	CO ₂ kg	NO _x kg
Diesel (vej)	190	323	0,06	40,6	4,8

Tabel 12: Energiforbrug og emissioner ved transport af 1 ton tagsten til Det Genanvendte Hus.

3.1.3 Knusning af tegl. Processer og energiforbrug

Procesbeskrivelse: I det følgende beskrives knusning af tegl- og betonbrokker som det foregår hos "Råstof og Genanvendelse Selskabet 1990 A/S" (RGS) (Rundvisning d. 3. februar 1993 v. Finn M. Jensen, RGS)

De leverede brokker bliver indledningsvis forknust (til ca. 20*20 cm.) vha. en betonsaks monteret på en gravemaskine. Det forknuste materiale bliver herefter vha. gummihjulslesser transporteret til knuseanlæg og ført til knuseanlæggets fødebrug med gravemaskine. Herefter bliver brokkerne nedknust til fraktionen 0-32 mm.

Det knuste materiale transporteres derefter til Avedøre (RN Sten & Grus). Her "sorteres" materialet (ved sprinkling med vand).

Ca. 50% af materialet bliver ved denne sortering sorteret fra i fraktionen 4-32 mm, de resterende 50% er i fraktionen 0-4 mm, som ikke kan anvendes som tilslag i beton, men benyttes til stabilgrus, vejbygning, fyld o.lign.

Knuseanlægget hos RGS er et semimobilt hammerknuseanlæg af typen HAZEMAG.

Betonsaksen til forknusningen er monteret på en gravemaskine af typen KOMATSU PC240LC.

De forknuste brokker transporteres til knuseanlægget vha. en dozer af typen KOMATSU WA420.

Betonbrokkerne læsses i knuseanlæggets fødekasse vha. gravemaskine (KOMATSU PC240LC), hvorefter det med transportbånd føres til kegleknuseren. Materialet føres til sigteanlæg med 32 mm. sold, hvor materiale større end 32 mm. vha. returbånd føres til knuseenheden.

Energiforbrug ved knusning af tegl- og betonbrokker til tilslagsmateriale i fraktionen 4-16 mm.

- (1) Nedrivning af tegl og beton ... energiforbrug = 45 MJ/ton

Nedbrydningen foregår med dieseldreven, hydraulisk gravemaskine /18/.

- (2) Transport til modtageanlæg
Lastbiler (diesel) ... energiforbrug = 69 MJ/ton

Ifølge /19/ findes der 19 knuseanlæg for bygge- og anlægsaffald i Danmark, heraf de 9 på Sjælland. På baggrund heraf, skønnes den maksimale transport afstand at være 50 km.

- (3) Forknusning af beton med betonsaks monteret på gravemaskine ...
energiforbrug = 5,8 MJ/ton

- (4) Flytning af forknust materiale vha. gummihjulslæsser, afstand ca. 30 m ...
energiforbrug = 5,8 MJ/ton

- (5) Læsning af betonbrokker i knuseanlæggets fødekasse vha. gravemaskine ...
energiforbrug = 5,8 MJ/ton

- (6) Knuseanlægget (fraktionen 0-32 mm.)
Ydelse: Ca. 80 t/time. Effekt (inkl. transportbånd) 95 kW ...
energiforbrug = 1,2 kWh/ton = 4,3 MJ/ton

Konverteringstillæg: $4,3 \text{ MJ/ton} * 1,45 = 6,2 \text{ MJ/ton}$

- (7) Fraktionen 0-32 mm. køres ca. 10 km. til nyt anlæg ...
energiforbrug = 13,8 MJ/ton

- (8) Her sorteres tilslaget (vha. "spuling") i fraktionerne:
0-4 mm. og 4-16 mm.
Ca. 50% af den indkommende mængde er i fraktionen 0-4 mm.
Denne fraktion bruges til fyld eller stabilgrus o.lign. 4-16 mm. fraktionen benyttes til tilslag.
Ydelsen er ca. 25 m³/time. Densitet = 1600 kg/m³, hvilket svarer til 40 ton/time.

Effekt (anlæg): 6 kW

Effekt (vandpumpe, 3000 l/min.): 12 kW ...

energiforbrug = 5,0 kWh/ton = 18,0 MJ/ton

Konverteringstillæg: $18 \text{ MJ/ton} * 1,45 = 26,1 \text{ MJ/ton}$

Ad. 3)-5): Såvel gravemaskiner som gummihjulslæsser antages at have et timeforbrug på ca. 20 liter dieselolie, svarende til et enhedsforbrug på 0,16 liter pr. ton eller 5,8 MJ dieselolie pr. ton behandlet affaldsprodukt /18/.

Ifølge Spencer Sorensen, Laboratoriet for Energiteknik, DTU, er energindholdet i 1 liter dieselolie er 36,13 MJ.

Energiforbrug og emissioner ved knusning af beton- og teglbrokker og fremstilling af tilslagsmateriale fremgår af tabel 13.

I /18/ er anført energiforbruget ved knusning af tegl- og betonbrokker på Sanderødgård Genbrugscenter, SGC. Registreringen blev foretaget af DEMEX i dec. 1990.

Energiforbruget til selve knusningen og sorteringen (nedrivning og transport af brokker er altså **ikke** medregnet) til tilslagsmateriale, opgøres i /18/ til 20-40 MJ/ton.

Det tilsvarende energiforbrug hos RGS90 og RN sten & grus er ca. 50 MJ/ton.

Aktivitet	Energi- form	Energi- forbrug MJ/ton	Emissioner		
			SO ₂ g	CO ₂ kg	NO _x g
1). Nedrivning af tegl	Diesel	45	4,0	3,3	23,4
2). Transport til knuseanlæg	Diesel	69	6,2	5,1	35,9
3). Forknusning	Diesel	5,8	0,5	0,4	3,0
4). Flytning af tegl	Diesel	5,8	0,5	0,4	3,0
5). Fødning af tegl	Diesel	5,8	0,5	0,4	3,0
6). Knusning	El	6,2	3,7	0,6	1,2
7). Transport	Diesel	13,8	2,0	1,3	15,0
8). Sortering	El	26,1	15,7	2,6	5,2
Total		177,5	33,1	14,1	225

Tabel 13: Energiforbrug og emissioner ved knusning af tegl- og betonbrokker, samt efterfølgende sortering i fraktionerne 0-4 mm. og 4-32 mm. Energiforbrug og emissioner er angivet for fremstilling af 1 ton nedknust materiale.

Sammenligningsnormen:

Som det fremgik af tabel 9 skal der i Det Genanvendte Hus anvendes nedknust tegl til det kapillarbrydende lag, tilfyldningen omkring kælderens og betontilslag.

I det følgende beskrives processen (kortfattet) og energiforbruget ved fremstilling af de tilsvarende materialer til Sammenligningsnormen:

Leca-nødder: Leca fremstilles af kalkfattigt, plastisk ler der opblæres og klinkbrændes i rotérovne ved ca. 1100°C.

Dansk Leca A/S oplyser at procesenergiforbruget ved fremstilling af Leca-nødder (10-20 mm.) udgør 260 MJ/ton (Niels Voss, Dansk Leca A/S april 1993). Knap 10% af dette energiforbrug stammer fra forbrug af naturgas, resten af forbruget er ligeligt fordelt på varme fra kulkraftværk og el.

Hertil lægges et energiforbrug på 24 MJ/ton (diesel) til udvinding af leret (se evt. afsnittet om fremstilling af mursten).

Leca produkterne fremstilles i Jylland, og der tillægges derfor et energiforbrug til distribution svarende til 350 km. jernbane-, 20 km. skibs- og 5 km. vej-transport.

Energiform	Energiforbrug MJ/ton	Emissioner		
		SO ₂ g	CO ₂ kg	NO _x g
Naturgas	20	0	1	2
El	120	72	12	24
Kulkraftvarme	120	72	12	24
Diesel (jernbane)	80	3	3	83
Diesel (skib)	12	?	?	?
Diesel (vej)	109	12	8	961
Total	461	159	36	1094

Tabel 14: Energiforbruget fordelt på energikilder og dertil forbundne emissioner ved fremstilling af 1 ton leca nødder.

3.2 Beton

Funktion	Materiale (GH)	Mængde (GH)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Tilfyldning	Nedknust tegl og beton	80 m ³ 145 ton	Sand- og grusfyld	80 m ³ 145 ton
Dækelementer	Sand	51 m ³ 112 ton	Sand	57 m ³ 125 ton
Betontilslag	Nedknust beton	80 m ³ 177 ton	Stentilslag	86 m ³ 190 ton
	Vand	25 m ³ 25 ton	Vand	30 m ³ 30 ton

Tabel 15: Anvendt grusmateriale og betontilslag i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen [1]

3.2.1 Fremstilling af beton. Procesbeskrivelse

Beton fremstilles af vand, et tilslagsmateriale (sand, sten og grus) og portlandcement (eller modifikationer heraf), der ved kemisk reaktion med vandet danner et bindemiddel, som kitter tilslagskornene sammen.

Portlandcement fremstilles ved i en rotéovn, at brænde ler og kalk ved ca. 1500°C. Produktet af forbrændingen er portlandklinker. Portlandklinker formales under tilsætning af lidt gips samt evt. flyveaske.

Portlandcement fremstilles enten ved vådmetoden eller tørmetoden: I den "våde" proces opslemmes ler og kalk i vand. Dette forvarmes og hældes sammen med forstøvet kul ind i lange roterovne. Kulstøvet skaber ved sin forbrænding den nødvendige varme til de kemiske processers forløb og når brændingsproduktet, cementklinkerne, tages ud af roterovnen afkøles de og formales til cementpulver.

Tilslagsmaterialet består af sand, sten eller grus. Hovedparten af de tilslagsmaterialer, der bruges her i landet, udvindes af naturlige grusaflejringer i grusgrave i Danmark.

3.2.2 Fremstilling af tilslag (primære råvarer). Energiforbrug

Oplysninger om energiforbruget til fremstilling af tilslagsmateriale fra danske grusgrave stammer fra 1979 [11].

Heri opgøres energiforbruget til fremstilling og transport af tilslagsmateriale til 15 kWh/ton = 54 MJ/ton.

Ifølge Steen Andersen, Skov- og Naturstyrelsen, opnås et mere realistisk billede af energiforbruget til fremstilling af tilslagsmateriale i 1993 ved at lægge 10% hertil.

Dette skyldes, at de lettilgængelige forekomster er blevet udtyndede og at tilslagsmateriale nu må hentes i dybereliggende jordlag.

Energiforbruget (diesel) til fremstilling af 1 ton tilslagsmateriale (fra grusgrav) udgør 60 MJ/ton. Energiforbruget til fremstilling af tilslag (tegl- og betonbrokker) fremgår af tabel 13.

3.2.3 Fremstilling af cement. Energiforbrug

Helene Hjort-Knudsen, i-68 Rådgivende Ingeniører K/S, har oplyst følgende energiforbrug ved fremstilling af cement (Notat af 19. juni 1992 /21/):

Energiforbruget ved fremstilling af cement (grå standard) udgør 6455 MJ/ton.

Af dette energiforbrug stammer ca. 125 MJ fra gasolie, 650 MJ fra el og 5680 MJ fra olie.

Dertil er lagt energiforbrug til distribution (svarende til 250 km jernbane og 50 km vej).

Energiform	Energiforbrug MJ/ton	Emissioner		
		SO ₂ g	CO ₂ kg	NO _x g
Gasolie	125	11	9	65
El	650	390	65	130
Olie	5680	568	420	568
Diesel (jernbane)	80	3	3	83
Diesel (vej)	85	10	6	750
Total	6620	982	503	1596

Tabel 16: Energiforbrug ved fremstilling af 1 ton cement (grå standard) og dertil hørende emissioner.

3.3 Stål

Funktion	Materiale (GH)	Mængde (GH)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Indvendige skillevægge (lette)	Genanvendt træ	3,8 m ³	Stålskinner	850 kg

Tabel 17: Anvendt stål i Sammenligningsnormen [1]

3.3.1 Fremstilling af stål. Procesbeskrivelse

Stål er en legering af jern, kul, silicium, mangan, fosfor og svovl, men jernindholdet er den langt overvejende del (98-99%).

Fremstillingen af stål begynder med brydning af jernmalmen. Malmen anbringes i en højovn afvekslende med lag af koks og brændingen er arrangeret, så den bliver ufuldstændig, der dannes kulilte; denne afilter malmen på sin vej op gennem ovnen, mens malmen på sin side optager en del af kulstoffet. Højovnsproduktet kaldes råjern og indeholder 3-5% kulstof og noget svovl fra koksene, samt silicium, mangan og fosfor fra malmen selv.

Råjern kan behandles på to måder: *Konvertermetoden*, hvor det flydende råjern anbringes i en beholder (konverter) hvorigennem der blæses luft, herved oxideres kulstoffet og der dannes kulfattigt jern, altså stål. Den anden metode benytter *herdovne*, hvor råjernet behandles med en flamme fra kulstoffyr, oliegyr, gas eller med elektrisk lysbue.

Det flydende stål tømmes fra ovnene i støbeforme, kokiller, som er af støbejern, hvori det formes til store blokke, der henstilles til varmeudligning inden de går til valseværket [13].

3.3.2 Fremstilling af stål. Energiforbrug

SBI og i-68 Rådgivende Ingeniører K/S gennemførte d. 24/9-1991 et interview på Det Danske Stålvalseværk A/S i Frederiksværk med henblik på en analyse af energiforbruget ved fremstilling af stålprodukter. Det er dog ikke muligt at anvende disse tal for energiforbrugene førend de er blevet bearbejdet, hvilket de ifølge Peter Nielsen, SBI (d. 12. marts 1993) endnu ikke er blevet.

Det angivne energiforbrug er ikke udspecificeret på energikilder. Her oplyses, at der ved produktion af stål på Det Danske Stålvalseværk i Frederiksværk langt overvejende anvendes naturgas. Analysen er udført ud fra denne forudsætning. Det vides, at DDS nu producerer med anvendelse af el. Med denne oplysning in mente er der set bort fra bidragene til transport (ca. 35 MJ).

3.4 Genanvendelse af vinduer

Funktion	Materiale (GH)	Mængde (GH)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Dannebrogsvinduer m. forsatsramme	Genanvendt træ	52 stk.	Nyt træ	52 stk.

Tabel 18: Anvendte vinduer i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen [1].

3.4.1 Procesbeskrivelse

Det Genanvendte Hus har været planlagt forsynet med renoverede dannerbrogsvinduer. Dette er dog opgivet da der var problemer med at finde vinduer med de rette dimensioner. Det er derfor besluttet i stedet at fremstille nye vinduer, dog i videst muligt omfang ved brug af genanvendt træ.

3.4.2 Energiforbrug

Energiforbruget ved fremstilling af vinduerne antages at være ens uanset om der benyttes genanvendt eller nyt træ.

Energiforbruget ved indsamling og transport af genanvendt træ må forventes at være mindre end energiforbruget ved fældning, opskæring og transport af nyt træ. Ved anvendelse af genanvendt træ er spildet dog større, og der er derfor behov for mere genanvendt end nyt træ. Det samlede energiforbrug antages derfor at være ens.

3.5 Gipsplader

I det tilfælde hvor der i Sammenligningsnormen anvendes gipspladevægge istedet for vægelementer, bliver der et merforbrug af gipsplader på 340 m² i forhold til Det Genanvendte Hus.

3.5.1 Fremstilling af gipsplader. Procesbeskrivelse

Til fremstilling af gipsplader anvender både Danogips og Gyproc gipsråsten som brydes i åbne lejer, samt afsvovlingsgips fra kraftværker. Hovedparten af rågipsen, som bruges i Danmark, hjemtages fra brud i Spanien.

Tilvirkningen af gipsplader (på fabrik i Danmark) starter med forarbejdning af gipsråstenen til stukgips. Det sker i calcineringsprocessen, hvorefter den endelige tilvirkning af gipspladen finder sted /23/:

Gipsråstenen knuses først groft, derefter males den til pulver i møller samtidig med at den tørres. Derefter transporteres gipspulveret til calcineringsovnene. Her opvarmes pulveret under stadig omrøring til ca. 165°C. Herved uddrives, eller fraspaltes 3/4 af det kemisk bundne vand og der fremkommer et halvhydrat, $\text{CaSO}_4 + \frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$, som kaldes stukgips (eller blot gips).

Stukgipsen blandes med glas- og cellulosefibre samt forskellige tilsætningsstoffer, hovedsageligt stivelse. Den færdigblandede gips tilsættes vand.

Pladeproduktionen sker i princippet ved, at gipsmassen formes mellem to kartonlag på et formbord med store valser. Under hærdningen, som sker på en lang bånd- eller rullebane, optager gipsen krystalvand igen, altså det vand,

der blev fraspaltet ved kalcineringsprocessen. Overskudsvandet danner porer, hvorfra det fordamper igen.

Efter hærdeningen alkortes pladerne til den ønskede længde, hvorefter de langsomt transporteres gennem en stor fleretagers ovn, hvor pladerne udtørres. Gipspladerne renskæres efter tørringen /23/.

3.5.2 Fremstilling af gipsplader. Energiforbrug

Energiforbruget til fremstilling af gipsplader opgøres i /11/, fra 1979²⁾, til 8640 MJ/ton. Massefylden af gipsplader opgives i /23/ til 770-1050 kg/m³. Ved en massefylde på 910 kg/m³ vil energiforbruget til fremstilling af 4,4 m³ gipsplader udgøre ca. 34.600 MJ.

Hertil lægges et energiforbrug til transport svarende til 250 km jernbane og 50 km vej, ialt ca. 35.300 MJ.

²⁾ Det har ikke været muligt at fremskaffe nye tal for energiforbruget ved fremstilling af gipsplader: Hos Danogips har det ikke været muligt at få oplyst energiforbruget, hverken på fabrikken i Hobro (hvor Jørgen Jeppesen henviste til Carsten Sletbjerg på hovedkontoret i København) eller på hovedkontoret.

Heller ikke hos Gyproc A/S - Taastrup (april - maj 1993) har det været muligt at få oplyst energiforbruget ved fremstilling af gipsplader.

4.6 Træ

Ifølge projekt materialet skal alt konstruktionstræ, træ til gulvstrøer, gulvbrædder, forsatsrammer og skelettet i de indvendige vægge stamme fra en selektiv nedrivning af et normalt murstensbyggeri. Træet skal være gennemgået for svampesporer /14/. Såfremt det ikke kan lade sig gøre, at fremskaffe genanvendt træ, vil der blive anvendt nyt træ /22/.

Der er i /14/ ikke nogen angivelser af overfladebehandling eller evt. imprægnering af træet. For Sammenligningsnormen vil det hyppigst anvendte alternativ være at give spær og lægter træbeskyttelse, lakere gulvbrædderne og imprægnere vinduer og døre.

Energiforbruget til den mekaniske bearbejdning af træ til Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen vurderes at være af samme størrelsesorden, da såvel nyt som gammelt træ skal tilskæres og evt. høvles inden det er klar til brug.

En evt. forskel i energiforbrug i forbindelse med anvendelsen af træ i de to huse vil altså bero på en forskel i den kemiske behandling.

I andre projekter med genbrug af træ har Byfornyelsesselskabet København forsøgt at anvende zoneimprægnering: Der hvor man ønsker sit træ imprægneret, skydes patroner med imprægneringsvæske ind i træet. Patronerne

frigiver først imprægneringsvæsken i det øjeblik træets lugtighed bliver for høj (Bøje Juul Pedersen, Byfornyelsesselskabet København).

Ifølge Henrik Storm Nielsen, Axel Nielsen/Carl Bro, er der et temmelig stort spild (op til 75% - og ofte omkring 50%) forbundet med at fremstille vinduer ud fra bjælker og brædder. Det skyldes til dels at nogle bjælker er rådne i enderne, men i højere grad, at mange brædder frasorteres pga. slid og huller, samt at der fraskæres meget træ pga. noter.

Ifølge Tommy Schuler og Flemming Bang (KKTS), er der nu fremskaffet træ til spær, men ikke til forsatsrammer, gulvbrædder og øvrigt snedkertræ (26. maj 1993). T.S. mener at det er en dårlig idé at anvende gammelt tømmer til snedkertræ, da der er så stort et spild ved opskæringen. Ifølge F.B. vides det endnu ikke (januar 1994) hvornår den resterende mængde træ fremskaffes.

3.7 Letbeton (porebeton)

Funktion	Materiale (GH)	Mængde (GH)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Indvendige skillevægge (tunge)	Genanvendte teglsten	18.900 stk	Nye teglsten	3500 stk
			Letbeton	22.5 m ³
				14.8 t

Tabel 19: Letbeton anvendt i Sammenligningsnormen.

3.7.1 Fremstilling af letbeton. Procesbeskrivelse

Råmaterialerne i autoklaveret letbeton (porebeton, gasbeton) er cement, brændt kalk, sand og flyveaske. Hertil kommer forskellige, ikke nærmere definerede tilsætningsstoffer samt aluminiumspulver.

Fremstillingen sker ved, at kalk og sand males til samme finhed som cement. Blandingen sker ved, at det fintmalede sand og flyveasken slemmes sammen, derefter tilsættes cement og kalk i blandingstromler og til sidst tilsættes aluminiumspulver; den færdigblandede masse udtømmes i formvogne. Formvognene fyldes kun halvt, idet de kemiske processer straks efter fyldningen begynder og får massen til at udvide sig, så den til sidst fylder det dobbelte. Derefter udskæres massen i de færdige formater i et trådsaveanlæg. Damphærdningen sker derefter i store autoklaver, hvor trykket langsomt stiger til 10 atm. og temperaturen til 180 °C. Autoklaveringen tager 10-20 timer /13/.

3.7.2 Fremstilling af letbeton. Energiforbrug

Energiforbruget til fremstilling af gasbeton er i /11/ opgivet til 4590 MJ/ton. Energiforbruget til fremstilling af gasbeton til Sammenligningsnormen vil således udgøre ca. 68.000 MJ.

4. Sammenfatning og konklusioner

I tabel 20 og 21 er for henholdsvis Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen vist de samlede energiforbrug for de punkter, hvor de to huse afviger fra hinanden med udgangspunkt i 1. udkast til sammenligningsnorm, /1/. For Sammenligningsnormen aflæses 602 GJ og for Det Genanvendte Hus aflæses 265 GJ. Besparelsen bliver således ca. 340 GJ (337 GJ). For at bedømme betydningen skal til disse tal lægges det energiforbrug, som er fælles for de to huse. Det stammer fra energi til udgravning og bortkørsel af jord, byggepladsindretning, produktion af konstruktionerne, produktion og installation af VVS og el materiel etc. Dette vurderes ud fra en række eksempler, gennemregnet ved brug af et edb-program udviklet på SBI /27/, at udgøre ca 20% af det samlede energiforbrug til opførelsen af Sammenligningsnormen, dvs. at de 602 GJ udgør 80% af det samlede energiforbrug. Besparelsen på 340 GJ skal således sættes i relation til et samlet energiforbrug i Sammenligningsnormen på ca. 750 GJ.

Den største og mest dominerende enkeltpost i regnskabet er facadeteglstenene. Nye sten bruger 332 GJ, genanvendte kun 75 GJ. Sidstnævnte tal forudsætter, at energien ved afrensning og transport af genanvendte sten udgør 2 gange energien ved genanvendelse af tagteglsten. Energiforbruget ved anvendelse af genanvendte teglsten bliver herved ca. 25% af energiforbruget ved fremstilling af nye mursten. Et mere præcist skøn over den forventede energibesparelse kan ikke gives, da det har vist sig vanskeligt at få afrensemaskinen til at fungere. Maskinens intolerance overfor skæve og krumme sten vil medføre et større (manuelt) sorteringsarbejde. En anden begrænsning er at en mekanisk afrensning kun kan foretages af sten muret med kalkmørtel. Ingen af de involverede parter vil derfor på nuværende tidspunkt udtale sig om maskinens ydeevne.

Ved anvendelse af genanvendte tagsten opnås en energibesparelse på 32 GJ. Det ses at energiforbruget herved kun udgør ca. 10% af energiforbruget ved fremstilling af nye tagsten.

Energiforbruget i forbindelse med brug af nedknust tegl og beton som tilslagsmateriale ses at være ca. 3 gange så stort som ved brug af primære råmaterialer. Heraf udgør forbruget til selve nedknusningen det samme som ved brug af primære råmaterialer, hvorimod den forøgede transport bevirker det højere energiforbrug. Ved brug af mobile knuseanlæg eller ved installation af knusere og sorteringsanlæg på betonfabrikkerne kan dette transportbidrag dog mindskes.

Langt vanskeligere er det at vurdere energiforbruget til anvendelse af træ i de to huse: Energiforbruget til den mekaniske bearbejdning vil i nogle tilfælde være praktisk taget det samme for de to huse. Den endelige energivurdering af brugen af træ i de to huse vil afhænge af den valgte kemiske beskyttelse: Om hvorvidt det er hensigten at undlade imprægnering, eller evt. anvende en alternativ imprægneringsmetode i form af linolie-"imprægnering" eller zoneimprægnering.

Funktion	Materiale	Mængde	Energi- per enhed	Energi- forbrug MJ
Tilfyldning	Nedknust tegl og beton	145 ton	177,5	25.738
Kapillarbrydende lag	Nedknust tegl	45 ton	177,5	7.988
Fundamenter	Nedknust tegl	230 ton	177,5	40.825
Undermuring	Genanvendt tegl	6,5 ton	646	4.199
Vægelementer	Nedknust tegl	173 ton	177,5	30.708
Dækelementer	Sand Nedknust beton	112 ton 177 ton	60 177,5	6.720 31.418
Udstøbning	Nedknust tegl	22 ton	177,5	3.905
Facade	Genanvendt tegl	117 ton	646	75.000
Indvendige vægge (tunge)	Genanvendt tegl	46,1 ton	646	29.781
Indvendige vægge (lette)	Genanvendt træ	----	----	----
Depotrum	Genanvendt træ	----	----	----
Tagkonstruktion	Genanvendt træ	----	----	----
Tagbeklædning	Genanvendte tag- sten	11,7 ton	323	3.779
Trægulve	Genanvendt træ	----	----	----
Døre, vinduer	Genanvendt træ	----	----	----
Tilsætningspaneler	Genanvendt træ	----	----	----
Kalfatringsfuger	Mørtelfuge, stop- værk	----	----	----
Total				265.057

Tabel 20: Energiforbrug ved fremstilling af Det Genanvendte Hus, på de punkter, hvor det afviger fra Sammenligningsnormen.

Genanvendelse af byggematerialer kan kaldes en slags økologisk løsning på problemer som mangel på råstofressourcer og stigende affaldsmængder. Brugen af genanvendte materialer i Det Genanvendte Hus medfører en besparelse på ca. 350 m³ grus- og stenmateriale, ca. 95 m³ ler og 70 m³ træ.

Med henblik på affaldsmængder er det naturligvis ca. de samme mængder der spares, dog ville træet ved en afbrænding kunne frigøre en energimængde.

Funktion	Materiale	Mængde	Energi per enhed	Energiforbrug MJ
Tilfyldning	Sand- & grusfyld	145 ton	60	8.700
Kapillarbrydende lag	Lecanødder	7,2 ton	461	3.319
Fundamenter	Sten tilslag	300 ton	60	18.000
Undermuring	Nye tegl	6,5 ton	2838	18.447
Vægelementer	Sten tilslag	228 ton	60	13.680
Dækelementer	Sand	125 ton	60	7.500
	Sten tilslag	190 ton	60	11.400
Udstøbning	Sten tilslag	29 ton	60	1.740
Facade	Nye tegl	117 ton	2838	332.046
Indvendige vægge (tunge)	Nye tegl	8,5 ton	2838	24.123
	Letbeton	14,8 ton	4590	67.932
Indvendige vægge (lette)	Stålskinner	850 kg	33000	28.000
Depotrum	Nyt træ	----	----	----
Tagkonstruktion	Nyt træ	----	----	----
Tagbeklædning	Nye tagsten	11,7 ton	3097	36.235
Trægulve	Nyt træ	----	----	----
Døre, vinduer	Nyt træ	----	----	----
Tilsætningspaneler	Nyt træ	----	----	----
Kalfatningsfuger	Fugemasse Bagstopning Mineraluld	----	----	----
Total				602.322

Tabel 21: Energiforbrug ved fremstilling af Sammenligningsnormen, på de punkter hvor den afviger fra Det Genanvendte Hus.

Bemærk at der i opgørelsen over energiforbruget, ikke er indregnet energi der spares til transport og affaldsbehandling af de genanvendte materialer, der ellers ville være endt på lossepladsen. Ligeledes er heller ikke indregnet det ekstra energiforbrug hidrørende fra det forventede større spild ved brug af genanvendte materialer. Disse energiforbrug og -besparelser er antaget at være af samme størrelsesorden for de to huse.

Af tabel 22 og 23 ses, at alternative valg af konstruktionsprincipper i sig selv medfører en besparelse i energiforbrug til Det Genanvendte Hus i forhold til Sammenligningsnormen på ca. 39 GJ, eller med andre ord: Der er en besparelse på ca. 15% ved at anvende genanvendte materialer til midter skillevæggene og betondækkene i den alternative konstruktionsudformning.

I tabel 23 er energiforbruget ved fremstilling af betondæk og skillevægge, til Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen, beregnet.

Funktion	Materiale (GI)	Mængde (GI)	Materiale (SN)	Mængde (SN)
Midter skillevægge (170 m ²)	Betonelementer		Gipspladevægge	
	Cement	7,6 ton	Stålskinner	0,4 ton
	Sand	23,0 ton	Gipsplader	4,4 m ³
	Nedknuust tegl	25,6 ton	Mineraluld	8,5 m ³
	Vand	4,4 ton	Skruer mv.	
	Armeringsjern	? ton		
Betondæk (720 m ²)	Betonelementer (slapt armerede)		Betonelementer (spændbeton)	
	Cement	28 ton	Cement	35 ton
	Sand	68 ton	Sand	67 ton
	Nedknuust tegl	109 ton	Stentilslag	110 ton
	Vand	15 ton	Vand	15 ton
	Armeringsjern	? ton	Armeringsjern	? ton

Tabel 22: Anvendte materialer i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen ved det alternative valg af konstruktionsprincipper, som anført i [1].

Materiale (GH)	Energiforbrug MJ	Materiale (SN)	Energiforbrug MJ
Betonelementer (skillevægge)		Gipspladevægge	
Cement	50.312	Stålskinner	24.448
Sand	1.381	Gipsplader	34.600
Nedknust tegl	4.544	Mineraluld	2.945
Vand		Skruer mv.	
Armeringsjern			
Betonelementer (slapt armerede)		Betonelementer (spændbeton)	
Cement	185.360	Cement	231.700
Sand	4.140	Sand	4.020
Nedknust beton	19.348	Sten	6.600
Vand		Vand	
Armeringsjern		Armeringsjern	
Total	265.084		304.313

Tabel 23: Energiforbrug til fremstilling af cement og tilslagsmateriale til betonelementer i Det Genanvendte Hus og Sammenligningsnormen.

Af ovenstående ses, at den forventede energibesparelse ved genanvendelse af facadetegl og tagsten er 366 GJ, og dermed er af samme størrelsesorden som den samlede forventede energibesparelse ved brug af genanvendte materialer i Det Genanvendte Hus. Genanvendelse af de øvrige materialer går stort set lige op med hinanden. Genanvendelse af teglsten er dermed den helt afgørende faktor for størrelsen af den forventede energibesparelse.

5. Referencer

- /1/ Jensen, Niels-Arne
"Sammenligningsnorm for Det Genanvendte Hus", 1. udkast.
Instituttet for Anlægsteknik, DTU, 1992
- /2/ Dinesen, Jørn
"Byggeri og miljøbelastning"
Byggeindustrien nr. 5/1991
- /3/ "Energi 2000"
Handlingsplan for en bæredygtig udvikling
Energiministeriet, København 1990
- /4/ Gydesen, Annette et al.
"Renere teknologi på energiområdet"
Miljøprojekt nr. 138
Miljøministeriet, København 1990
- /5/ Jensen, Allan Herrstedt; Winge, Ulrik og Broberg, Ole
"Miljø- og arbejdsmiljøvurdering af materialer"
Miljøprojekt nr. 204
Miljøministeriet, København 1992
- /6/ Henriksen, H. Risvig
Manuskript (af juli 1992) til Teknologinævnets temaprojekt:
Økologiske bæredygtige By- og bosætningsformer
- /7/ DSB
Miljø- og fysisk planlægning 1992
- /8/ "Køremønstre og luftforurening"
Vejdatalaboratoriet, Planlægningsområdet
Herlev, 1992
- /9/ Boldt, Jørgen
"Fælles energi - fælles fremtid"
NOAH's forlag, København 1990
- /10/ Andersen, Sigurd
"Energiforbruget på byggepladsen"
Instituttet for Husbygning, DTU, Lyngby 1980
- /11/ Andersen, Sigurd
"Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af byggematerialer"
Instituttet for Husbygning, DTU, Lyngby 1979
- /12/ Andersen, Sigurd
"Det akkumulerede energiforbrug til fremstilling af boliger"
Instituttet for Husbygning, DTU, Lyngby 1980

- /13/ Møllerup, Jens
"Husbygningsmaterialer"
Gjellerup, København 1987
- /14/ "Specifikation af genbrugsmaterialer i Det Genanvendte hus - Kors-
gade"
20. November 1991
- /15/ Murfagets Oplysningsråd:
"Vejledning vedrørende oplægning af tegltage"
Udarbejdet af Kalk- og Teglinformation
Hesselager 1991
- /16/ Falk, C. og Krejberg, Jørgen
"TEGL 1: Teglfremstilling"
Kalk- og Teglinformation
Hesselager 1991
- /17/ Knutsson, Henry Høffding
"Murværk. Materialer og egenskaber"
SBI-rapport 223. Statens Byggeforskningsinstitut
Hørsholm 1992
- /18/ Jakobsen, Jens Bjørn
"Energi- og miljøforhold ved nedrivning og genanvendelse af byg-
ninger"
I: "Miljøpåvirkninger fra byggeri" SBI-meddelelse 93, SBI 1992
- /19/ "Anvendelseskatalog. Genanvendelsesmuligheder for materialer i bygge-
og anlægssektoren"
Miljøstyrelsen, København 1991
- /20/ "Byggeriets totalenergiforbrug og miljøbelastning"
SBI-meddelelse 85, SBI 1991
- /21/ Notat vedr: "Beregning af Energiforbruget til produktion af cement"
Baseret på oplysninger fra Aalborg Portland
Helene Hjort-Knudsen, SBI, 19. juni 1992
- /22/ "Referat af 11. følgegruppemøde - vedr. projekt "Det Genanvendte
Hus"
Nielse Strufe, DEMEX 22.12.1992
- /23/ Høwisch, John et al.
"Gips"
Danogips A/S
Valby 1987
- /24/ "Energy Analysis"
IFIAS-Workshop Report, Report No. 6
Sverige 1974

- /25/ "Regeringens transporthandlingsplan for miljø og udvikling"
Trafikministeriet, København, Maj 1990
- /26/ "Genbru'sen" Nr. 7
Miljøstyrelsen, København 1991
- /27/ "Anvendelse af beregningsprogrammer og database til energi- og miljøanalyser af bygninger"
Dinesen J., Nielsen, P.
Endnu ikke offentliggjort SBI-rapport. Statens Byggeforskningsinstitut

ISSN 0908-9195 ISBN 87-7810-607-9
Pris (inkl. 25% moms): kr. 75,-
Kan købes hos: Miljøbutikken
Telefon: 33 37 92 92 Fax: 33 92 76 90

Miljø- og Energiministeriet **Miljøstyrelsen**
Strandgade 29 · 1401 København K · Telefon 32 66 01 00