

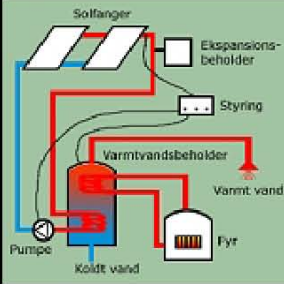

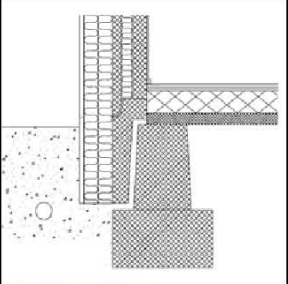

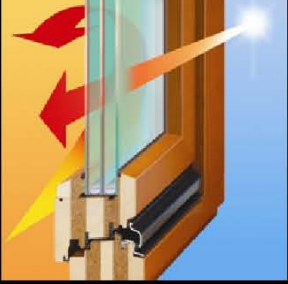





11979 Eksamensprojekt ved BYG DTU

Energirigtig renovering af ældre enderækkehus fra 1971

HOVEDRAPPORT

	<p>Sanlet energibehov kWh/m² år 215,4</p> <p>Energramme kWh/m² år Opfyldt:</p> <ul style="list-style-type: none">42,2 <input type="checkbox"/> Lavenerbygning Klasse 160,5 <input type="checkbox"/> Lavenerbygning Klasse 284,5 <input type="checkbox"/> Sanlet energigramme <p>Sanlet energigramme</p> <ul style="list-style-type: none">84,5 Energramme i BR, uden tillæg0,0 Tillæg for mekanisk udsugning uden VGV0,0 Tillæg for særlige betingelser	
		
		

21. december 2006

Julie Juhl Jakobsen s032485
Maja Grud Christensen s032476

1 Forord

Denne rapport er udarbejdet som et eksamensprojekt på DTU under instituttet BYG*DTU på retningen By og Bygning (Architectural Engineering) under kurset 11979 Eksamensprojekt gældende 20 ECTS-point.

Rapporten beskriver konstruktioner, varmetabsberegninger og energiforbrug for et konkret ældre rækkehus fra 1971 med et opvarmet etageareal på 171 m². Der er lavet beregninger på både den oprindelige, den nuværende og en fremtidig konstruktion, indeholdende en række energibesparende forbedringer såsom facadeisolering og udskiftning af vinduer til lavenergivinduer.

Projektet fokuserer på, at de energibesparende tiltag skal kunne få huset til at overholde Bygningsreglementets lavenergiklasse 1. Dog skal husets oprindelige arkitektoniske værdi bevares så vidt muligt, og tiltagene skal være realistiske og effektive i forhold til omkostninger og lokalplan. Desuden stræber projektet efter en vis brugervenlighed, således at bebyggelsens beboere kan drage nytte af rapportens indhold.

I rapporten findes beskrivelser af eksisterende forhold og ombygningsforslag, og i bilagene findes detaljerede beregninger, der påviser hvor stor en energibesparelse, man kan opnå ved en energirigtig totalrenovering, og konstruktionstegninger. Rapporten er udarbejdet af diplomingeniørstuderende Julie Juhl Jakobsen og Maja Grud Christensen. Til rapporten medfølger to bilagsrapporter, som indeholder hhv. tegningsmaterialet (Bilag 1-10) og beregningsmaterialet (Bilag A-Q).

Vejledere: Jesper Engelmark / arkitekt / lektor BYG•DTU
Toke Rammer Nielsen / civilingeniør / adjunkt BYG•DTU

Danmarks Tekniske Universitet, Kgs. Lyngby, december 2006.

Julie Juhl Jakobsen, s032485

Maja Grud Christensen, s032476

2 Indholdsfortegnelse

1	Forord	2
2	Indholdsfortegnelse	3
3	Resume	5
4	Indledning	6
4.1	Formål med rapporten	6
4.2	Problemformulering	7
4.3	Værktøjer	7
5	Baggrund	8
5.1	Albertslund – Den tilrettelagte by	8
5.2	Røde Vejmølle Parken	10
5.3	Lokalplan 18.5, for Røde Vejmølle Parken	11
6	Beskrivelse af husets oprindelige forhold	13
6.1	Husets konstruktion	13
6.1.1	Terrændæk	13
6.1.2	Ydervægge	14
6.1.3	Indervægge	14
6.1.4	Etageadskillelse	15
6.1.5	Tag	15
6.1.6	Døre/vinduer	16
6.1.7	Samlinger	16
6.1.8	Varmeanlæg	19
6.1.9	Ventilation	19
6.1.10	Inventar	19
6.2	Husets energibehov – 1971	20
6.3	Husets energimærkning - 1971	22
7	Beskrivelse af ændringer fra opførelse til nu.	23
7.1	Husets energibehov - 2006	25
7.2	Husets energimærkning - 2006	29
7.3	Brugernes faktiske forbrug	29
8	Opstilling af løsningsforslag til totalrenovering.	30
8.1	Hvad er et energimærke?	30
8.2	Efterisolering	31
8.2.1	Ydervægge	31
8.2.2	Tag	33
8.2.3	Terrændæk	35

8.2.4	Fundament	36
8.3	Udskiftning	37
8.3.1	Vinduer og døre	37
8.4	Yderligere tiltag	38
8.4.1	Ventilation og varmegenvinding	38
8.4.2	Solvarmeanlæg	39
8.5	Husets energibehov efter renovering	41
8.5.1	Lavenergibyggeri iflg. gældende bygningsreglement.	41
8.5.2	Energibehov efter renovering	42
9	Vurdering af renoveringsforslag	46
9.1	Vurdering i forhold til lokalplan og udførelsesmuligheder	46
9.2	Forbedringer med den største energiøkonomiske gevinst	48
9.3	Oversigt over økonomiske besparelser ved forskellige energibesparende tiltag	52
9.4	Andre besparelsemuligheder	53
10	Konklusion	55
11	Litteratur og kilder	57

3 Resume

Denne opgave viser ved beregninger og analyse af eksisterende energiforhold samt konkret ombygningsforslag, hvordan man kan renovere et konkret enderækkehus i Albertslund, så det opfylder de nutidige krav i Bygningsreglementet og kan betegnes som et energiklasse 1 hus (A1).

Rapporten tager udgangspunkt i et enderækkehus opført som montagebyggeri i 1971: Humlehusene 96, 2620 Albertslund.

Efter en historisk gennemgang af Albertslund Kommune gennemgås og analyseres det konkrete hus og de konstruktive og energimæssige forhold vurderes i 3 tilstande: det oprindelige hus (1971, energiklasse D2), nuværende hus (2006, energiklasse D1) og energirenoverede hus. De tre forskellige tilstande er sammenlignet og vurderet i forhold til hinanden og dokumenteret ved beregninger i Be06 og detaljerede tegninger i Autocad.

Ud fra disse analyser opstilles forslag til renovering hovedsagelig med fokus på energibesparelser. I forslagene er benyttet konkrete produkter fra anerkendte producenter. Tiltagene har medført, at huset overholder de energimæssige krav, som kræves ved en A1 energimærkning – svarende til lavenergi klasse 1.

Rapporten dokumenterer, at renoveringen vil være ensbetydende med en besparelse af energien på 75 % og samtidig medføre et godt og sundt indeklima.

Projektforslaget er forsøgt behandlet så realistisk som muligt i forhold til valg af tekniske løsninger. Det er også vurderet, ved enkle beregninger om løsningerne er rentable, og om de vil kræve ændringer i den gældende lokalplan.

4 Indledning

I Danmark findes knap 2,5 mio. bygninger, hvoraf ca. $\frac{3}{4}$ er opvarmede, og af hele Danmarks opvarmningsbehov går ca. 25 % til opvarmning af boliger. Fordi den eksisterende bygningsmasse i Danmark er opført over en lang årrække, har bygningerne et meget forskelligt energibehov i driftsfasen. Ens for dem alle er dog, at de bruger meget mere energi end nødvendigt.

I vores del af verden er der efterhånden opstået et stærkt ønske om mindre ressourceafhængighed af hensyn til miljø, forsyningsikkerhed og klima. Da der i disse år bliver bygget og renoveret som aldrig før, vil det være energimæssigt økonomisk at energiforbedre samtidigt. Det er vurderet, at danske bygninger sammenlagt vil kunne spare mellem 50 % og 90 % af energien til opvarmning og det endda med bedre komfort og indeklima til følge.¹ Men selvom den nødvendige viden og de tekniske løsninger eksisterer, går det stadig trægt med energirenoveringerne. Offentlige instanser gør dog et stort arbejde for at få energiforbedret den samlede boligmasse i Danmark, og senest har skærper i Bygningsreglementet fået specielt de private husejeres øjne op for energibesparelserne.

4.1 Formål med rapporten

Siden september 2006 har det været lovpligtigt at energimærke sit hus i forbindelse med salg eller udlejning. Energimærkningsordningen, som kan sammenlignes med mærkningen af el-apparater, giver køber/lejer et indtryk af husets energimæssige tilstand samt en energiplan med forslag til mulige energibesparelser, og hvorvidt de er rentable. Desuden trådte der pr. 1. april 2006 et tillæg til Bygningsreglementet i kraft, der kræver, at man energiforbedrer sit hus i forbindelse med en lang række renoveringer. Disse skærper af loven har skabt yderligere travlhed i branchen, da en energimærkning kræver en grundig gennemregning af huset.

¹ Kilde 21: "Energirigtige renoveringer af eksisterende bygninger"

Formålet med denne rapport er at vise, hvor store energibesparelser man i praksis kan opnå på en typisk enfamiliebolig fra 1971, samt hvilke bygningsmæssige tiltag, der skal tilføjes huset for at opnå disse besparelser.

4.2 Problemformulering

1. *"Analyse og beregning af eksisterende forhold ved konkret enderækkehus i ældre bebyggelse: Humlehusene 96, 2620 Albertslund.*
2. *Udarbejdelse af projektforslag til en omfattende energirenovering af det konkrete hus for at opnå lavenergiklasse 1.*
3. *Vurdering af løsningsforslag og energibesparelser ved renoveringen."*

4.3 Værktøjer

Da dette projekt fortrinsvis beskæftiger sig med beregning af varmetab og energiforbrug, har vi benyttet os meget af programmet **Be06**. Be06 er et program til beregning af bygningers energibehov og kan bruges, når man skal eftervise, at en bygning opfylder energibestemmelserne i Bygningsreglementet. Programmet og den medfølgende SBI-anvisning henvender sig primært til rådgivende ingeniører, arkitekter, entreprenører, andre projekterende og udførende inden for både nybyggeri og renovering. Brug af programmet kræver en vis teknisk viden samt kendskab til relevante bestemmelser.

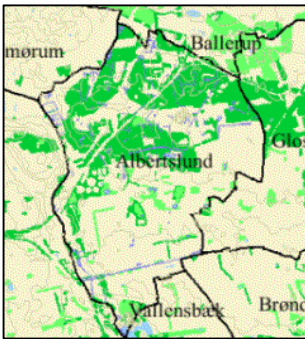
Derudover har vi benyttet tegneprogrammet **AutoCad** til formidling af forslag til nye konstruktionssnit og samlingsdetaljer.

5 Baggrund

5.1 Albertslund – Den tilrettelagte by

Albertslund har udviklet sig anderledes end mange andre byer. I gennem århundreder lignede det nuværende Albertslunds landsbyer i høj grad de øvrige lokalsamfund på Københavns vestegn. Da Statsfængslet i Vridsløselille åbnede i midten af 1800-tallet, opstod som det eneste sted i Danmark en "fængselsby" langs Roskildevej.

Københavns udvikling i 1800-tallet med bl.a. indlemmelsen af de nærmeste forstæder i Københavns Kommune i 1901 betød, at vejen var banet for vækst udefter. Københavns vækst blev derfor en væsentlig grund til, at Albertslund blev til den forstadskommune, vi kender i dag.



Figur 1: Kort over Albertslund Kommune. (Kilde 11)

I 1955 bad Herstedernes Kommune² Peter Bredsdorff, som stod bag fingerplanen, om hjælp til at udforme en byplan for den del af kommunen, der i første omgang skulle indgå i en byudvikling. Men arealerne omkring den planlagte station kunne først bebygges, efter man havde overtaget "Albertslundgården"³, som lå, hvor stationen ligger i dag. Og man havde travlt, for man var interesseret i, at der stod indflytningsklare boliger, når stationen var bygget.



Figur 2: kort over bebyggelsesområderne. (Kilde 17)

Hovedprincipperne i byplanen fra 1955 var, at S-togsstationen skulle være byens trafikale midtpunkt. Beboerne i den nye by ville langtfra alle være beskæftigede i kommunen, så de ville være afhængige af toget som transport til og fra arbejde. Ved stationen skulle der være et center med butikker og institutioner. Indenfor gangafstand fra stationen skulle den mest koncentrerede bebyggelse placeres, og villaeer og rækkehuse skulle lægges lidt længere væk. Vejnettet skulle udformes således, at de gennemgående veje kun havde forbindelse til det lokale vejnet nogle få steder. Dermed kunne beboerne, og ikke mindst deres børn, færdes til fods uden at skulle krydse de stærkt trafikerede veje.

² Før 1970 var Albertslund kendt som Herstedernes Kommune, som bestod af de fire landsbyer – Herstedøster, Herstedvester, Risby og Vridsløselille.

³ Det er efter denne gård, som var den største i Herstedernes Kommune, at Albertslund har fået sit navn.

Man havde en vision om en tæt-lavt-bebygget by, men der var ikke nogen egentlige retningslinier for, hvordan boligerne skulle udformes. Man var klar over, at et lavt byggeri i 1-2 etager var dyrere pr. kvadratmeter, men man mente, at en sådan bebyggelse rummede kvaliteter, som var værd at betale for.



Figur 4: Det første montagebyggeri af 1-2 etagers hus, Kilde 2).



Figur 3: Det tætte lave byggeri – lejeboliger, Kilde 2).



Figur 5: 2-etages rækkehus i øst Albertslund – ejerboliger, Kilde 2).

Da man havde som mål at bebygge betydelige store arealer på rekordtid, oprettes Albertslundkontoret, som fungerede som en slags fælles tegnestue, der skulle styre udviklingen og designet af den tilrettelagte by. De projekterende arkitekter blev stillet overfor en række krav til det store byggeri i det sydlige Albertslund. Husene skulle være billige og samtidig kunne opføres hurtigt. Derfor måtte fællestegnestuen udvikle nogle passende løsninger, der også skulle imødegå nye krav fra Boligministeriet i 1960, som ændrede Albertslund-bebyggelsen radikalt. Det nye cirkulære tillod kun byggerier i den størrelsesorden, som var planlagt i Albertslund, hvis de blev opført som montagebyggeri. Til gengæld ville staten give tilskud til byggeriet, da det var første gang, man skulle opføre et tæt-lavt-byggeri med denne byggeteknik. Byggeriet var altså et eksperiment, hvor man ikke kunne bruge standardprodukter, men måtte designe hver enkelt bygningsdel. Byggeriet omfattede næsten 2200 boliger syd og vest for stationen og rummede gårdhavehuse, rækkehuse og få etageboliger langs en kanal. Alle rækkehuse og gårdhavehuse var forsynet med en lille have, som alle værelser var rettet mod, og husene var lukkede mod gaden. Husene var sammenbygget med hinanden i klynger, have mod have. Gårdhus-typen blev senere kopieret andre steder, da bebyggelsen viste sig at få stor popularitet og opmærksomhed.

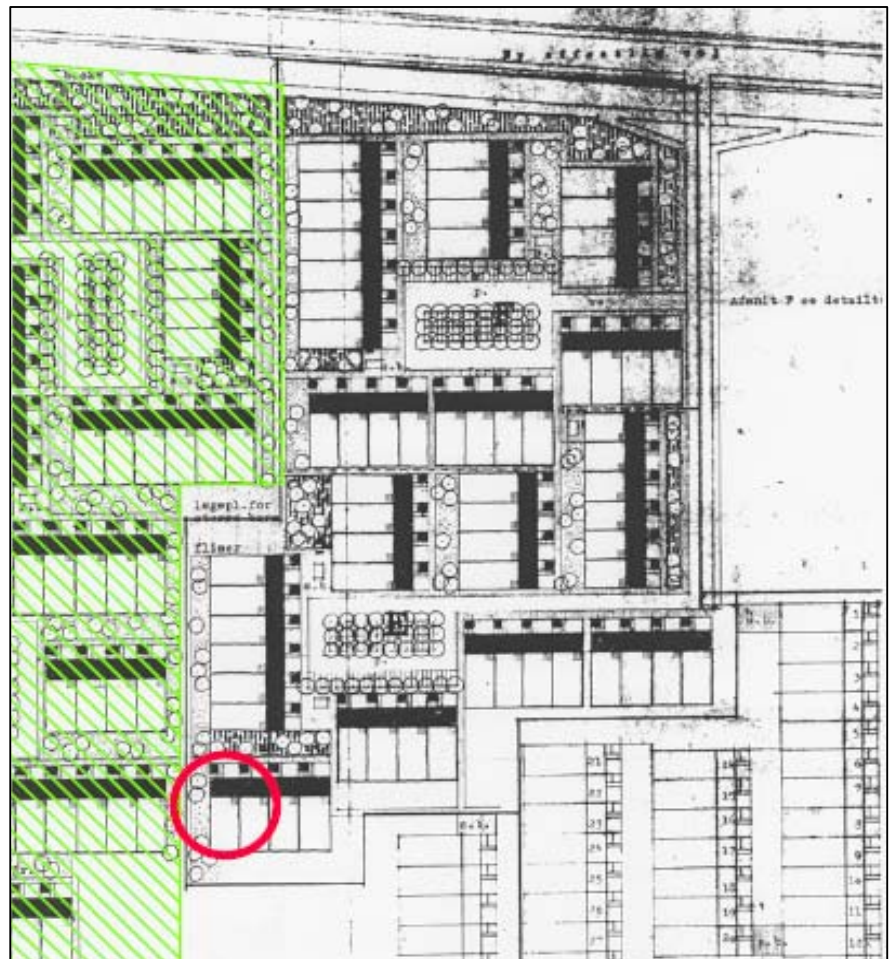
Nu var udviklingen startet, og i 1960 opkøbte Herstedernes Kommune fire gårde og et par mindre ejendomme i det nordvestlige område. Her blev bygget et lille område med gårdhavehuse som i syd, og resten af det store område blev udstykket til parcelhusgrunde og grønne områder. Efter bebyggelsen af Albertslund Syd og -Vest var Albertslund Nord det næste bykvarter, som skulle projekteres. Her blev rækkehusene igen den mest dominerende bebyggelse, ligesom i syd, men nu i flere planer. Til sidst blev den østlige del af Albertslund bebygget, som udelukkende bestod af større ejerrækkehuse i 2-3 planer.

Albertslund gennemgik således en hastig udvikling fra landsbysamfund til forstadskommune i perioden fra 1960 og til midten 1970'erne. Efter stationen blev bygget i 1963, blev der bygget huse i rekordtempo i byen. Det meste af bebyggelsen i Albertslund er bygget i 60'erne og 70'erne, hvilke har medført en by bygget i beton.

5.2 Røde Vejmølle Parken

Det konkrete hus, som vi vil arbejde med i denne rapport, er et enderækkehus beliggende i den østlige del af Albertslund, i *Røde Vejmølle Parken*. Bebyggelsen er opført som montagebyggeri i 1969-71 og består af 290 toetagers rækkehuse inddelt i tre kvarterer, Humlehusene, Præstehusene og Degnehusene. Der var oprindeligt projekteret langt flere huse, men entreprenøren gik fallit undervejs, og derfor blev den sidste tredjedel aldrig opført, men senere foræret til kommunen, der udlagde den som grønt område.

Figur 6: Situationsplan over Humlehusene i 1968, se bilag 1.



5.3 Lokalplan 18.5, for Røde Vejmølle Parken ⁴

Den gældende lokalplanen (3. lokalplan) indeholder bestemmelser om områdets byplanmæssige forhold vedrørende anvendelse, ejendommenes størrelse og afgrænsning, samt bebyggelsens placering, omfang og ydre fremtræden m.m. I renoveringssager vil det være den ydre fremtræden af bygningen, der skal vurderes og tages til revision i forhold til lokalplanens krav. Uddrag af væsentlige krav i forhold til en energirenovering;

"Indenfor område B (red. området med boliger) må den eksisterende bebyggelses udseende ikke ændres således, at den tilstræbte helhedsvirkning brydes." (§ 8.2, side 9)

...

"På boligparceller må bebyggelsen højst opføres i 2 etager uden udnyttelig tagetage samt kælder. Bygningshøjden må ikke overstige 7 m fra omgivende terræn." (§ 7.5, side 7)

Hvis en energirenovering medfører arkitektoniske ændringer, er der mulighed for, at;

"Kommunalbestyrelsen kan meddele dispensation til mindre væsentlige lempelser af lokalplanens bestemmelser. Grundejerforeningen og naboerne skal dog høres, inden der meddeles dispensation fra lokalplanen, jævnfør planloven §20. Mere væsentlige afvigelser fra lokalplanen kan kun gennemføres ved tilvejebringelse af ny lokalplan." (§ 12.3, side 13)

Lokalplanen har dog nogle lempelser, der stiller beboeren mere frit i forhold til forbedringer af klimaskærmen. Så længe de påkrævede farver, former og til dels materialer overholdes, er udskiftninger tilladt.

"På boligparcellers indgangsside er det tilladt at opføre en tilbygning til det oprindelige hus."

⁴ Lokalplan nr. 18.5, "For boligbebyggelsen Røde Vejmølle Parken, Albertslund Kommune. 2003", Kilde 23.

...

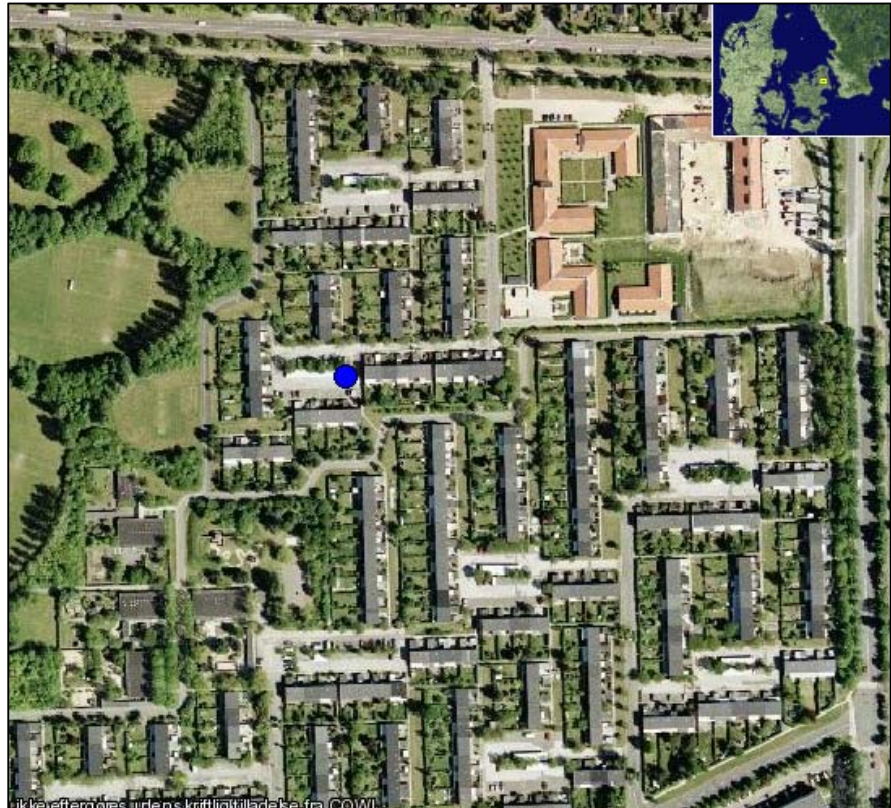
"Udhuset må have en max. højde der går til underkant af 1' sals betonelement, og udhuset skal være forsynet med et vandret gennemgående sternbræt på 30 cm. Udhuset kan anvendes til boligformål, hvis det opfylder bygningsreglementets krav,....." (§ 7.6, side 8)

...

"Facaderenovering med ændrede vinduesformater kan kun tillades i havesidens stueplan." (§ 8.3, side 9)

Ifølge Albertslunds kommuneplan er bæredygtighed *"en vigtig del af kommunens politik. Med bæredygtighed menes recirkulering af ressourcer og begrænset forbrug af ikke for-nybare ressourcer. Alle bæredygtige tiltag skal vurderes ud fra totaløkonomiske overvejelser."* (lokalplan 18.5, side 2)

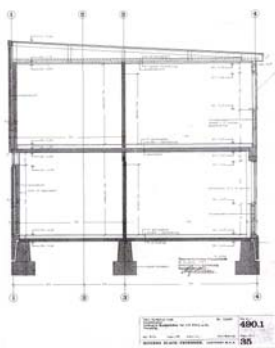
Billede 1: Luftfoto over Røde Vejmølle Parken, kilde 17.



6 Beskrivelse af husets oprindelige forhold

Konstruktionerne og deres varmeisoleringssevne/isolans samt varme- og ventilationssystemerne beskrives i det følgende. Beskrivelsen er hovedsageligt baseret på oprindelige tegninger fra Albertslund Kommunes arkiver, bilag 1-5, samt opmålinger og inspektioner i huset. Hvor spørgsmål til husets samlingsdetaljer m.m. ikke har kunnet afdækkes ved hjælp af tegningsmaterialet, er antagede tilsvarende løsninger fundet i litteratur om datidens typiske montagebyggeri.⁵ Alle beregninger af U-værdier er foretaget efter DS418, hvis ikke andet er angivet. For detaljerede beregninger, se bilag A.

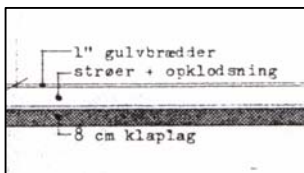
6.1 Husets konstruktion



Figur 7: Konstruktionssnit, se bilag 4.

Rækkehusene er opført i præfabrikerede armerede betonelementer i to fulde etager uden kælder og tagrum. Ét hus består af tre moduler af hver 3300 mm og er 10 m brede og 7 m dybe, halvdelen sydvendt og resten vestvendt. Stueetagen indeholder entre, gæstetoilet, opholds- og spisestue, køkken og bryggers. 1.sal indeholder badeværelse og soveværelse samt to større eller tre mindre værelser efter behov. Bruttoetagearealet for de enkelte huse er 146,5 m². Derudover er der på 210 af husene opført en pergola (karnap) på havesiden på ca. 6 m², samt et åbent halvtag på indgangssiden på ca. 10 m², hvor der er indbygget affaldsstativ. (Oprindelige tegninger ses i bilag 2-5)

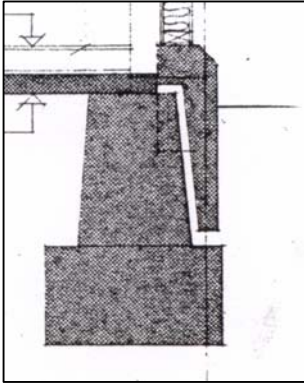
6.1.1 Terrændæk



Figur 8: Terrændæk, se bilag 5 detalje 7.

Fundamentet er et punktfundament i beton nedført til frostfri dybde. I alle opholdsrum i stueetagen er der lagt trægulv og i bryggers og gæstetoilet klinkegulv. Hvor der er trægulv, består terrændækket af et 80 mm klaplag ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), 50 mm isolering ($\lambda = 0,055 \text{ W/mK}$), 40 x 60 mm strøer pr. 700 mm ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), opklodsning samt 22 mm parketgulv ($\lambda = 0,15 \text{ W/mK}$). Terrændækket i

⁵ Kilde 1: "Modul og montagebyggeri", Henrik Nissen, Polyteknisk forlag 1975



Figur 9: Punktfundament, se bilag 5 detalje 4.

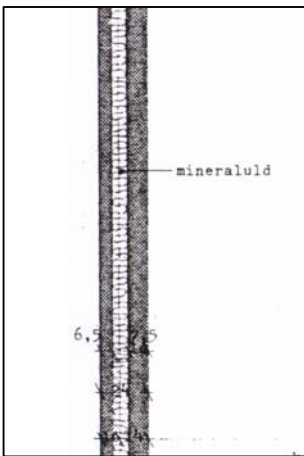
karnap er underlagt med 200 mm grus, og fundamentet består af Zenith fundamentblokke.

Langs begge facader er der udført Ø40-huller i parketgulvet pr. 500 mm til ventilering af det underliggende hulrum. Klinkegulvet (uisoleret) består af 155 mm betonlag ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), 15 mm mørtel ($\lambda = 0,9 \text{ W/mK}$), 25 mm klinker ($\lambda = 1,3 \text{ W/mK}$).

U-værdi for terrændæk i hovedhus: $U = 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-værdi for terrændæk i karnap: $U = 0,46 \text{ W/m}^2\text{K}$

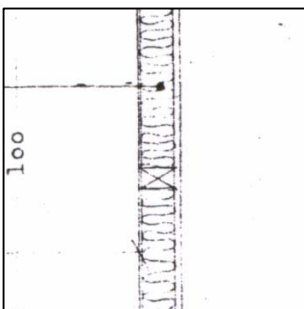
6.1.2 Ydervægge



Figur 10: Tung ydervæg, bilag 5 detalje 6.

Huset består af to slags ydervægge, en let ydervæg mod haven og en tung mod gaden og i gavl. Den tunge ydervæg er 240 mm tyk og består af et ydre betonelement på 65 mm ($\lambda = 2,2 \text{ W/mK}$), og et indre på 100 mm ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$), med 75 mm isolering ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$) imellem.

Den lette ydervæg er udført som snedkerfacade med brystningsplader. Den består af en 100 mm bred stolpekonstruktion med 75 mm isolering ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$), beklædt med krydsfiner ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), på indersiden og på ydersiden i stueetagen. På 1.sal er brystningen belagt med plagan på ydersiden, dvs. forzinket stålplade belagt med overhærdet plast. Væggen er monteret på betonsøjler 200 x 300 mm ($\lambda = 2,2 \text{ W/mK}$) for hvert modul, som desuden bærer etagedæk og tag. Over søjlerne ligger en betondrager 200 x 280 mm ($\lambda = 2,2 \text{ W/mK}$). Alt udvendigt træ er imprægneret.



Figur 11: Let ydervæg, bilag 5 detalje 3.

U-værdi for tung ydervæg (nord): $U = 0,85 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-værdi for tung ydervæg (gavl): $U = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-værdi for let facade: $U = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

6.1.3 Indervægge

Bærende indervægge er 100 mm betonvægge, og de ikke-bærende er almindelige 100 mm gipsvægge. Lejlighedsskel er udført

som dobbeltkonstruktion: 2 x 100 mm beton med 30 mm mineraluld imellem og opfylder Bygningsreglementets krav om lydreduktion 1966, jf. Kilde 3. Alle indvendige vægge er pudsede, tapetserede og malede.

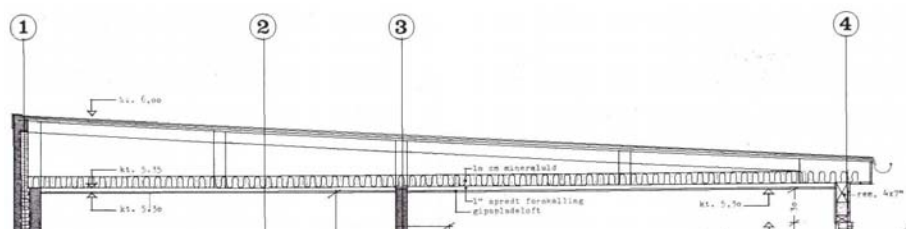
6.1.4 Etageadskillelse

Etageadskillelsen er et 120 mm betondækelement med strøer, opklodsning og 22 mm parketgulv. Dækket ligger af på den gennemgående bærende væg i stueetagen samt på betondrageren langs havesiden og den tunge ydervæg. Elementerne er store elementer, hvoraf der bruges 6 stk. for hvert hus. (Se bilag 5, detalje 6)

6.1.5 Tag

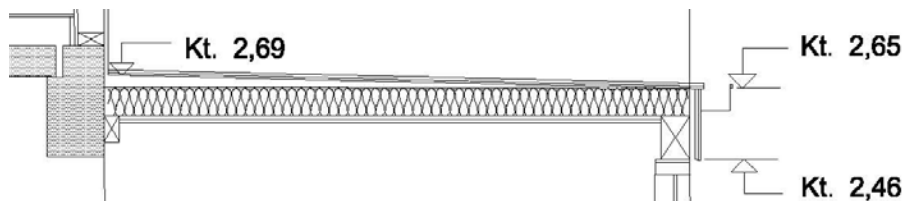
Taget er udført af spærfag, som på oversiden er beklædt med krydsfinerplader og dækket af gråt tagpap. Det hælder 15 grader mod haven. Tag og tagrum ($R = 0,3 \text{ m}^2\text{K/W}$). Mod beboelsesrum er 100 mm isolering (nogle huse kun 75 mm) ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$), 26 mm spredt forskalling ($R = 0,16 \text{ m}^2\text{K/W}$) og 12 mm karlitpanel ($\lambda = 0,2 \text{ W/mK}$) på plastikfolie. Tagrummet har ventilationsåbning mod haven, og taget har firkantede tagrender i zink.

Figur 12: Tag – hovedhus, se bilag 5 detalje 1+2.



Taget på karnappen består af 9 mm gipspladeloft ($\lambda = 0,2 \text{ W/mK}$), 26 mm spredt forskalling ($\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$), 70 mm isolering ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$) indeholdende 50 x 100 mm spær ($\lambda = 0,13 \text{ W/mK}$), 0-40 mm opskalkning (ventileret hulrum $R_i = 0,14 \text{ m}^2\text{K/W}$), 26 mm ru pladebrædder og tagpap.

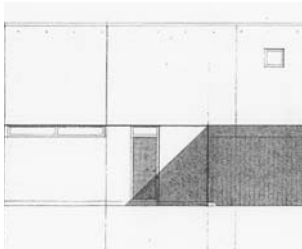
Figur 13: Tag – karnap, se bilag 5 snit af karnap.



U-værdi for samlet tagkonstruktion: $U = 0,41 \text{ W/m}^2\text{K}$

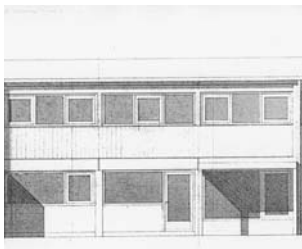
6.1.6 Døre/vinduer

Der er få vinduer i facaden mod gaden. Et 3 x 0,4 m fast vindue i stuen og et 1 x 0,4 m vindue over indgangsdør samt i bryggers. På 1.sal er der kun et 0,4 m² kvadratisk vindue ved toilettet.



Figur 14: Vinduer og døre i tung facade (bilag 2) – facade opstalt.

Mod havesiden er der vinduer i hele facadens bredde både i stuen og på 1.sal. Vinduerne på 1.sal sidder i 1m's højde over gulv og er 1,1 m høje, mens vinduerne i stuen sidder i 90 cm's højde og er 1,32 m høje. Vinduerne i karnappen sidder i 30 cm's højde og er 1,92 m høje.



Figur 15: Vinduer og dør i let facade (bilag 2) – facade opstalt.

Alle vinduer er 2-lags glastruer. Der er yderdøre tre steder i huset, hoveddør, terrassedør og bryggersdør. Sidstnævnte er todelt.

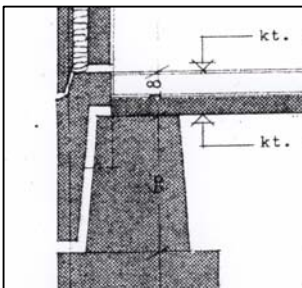
U-værdier for vinduer ligger mellem 2,5 – 2,9 W/m²K.

U-værdier for yderdøre ligger mellem 2,0 – 2,5 W/m²K.

Linietafet ved døre og vinduer kan ses i beregningsbilaget A, side 17.

6.1.7 Samlinger

Husene i Røde Vejmølle Parken er opført med mange samlingsløsninger, der medfører nødvendige kuldebroer og store linietaf. For at få et samlet overblik over hvor stor en del af klimaskærmen, der udgør disse kuldebroer og linietaf, findes en oversigt i bilag 6. Samtidig kan en oversigt over udregningerne findes i bilag A.



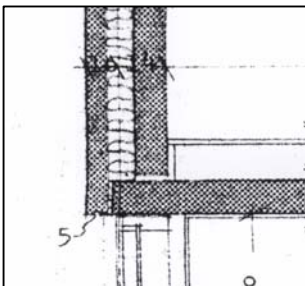
Figur 16: Tynd ydervæg / Terrændæk, se bilag 5 detalje 5.

Ydervæg/terrændæk:

Den tunge ydervæg hviler direkte på soklen, som igen hviler på punktfundamentet. Punktfundamentet vil forårsage et varmetab til jorden, og da isoleringen ikke er ført helt ned til jorden, vil der opstå et betydeligt fundamentslinietaf i denne samling.

Fundamentslinietaf ved tung facade: $\Psi_{\text{fundament}} = 0,83 \text{ W/mK}$

Fundamentslinietaf ved let facade: $\Psi_{\text{fundament}} = 0,72 \text{ W/mK}$



Figur 17: Tung ydervæg/etageadskillelse, se bilag 5 detalje 6.



Billede 2: Synligt etagedæk over vinduer på tung ydervæg. (Foto)

Ydervæg/etageadskillelse:

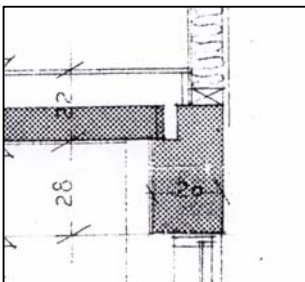
I denne samling ses det, at etagedækket hviler på den nederste tunge ydervæg, og at den øverste ydervæg er monteret direkte herpå. Etagedækket er altså trukket helt ud i facaden, hvilket giver en kuldebro. Kuldebroen består af 65 mm udvendig betonfacade ($\lambda = 2,2 \text{ W/mK}$), 10 mm kuldebroafbrydelse ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$) og 165 mm betondæk ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$). Ved vinduerne er etagedækket synligt på udvendig side, som det ses på billede 2, hvilket gør, at der forekommer gennemgående beton, dvs. kuldebro, disse steder.

U-værdi for denne kuldebro: $U = 2,1 \text{ W/m}^2\text{K}$

Linietab for udmuringer: $\Psi_k = 0,06 \text{ W/mK}$

Betondrager/søjler i let facade:

På den lette facade mod syd forekommer uisolerede betonsøjler i både stue og på 1. sal samt en underliggende drager, der alle er gennemgående i facaden. Disse medfører væsentlige kuldebroer i den lette facade og gør, at den samlede u-værdi er meget dårlig.



Figur 18: Gennemgående beton drager /søjler i letfacade, se bilag 5 detalje 3.

U-værdi for betondrageren: $U = 2,80 \text{ W/m}^2\text{K}$

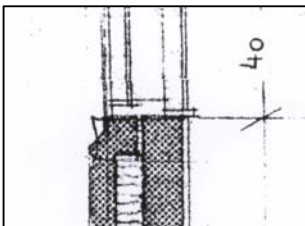
U-værdi for betonsøjlerne på 1. sal: $U = 2,48 \text{ W/m}^2\text{K}$

U-værdi for betonsøjlerne i stue: $U = 3,26 \text{ W/m}^2\text{K}$

Der vil samtidig forekomme et linjetab mellem den gennemgående beton og den lette facadekonstruktion: $\Psi_k = 0,15 \text{ W/mK}$.

Udmuringer omkring døre og vinduer:

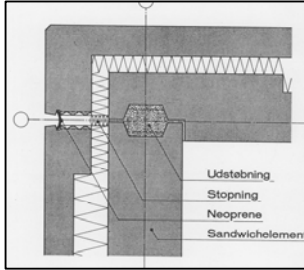
Omkring alle døre og vinduer er udført en 100 mm bred eller høj udmuring bestående af 100 mm udvendig betonfacade ($\lambda = 2,2 \text{ W/mK}$), 10 mm kuldebrosafbrydelse ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$) og 100 mm indvendig betonfacade ($\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$).



Figur 19: Udmuring omkring vinduer og døre, se bilag 5 detalje 6.

U-værdi for denne kuldebro: $U = 2,2 \text{ W/m}^2\text{K}$

Linietab for udmuringer: $\Psi_k = 0,06 \text{ W/mK}$



Figur 20: Eks. på samling mellem gavl og tung facade. (kilde 1)

Elementsamlinger

Ved elementsamlingerne i gavl og den tunge facade forekommer også en kuldebro, idet der er udmuringer ved begge tilstødende elementer. Udmuringerne består her af 130 mm udvendig betonfacade ($\lambda = 2,2$ W/mK), 10 mm kuldebrosafbrydelse ($\lambda = 0,05$ W/mK) og 100 mm indvendig betonfacade ($\lambda = 2,1$ W/mK).

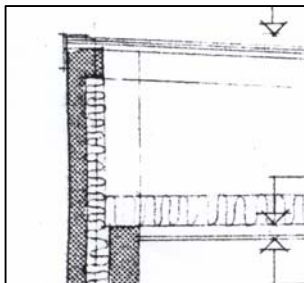
U-værdi for denne kuldebro: $U = 2,1$ W/m²K

Linietaf for udmuringer: $\Psi_k = 0,06$ W/mK



Billede 3: Fuge ved samling mellem elementer. (foto)

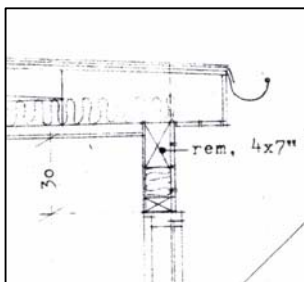
Der er sandsynligvis også et varmetab fra fugerne mellem facadeelementer, se billede 3.



Figur 21: Tung ydervæg / Tag, se bilag 5 detalje 2.

Ydervæg/tag (nord):

Spærfagene ligger på det inderste vægelement. Det yderste vægelement og isoleringen fortsætter op til spærhovedet.



Figur 22: Let ydervæg / Tag, se bilag 5 detalje 1.

Ydervæg/tag (syd):

Spærfagene ligger af på en rem, som ligger af på betonsøjlerne. Der er et lille tagudhæng med tagrende. Isoleringen i taget fortsætter ud i tagfoden.

6.1.8 Varmeanlæg

Alle husene i Røde Vejmølle Parken er som følge af krav i lokalplanen m.v. fjernvarmeforsynet individuelt, direkte koblet fra hovedledningsnettet via stik ført ind i husenes bryggers. Varmeanlægget er et 2-strengs anlæg uden veksleranlæg, hvor rumopvarmningen udelukkende foregår med pladejernsradiorer. Da radiatorerne er direkte koblede og gennemstrømmes af fjernvarmevand, som behandles på Albertslunds Varmeværk, vil korrosion blive mindst mulig. Huset er forsynet med en 150 liter varmtvandsbeholder placeret i bryggerset.

Radiatorerne i huset er placeret på brystningerne under de store vinduer mod haven, både på 1. sal og i stue. Da brystningerne er forholdsvis sparsomt isoleret, er der et stort varmetab herfra. Etableringen af brændeovne er ikke længere tilladt iflg. lokalplanen. (Kilde 23)

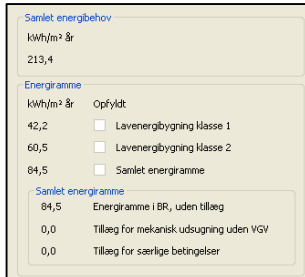
6.1.9 Ventilation

Huset er forsynet med udsugningsventiler som eneste ventilation i køkken, bryggers, bad og toilet. Derfor antages huset at være naturligt ventileret.

6.1.10 Inventar

I bryggerset er der gjort plads til vaskemaskine og opvaskemaskine samt installationsskab og ovn. Der er udført dræn af PVC-rør om alle boligblokke. Kloak er udført som separat system, så regn- og spildevand udledes til hver sin ledning. Badeværelset er forsynet med indmuret badekar og bruseniche. Gulvet er belagt med mosaikstifter og væggene med grå 15 x 15 cm fliser. Bryggersgulv og gulv på gæstetoiletet er udført af betonslidlag og belagt med brune 15 x 15 cm fliser. Øvrige gulve i huset er Junckers asketræsparket. I stuen: A-sortering. 1.sal: B-sortering. Trappen består af behandlede stålprofiler med håndliste og trin udført af lakeret "pitch pine"-træ.

6.2 Husets energibehov – 1971



Figur 23: Energigrænse for husets oprindelige konstruktion. Se bilag E.

Efter udregning af U-værdier og linietaf for alle husets konstruktioner og samlinger (se bilag A) kan husets samlede energibehov beregnes. U-værdier samt oplysninger om ventilationsbehov, internt varmetilskud, solindfald, varmt brugsvand, varmfordelingsanlæg m.m. er indtastet i Be06 (se bilag B og C). Det årlige energibehov for huset har, fra det blev bygget og til de første ændringer blev udført, været på 213,4 kWh/m² år. (Se nøgletal og resultater på bilag E og D). Dette tal dækker over et meget stort energi- og opvarmningsforbrug og ligger langt over, hvad der er tilladt for nybyggeri i dag. Det vil være et oplagt hus at energirenovere, og der ligger store besparelses- og forbedringspotentialer i en sådan renovering både mht. energi, økonomi og indeklima, som naturligt afhænger af hinanden. Når man skal renovere et hus, er der mange ting, der kan gøres, og det er nødvendigt med en vurdering af, hvor den største gevinst umiddelbart kan hentes. Herunder ses på fordelingen af det samlede varmetab.

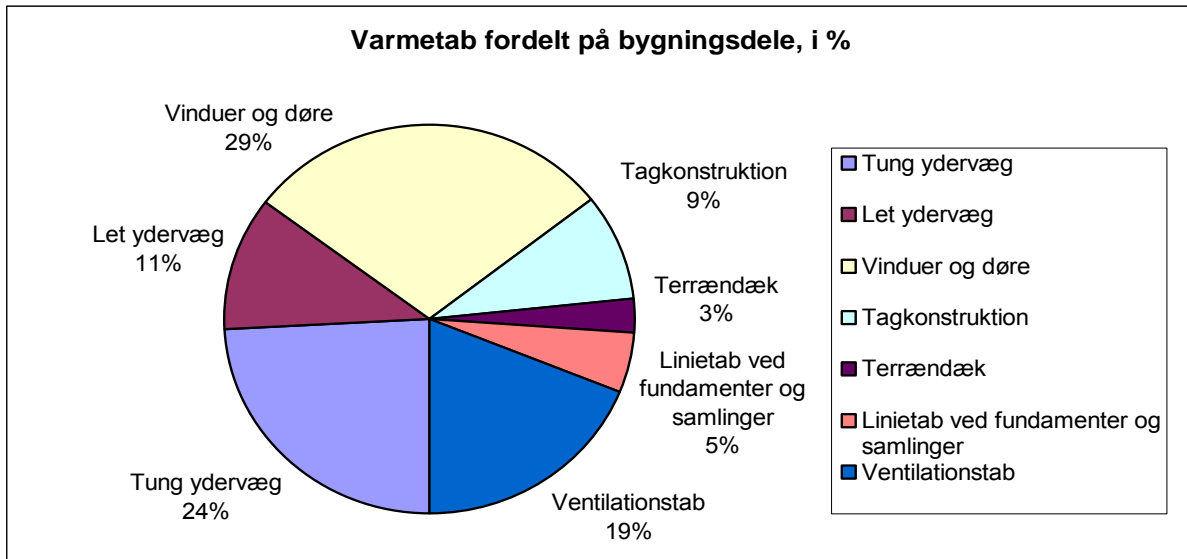
Tabel 1: Dimensionerende varmetab for oprindelig konstruktion – Værdierne er taget efter beregninger i Be06 programmet.

Oprindelig konstruktion

Transmissionstab:			58,1W/m ²
Samlet transmissionstab:	$\Phi_v = 58,1 \text{ W/m}^2 \cdot 152 \text{ m}^2$	=	9059,2W
Ventilationstab:			13,4W/m ²
Samlet ventilationstab:	$\Phi_v = 13,4 \text{ W/m}^2 \cdot 152 \text{ m}^2$	=	2036,8W
Samlet varmetab:	$\Phi_v = 71,5 \text{ W/m}^2 \cdot 152 \text{ m}^2$	=	10868W

Transmissionstabet fordelt på bygningsdele:

Bygningsdel	Φ pr. areal	Φ for samlet konstruktion
Tung ydervæg	25,89 W/m ²	2636,96W
Let ydervæg	38,40 W/m ²	1198,00W
Vinduer og døre	88,68 W/m ²	3159,32W
Tagkonstruktion	13,12 W/m ²	962,48W
Terrændæk	4,05 W/m ²	297,67W
Linietaf ved fundamenter og samlinger		571,35W
Ventilationstab		2036,80W
Samlet varmetab:		10862,60W



Figur 24: Samlede varmetab fordelt på bygningsdele – oprindelige forhold.

Ovenstående figur viser husets samlede varmetab fordelt på bygningsdelene og ventilation. Det ses, at 82 % af varmetabet er et transmissionstab, dvs. et varmetab ud gennem konstruktionsdele og vinduer. Af transmissionstabet sker det største tab gennem ydervæggene og gennem vinduer og døre, hvilket også var forventet. Det var forventet, at der ville have været et større tab gennem taget, end diagrammet viser, men det kan skyldes de meget store kuldebroer i ydervæggene konstruktion, som er den store, men lidt skjulte, synder i varmetabsberegningen.

I den lette ydervæg udgør kuldebroerne hele 45 % af varmetabet, og dette er i form af den massive uisolerede betondrager i etageadskillelsen samt de ligeledes uisolerede bærende betonsøjler og linietaabene imellem dem og vægkonstruktionen.⁶ Ved udvendig efterisolering vil man helt eller delvist kunne afskaffe disse betydelige kuldebroer, da blot en smule isolering vil reducere varmetabet markant. Det samme gælder for den tunge ydervæg, hvori der indgår store kuldebroer ved etageadskillelser og elementsamlinger, hvor der kun er 10 mm isolering.

⁶ Overslagstal vurderet ud fra varmetabsberegningerne, bilag A, side 7-10.

Vinduerne er som tidligere nævnt almindelige termoruder af 2 lag glas, som ikke har en god isoleringsevne. De er dog langt bedre end de helt gammeldags ét-lags-vinduer med U-værdier på 4-5 W/m²K, men langt fra hvad der kræves for at nå ned på et energibehov for lavenergi-byggeri. Efterhånden kan man få meget gode vinduer med U-værdier ned på 0,6-0,8 W/m²K, og som vil have op til 4 gange så god en varmeisoleringssevne som husets oprindelige termovinduer.

Ventilationstabet, som udgør de sidste 19 %, vil efter en renovering af klimaskærmen udgøre den samme absolutte værdi og dermed en større procentdel af det samlede tab. Installerer man derimod, som i dette tilfælde, mekanisk ventilation med varmegenvinding, vil ventilationstabet kunne reduceres med 70 %. I den oprindelige konstruktion kan man godt regne med, at luftskiftet i praksis er større end det dimensionerede på 0,5 gange i timen pga. utætheder i konstruktionen. På trods af den mekaniske udsugning i køkken og toiletrum, er indeklimaet i huset ikke særlig godt, hvilket bl.a. viser sig ved fugtproblemer på den indvendige side af ydervæggene.



Billede 4: Fugt på inderside af tung facade. (foto)

6.3 Husets energimærkning - 1971

Skalatrin	Grænseværdi i kWh/m ² år
A1	< 35 + 1100/A
A2	< 50 + 1600/A
B1	< 70 + 2200/A
B2	< 90 + 2700/A
C1	< 110 + 3200/A
C2	< 130 + 3700/A
D1	< 150 + 4200/A
D2	< 170 + 4700/A
E1	< 190 + 5200/A
E2	< 210 + 5700/A
F1	< 240 + 6500/A
F2	< 280 + 7500/A
G1	< 330 + 9000/A
G2	> 330 + 9000/A

A er det opvarmede etageareal i m².

Tabel 2: Energimærkningsskala for en- og flerfamiliehuse. (kilde 7)



Figur 25: Energimærket for det konkrete enderækkehus i 1971. (kilde 7)

Husets energimærkning bestemmes efter gældende Håndbog for energimærkningskonsulenter 2006, version 2.0.

$$D2: 214,3 \text{ kWh/m}^2\text{år} > 170 \text{ kWh/m}^2\text{år} + \frac{4700 \text{ kWh/m}^2\text{år}}{150 \text{ m}^2} = 201,3 \text{ kWh/m}^2\text{år}$$

$$E1: 214,3 \text{ kWh/m}^2\text{år} < 190 \text{ kWh/m}^2\text{år} + \frac{5200 \text{ kWh/m}^2\text{år}}{150 \text{ m}^2} = 224,7 \text{ kWh/m}^2\text{år}$$

Dvs. at rækkehusets energimærke er D2, da dets årlige energibehov er 201,3 kWh/m²år < **214,3 kWh/m²år** > 224,7 kWh/m²år. (Se bilag P)⁷

⁷ Håndbog for energimærkningskonsulenter 2006, version 2.0. Bilag 01, Energimærkningsskal for en- og flerfamiliehuse. (kilde 7)

7 Beskrivelse af ændringer fra opførelse til nu.

Siden de første beboere flyttede ind i det konkrete hus, er der foretaget nogle afgørende ændringer frem til nu. Dette er både konstruktive og arkitektoniske ændringer:

- 1971:** Etablering af bruseniche i indbygget skab i gang.
(Brusenichen er ikke tegnet på de oprindelige tegninger, men beboerne kan ikke huske, at den ikke har været der, og der foreligger ikke nogen skriftlige dokumenter fra dens opsætning. Derfor antages det, at den er kommet umiddelbart efter opførelsen af bebyggelsen, eller i forbindelse med opførelsen af de sidste huse).
- 1971:** Køkkenet er flyttet ca. 90 cm fra original placering. Køkkenelementerne er de oprindelige. (Køkkenet kan, lige som brusenichen, være opført i forbindelse med et tilvalg fra beboer under opførelsen.)
- 1975:** Hoveddøren er udskiftet af den første ejer af æstetiske hensyn.
- 1980:** Solafskærmning på 1.sal og overdækning af terrasse.
(Solafskærmningen kan ligesom brusenichen heller ikke findes på de oprindelige tegninger, men menes at være etableret af tidligere ejer.)
- 1984:** Etablering af natsænkning på varmeanlægget.
- 1985:** Skur ombygges til udhus til opbevaring og opholdsrum 18 m². (Se bilag 5, tilbygning)
- Fundament: fundablokke i 90 cm's dybde. Gulv: 200 mm stabilt grus, fugtspærre, 75 mm isolering, 80 mm beton, 12 mm krydsfiner. Vægge: Træstolpekonstruktion med 150 mm isolering og krydsfinerbeklædning på inder- og yderside. Tag: 2 lag tagpap. Ovenlysvindue etableres i taget, 100 x 100 cm.
- 1992:** Nyt tagpap lagt på hele boligblokken samt på karnappen og udhuset. Samtidigt udskiftedes alle tagrender på blokken til nye halvrunde tagrender af plast. Ovenlysvinduet udskiftet.

- 2000:** Ydervæggen mod haven i karnappen gennemgik en renovering pga. råd. Hele facaden blev fjernet og opbygget på ny efter samme konstruktionsprincip. Samtidig udskiftedes de to vinduer i karnappen til bedste lavenergiruder på daværende tidspunkt $u = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Ydervæggen i karnappen mod vest undladte man at renovere, da belastningen fra vind og vejr ikke havde været så stor her.
- 2000:** Ventilationsanlæg på tag udskiftet
- 2001:** Toilet-kummer på badeværelse og toilet udskiftet til nye med sparefunktioner.
- 2002:** Ventilationshuller pr. 750 mm i gadefacaden gøres større, som følge af fugtproblemer i tagrummet, da ventileringen ikke har været tilstrækkelig.

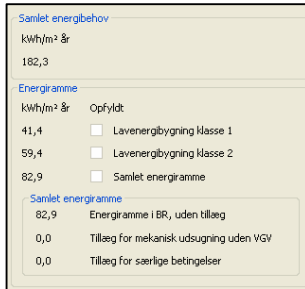


Billede 6: Ventilationshuller i tagrum. (foto)

Billede 5: Nye ruder på 1. sal. (foto)

- 2003:** Alle vinduer på 1.sal udskiftet til bedste lavenergiruder på daværende tidspunkt $u = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- 2004:** Varmtvandsbeholder udskiftet fra 150 liters til ny på 110 liter.
- 2006:** Bryggers istandsat. Inventar udskiftet. Armaturer i hele huset og vaske i badeværelse og gæstetoilet udskiftet.

7.1 Husets energibehov - 2006



Figur 26: Energigramme gældende for husets nuværende konstruktion. Se bilag J.

De største ændringer på huset siden opførelsen, og de ændringer, der betyder mest for husets energiregnskab, er ombygningen af skuret til opholdsrum samt udskiftning af udvalgte vinduer med lavenergiruder. En anden betydningsfuld ændring er solafskærmningen, som sørger for, at der ikke sker en kraftig overophedning i værelserne på 1. sal. (Ændrede beregninger, samt input ses i bilag F-I.) På figuren til venstre ses husets samlede årlige energibehov på 182,3 kWh/m² år, hvilket stadig er langt over, hvad der tillades for nybyggeri i dag. (Se bilag J)

Herunder ses beregningen af det dimensionerende varmetab samt fordelingen af varmetabet på de forskellige bygningsdele. Det samlede varmetab var for den oprindelige konstruktion 71,5 W/m², og i Tabel 3 ses det tilsvarende varmetab på 70,5 W/m² for den nuværende konstruktion. Det nuværende varmetab er en lille smule mindre end det oprindelige, og det er overvejende pga. de nye vinduers bedre varmeisoleringssevne. Det ses dog også, at det

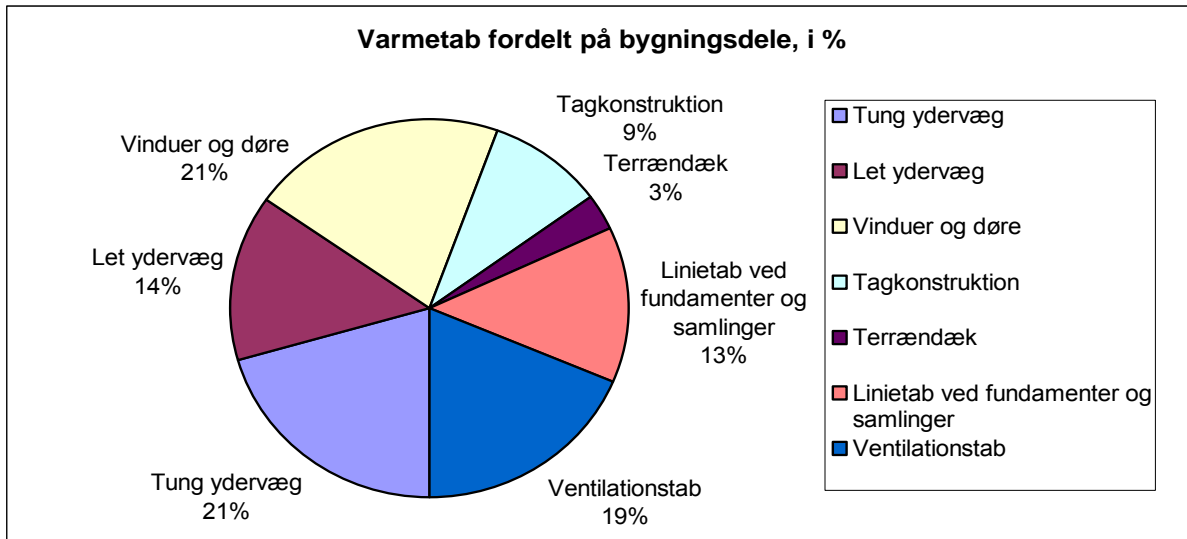
Tabel 3: Dimensionerende varmetab for den nuværende konstruktion – Værdierne er taget efter beregninger i Be06 programmet.

Nuværende konstruktion

Transmissionstab:			57,3W/m ²
Samlet transmissionstab:	$\Phi_v = 57,3 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	9798,3W
Ventilationstab:			13,2W/m ²
Samlet ventilationstab:	$\Phi_v = 13,2 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	2257,2W
Samlet varmetab:	$\Phi_v = 70,5 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	12055,5W

Transmissionstabet fordelt på bygningsdele:

Bygningsdel	Φ pr. areal	Φ for samlet konstruktion
Tung ydervæg	25,81 W/m ²	2481,92W
Let ydervæg	28,59 W/m ²	1688,00W
Vinduer og døre	68,19 W/m ²	2515,35W
Tagkonstruktion	12,58 W/m ²	1136,26W
Terrændæk	4,10 W/m ²	375,10W
Linietaf ved fundamenter og samlinger		1594,64W
Ventilationstab		2247,20W
Samlet varmetab:		12038,5W



Figur 27: Dimensionerende varmetab fordelt på bygningsdele.

reelle varmetab er større for den nuværende konstruktion, hvilket skyldes, at huset har fået et større samlet opvarmet areal som følge af inddragelse og ombygning af skuret til ophold.

De udførte ændringer afspejler sig ligeledes i den procentvise fordeling af varmetabet. På ovenstående figur ses, at tabet gennem vinduer og døre i 2006 kun udgør 21 %, i forhold til 29 % i 1971. Der er mere let ydervæg i den samlede konstruktion end før, da tilbygningen består af en træstolpekonstruktion. Tabet igennem den tunge ydervæg er blevet mindre, hvilket skyldes, at ca. 1/6 af facaden mod gaden, der før var ydervæg, nu er indervæg i tilbygningen.

Den største ændring i diagrammet er dog forøgelsen af linietafene ved fundamenter og samlinger ved vinduer og døre. Denne forøgelse skyldes hovedsageligt den meget lidt energibesparende konstruktionsløsning ved tilbygningens fundament, hvor ydervæg og terræn mødes på hver sin side af fundamentet, således at det er fuldstændigt blottet indendørs og udgør en meget stor kuldebro. Ventilationstab er det samme før og nu, men det er svært at kende det nøjagtige luftskifte i et hus, da der skal avancerede lufttrykmålinger til at bestemme det. Derfor er det overalt i rapporten angivet til 0,5 gange i timen.

Energirigtig renovering af ældre enderækkehus fra 1971
Eksamensprojekt BYG*DTU 2006

Bygningsdel	U-værdi [W/m ² K]	Resulterende U-værdi [W/m ² K]	Delareal [m ²]	Samlede areal [m ²]	Varmetab, Φ [W]
Tung ydervæg (nord)					
Tung facade	0,57	}	37,1	54,4	1479,7
Etageadskillelse	2,1		1,0		
Udmuringer	2,2		1,0		
Elementsamlinger	2,1		2,9		
Tung ydervæg (gavl)					
Gavl facade	0,57	}	32,3	41,8	1002,2
Elementsamlinger	2,1		1,6		
Etageadskillelse	2,1		1,4		
Let ydervæg					
Let facade	0,62	}	23,1	31,2	1098,2
Betonsøjle, stue	3,3		0,9		
Betonsøjle, 1.sal	2,5		1,0		
Betondrager	2,8		3,9		
Tagkonstruktion					
Tag (hovedhus)	0,39	}	66,4	73,4	962,5
Tag (karnap)	0,57		6,4		
Terrændæk					
Trægulv	0,37	}	57,7	66,9	267,7
Klinkegulv	0,57		9,2		
Terrændæk i karnap					
Trægulv	0,37	}	6,5	6,5	29,9
Skillevægsgulv	0,46		0,6		
Let ydervæg i tilbygning					
Let facade	0,41	}	27,8	27,8	490,0
Betonsokkel ved fundament	3,1		0,6		
Tagkonstruktion i tilbygning					
Tag	0,31	}	17,0	17,0	174,1
Terrændæk i tilbygning					
Trægulv	0,31	}	15,4	18,0	77,4
Randfundament	0,48		1,5		
Skillevægsgulv	0,49		1,1		

Tabel 4: Samlede varmeledningskoefficienter før renovering.

Ovenstående tabel giver et overblik over de forskellige bygningsdeles U-værdier. Samtidigt giver den en fornemmelse af vægtningen af de dele, som hver konstruktionsdel består af. Fx ses, hvor store U-værdier betonelementerne i den lette ydervæg har, og at de næsten betyder en fordobling af U-værdien for den sydlige facade.

Energirigtig renovering af ældre enderækkehus fra 1971
Eksamensprojekt BYG*DTU 2006

Vinduer og døre	Opr. U-værdi	Antal Stk.	Nuv. U-værdi [W/m ² K]	Areal, A [m ²]	Varmetab, Φ [W]
Type A: Bryggers/Entre	2,9	2	2,9	0,4	66,8
Type B: Stue (nord)	2,9	2	2,9	1,1	210,7
Type C: Bad	2,5	1	1,7	0,4	22,8
Type D: Oplukkelig - Køkken	2,7	2	2,7	1,3	228,1
Type E: Køkken	2,9	1	2,9	1,5	134,6
Type F: Spisestue	2,9	1	2,9	2,8	257,1
Type G1: Pergola	2,9	1	2,9	3,8	356,4
Type G2: Pergola, syd	-	1	1,3	3,8	159,7
Type H: Pergola - oplukkelig	2,8	1	1,4	2,0	90,5
Type I: 1. sal oplukkelig	2,7	5	1,5	1,2	277,4
Type J: 1. sal	2,9	4	1,4	1,2	207,2
Type K: Ovenlysvindue	2,8	1	1,6	0,5	25,6
Type L: Vindue i tilbygning	-	1	2,5	0,4	28,8
Type M: Ovenlys i tilbygning	-	1	2,9	1,0	92,8
Døre:					
Type 1: Hoveddør	2,0	1	1,6	1,9	96,8
Type 2: Bryggersdør	2,5	1	1,6	1,9	96,8
Type 3: Havedør	2,0	1	2,0	2,1	134,4
Samlinger ved vinduer/døre			ψ [W/mK]	l [m]	Φ [W]
Tung facade (hovedhus)			0,05	22,7	36,3
Let facade (mod beton)			0,34	22,7	247,0
Tag (hovedhus)			0,05	3,0	4,8
Tag (tilbygning)			0,05	4,0	6,4
Samlinger ved fundamenter			ψ [W/mK]	l [m]	Φ [W]
Tung facade (hovedhus)			0,83	14,0	371,8
Let facade (hovedhus)			0,72	6,4	147,5
Tung facade (karnap)			0,83	2,1	55,8
Let facade (karnap)			0,72	5,3	121,0
Let facade (tilbygning)			0,72	24,0	553,0
Samlede transmissionstab:	Φ _t =				5581,8
Ventilationstab:	Φ _v = ρ · c · q · (θ _i - θ _e) = Φ _v = 1,205 kg/m ³ · 1005 J/kgK · 0,0517 m ³ /s · (20°C - (-12°C))				
	Φ _v =				2004,4
Dimensionerende varmetab:	Φ = Φ _t + Φ _v =				7586,1

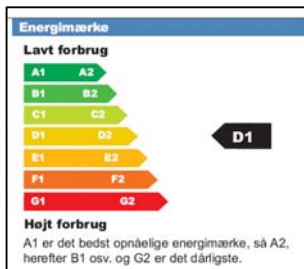
Tabel 5: Varmetabskoefficienter for vinduer og døre samt beregning af dimensionerende varmetab.

7.2 Husets energimærkning - 2006

Skalatrin	Grænseværdi i kWh/m ² år
A1	< 35 + 1100/A
A2	< 50 + 1600/A
B1	< 70 + 2200/A
B2	< 90 + 2700/A
C1	< 110 + 3200/A
C2	< 130 + 3700/A
D1	< 150 + 4200/A
D2	< 170 + 4700/A
E1	< 190 + 5200/A
E2	< 210 + 5700/A
F1	< 240 + 6500/A
F2	< 280 + 7500/A
G1	< 330 + 9000/A
G2	> 330 + 9000/A

A er det opvarmede etageareal i m².

Tabel 6: Energimærkningsskala for en- og flerfamiliehuse. (kilde 7)



Figur 28: Energimærket for det konkrete enderækkehus i 2006. (kilde 7)

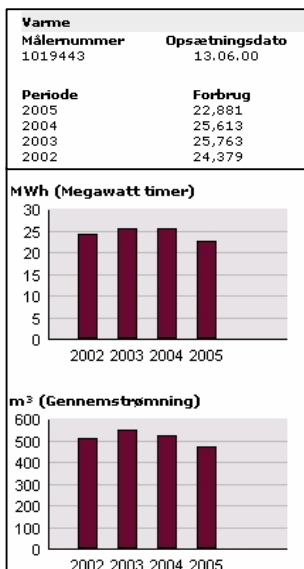
Husets energimærkning bestemmes efter gældende Håndbog for energimærkningskonsulenter 2006, version 2.0.

$$D1: \quad 182,3 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} > 150 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} + \frac{4200 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}}{171 \text{ m}^2} = 174,6 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$$

$$D2: \quad 182,3 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} < 170 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} + \frac{4700 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}}{171 \text{ m}^2} = 197,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$$

Dvs. at rækkehusets energimærke er D1, da dets årlige energibehov er $174,6 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} < 182,3 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} > 197,5 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$. (Se bilag P)⁸

7.3 Brugernes faktiske forbrug



Tabel 7: Forbrugers faktiske varmeforbrug. (kilde 11).

Ud fra Be06-beregningerne skulle det konkrete hus bruge ca. 31,2 MWh/år. Dette er 26 % højere end beboernes faktiske forbrug for 2005, som lå på 22,9 MWh/år. (se tabel 7). Dette er dog kun for varme idet el (inkl. for belysning) udgør ca. 3,8 MWh/år. Alligevel forventes det samlede energiforbrug stadig at være mindre, bl.a. fordi de fleste elektroniske apparater i huset er A-mærket. Samtidig er de fleste pærer sparepærer og der forefindes todelt skyl på toiletter samt perlatorer på vandhaner m.v. Ligeledes er familien sportsaktive, og mange varme bade foretages derfor uden for huset.

Vi kan derfor konkludere, at familien i det konkrete hus er forholdsvis miljøbevidste, hvilket også sætter sit præg på forbruget af energi.

⁸ Håndbog for energimærkningskonsulenter 2006, version 2.0. Bilag 01, Energimærkningsskal for en- og flerfamiliehuse. (kilde 7)

8 Opstilling af løsningsforslag til totalrenovering.

I det følgende beskrives forslag til ændringer, der kan forbedre den energimæssige tilstand på det konkrete enderækkehus i Albertslund, så det kan opfylde kravene for energiklasse 1. Der gennemgås muligheder for efterisolering, udskiftning af vinduer, tætning af bygningen og installation af energieffektiv ventilation og solvarmeanlæg til opvarmning af varmt brugsvand. Beregninger af de endelige forslag og behandlinger i Be06 findes i bilag K-O. Herudover findes tegninger af renoverede konstruktioner i bilag 7-10.

8.1 Hvad er et energimærke?

Som nævnt i indledningen trådte der pr. 1. september 2006 et tillæg til Bygningsreglementet i kraft, der gør det lovpligtigt for alle husejere at energimærke sit hus. En energimærkning består af et "Energimærke" og en "Energiplan & dokumentation", som tilsammen udgør "Energimærkerapporten".

Ved en energimærkning forstås en standardiseret og dokumenteret opgørelse over en bygnings energimæssige tilstand i forhold til andre bygninger. Herunder vurderes ligeledes vandforbrug, energiforbrug i tekniske installationer og apparater samt forslag til forbedringer. Ordningens formål har været at fremme energi- og vandbesparelser og øge effektiviteten inden for al anvendelse af energi og vand i bygninger. Energimærkningen udarbejdes på baggrund af en systematisk registrering af de energimæssige forhold i bygningen, og skal gøres af en autoriseret energimærkningskonsulent. Herefter tildeles bygningen et konkret energimærke for såvel varme, el, vand, CO₂ udledning samt en udførlig energiplan, der tydeligt illustrerer for husets ejer eller køber, hvor der kan udføres rentable energibesparelser.⁹

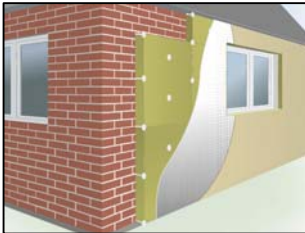
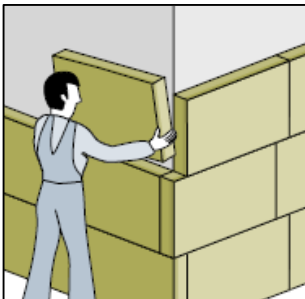
⁹ Kilde 15: www.femsek.dk

8.2 Efterisolering

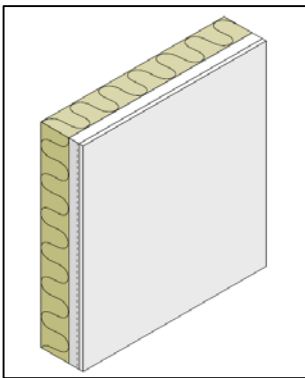
8.2.1 Ydervægge



Billede 7: Efterisolering af hulrum. (kilde 20)



Figur 29: Illustration af udvendig efterisolering af skalmur. (kilde 9)



Figur 30: Rockwool Facadebatt. Opbygning: Puds, facadenet, sokkelpuds, underpuds, facadelameller/facadebatts, facadeklæber. Se bliag., (Kilde 9)

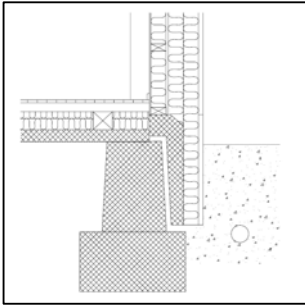
Mulige efterisoleringsformer:

- *Hulmursisolering* – Denne metode bruges, når der forekommer et uisolaret hulrum i en ydervæg. Efterisoleringen foregår ved at indblæse isoleringsmateriale i dette hulrum og er stort set altid rentabelt.

- *Udvendig isolering* – Foregår ved at påsætte isolering uden på den eksisterende facade. Fordelen ved udvendig isolering er, at hele vægfladen isoleres og negligerer evt. kuldebroer ved etageadskillelser og skillevægge, og gør det samtidig muligt at isolere fundamentet. Ulempen er dog, at løsningen kræver en arkitektonisk vurdering af huset, da udseendet i nogle tilfælde vil ændres radikalt. Dette kræver enten en ændring i lokalplanen eller godkendelse af kommunen. Til gengæld giver facadeisolering mange valgmuligheder mellem forskellige strukturer og farver.

- *Indvendig isolering* – Foregår ved at opsætte isolering på indersiden af facaderne. Fordelen herved er, at bygningens udseende ikke ændres. Til gengæld reduceres boligarealet, og det er kun dele af vægfladen, som kan isoleres. Samtidig risikeres nedbrydelse af ydervæggen, da denne bliver koldere og dette særligt med indvendig isolering på mere end 50 mm.

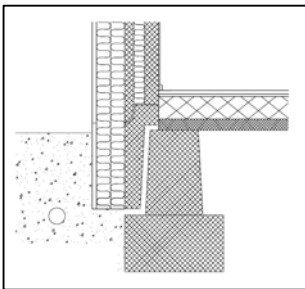
Samtidig med at der er forskellige måder at efterisolere en ydervæg på, findes der også flere forskellige måder at efterisolere udvendigt på. Til dette hus har vi valgt et facadesystem fra Rockwool FacadeSystem, hvor der efterisoleres med "Facade Flexi A-batts", da de har den bedste varmeisoleringssevne og er fleksible at arbejde med. Det er stenuldsbatts, der opsættes med klæber på den eksisterende facade. Hvis man ønsker at udføre arbejdet selv, anbefales det at opsætte isoleringen efter en fremgangsmåde med stolper og lægter. Det er lettere at udføre, men vil give en dårligere isoleringssevne, da træarealet i facaden bliver betydeligt større. Da vi i dette projekt forsøger at renovere huset til at opfylde kravene for lavenergiklasse 1, vælger vi systemet med klæber og ikke stolpe/lægte-løsningen.



Tegning 1: Samling ved let ydervæg / fundament, bilag 10,2.

Fordelene ved den udvendige efterisolering er, at man får pakket hele huset ind og derved også alle samlinger m.m., som altid vil udgøre en eller anden form for kuldebro. Man kan skabe en naturlig og flot facade og pudse den nye facade, så den næsten er identisk med den gamle. Udvendig efterisolering forhindrer nedbrydning af den gamle ydervæg, da der skabes et temperaturmæssigt stabilt miljø omkring den, idet den efter renoveringen vil befinde sig på den varme side af konstruktionen. Huset gøres så lufttæt som muligt, men facade-systemets diffusionsåbne overflader sikrer at både pudsen og klimaskærmen forbliver intakt i mange år, da fugten ledes ud af konstruktionen og skimmeldannelser undgås. Desuden skabes der langt bedre betingelser for et godt indeklima og større komfort.

Selvom der er mange fordele ved en sådan efterisolering, skal man huske på, at det er et omkostningsfuldt indgreb, der kun kan gøres på hele husets facadeareal. Dvs. at selvom vi i dette projekt kun beskæftiger os med et konkret rækkehus, kræver det, at beboerne i hele rækkehuslængen bliver enige om en renovering, for at det kan gennemføres i praksis. Det vil derimod være en mulighed at efterisolere gavlen uden at skulle indblande naboerne.



Tegning 2: Samling ved tung ydervæg / fundament, bilag 10,1.

For at få huset ned i lavenergiklasse 1, har vi udarbejdet et forslag til ydervæggene, hvor der opsættes 200 mm isolering uden på alle husets facader. Det har været nok til at skabe nogle meget lave U-værdier (se bilag K), bl.a. fordi der var lidt isolering i væggene i forvejen, og fordi husets meget store kuldebroer fjernes med den ekstra isolering. Samtidig er løsningerne realistiske og bevarer husets æstetiske udtryk. Under projekteringen er vi mange steder stødt på hjørner og andre samlinger, hvor der findes flere løsninger, men vi har medtaget de mest indlysende løsninger og de løsninger, det har været muligt at finde inden for projektets tidsramme. På bilag 10,8 og 10,9 ses konstruktionsdetaljer over konkrete ændringsforslag.

8.2.2 Tag

Mulige efterisoleringsformer for et fladt tag:

- *Udvendig isolering* - er oplagt, hvis taget er utæt og alligevel skal renoveres. Efterisolering kan ske ved at lægge plader af trykfast isolering og derpå en ny tagdækning.
- *Indvendig isolering* - er kun muligt, hvis lofthøjden ikke bliver under 2,3 m efter isoleringen.
- *Indblæsning af isoleringsmateriale* - kan finde sted, hvis der er et hulrum i det flade tag.

Normalt vil en stor del af et hus' varmetab ske gennem taget. I dette konkrete tilfælde er der umiddelbart to muligheder at efterisolere taget på:

Udvendig efterisolering



Der udlægges ca. 300 mm mineraluld direkte oven på den eksisterende tagbeklædning. Mineraluldsbatten skal være specielt fremstillet til efterisolering af flade tage, og dermed lægges tagdækningen direkte oven på de udlagte batts. Denne løsning gør det muligt at forøge taghældningen til større fald, ved anvendelse af kileskårede batts. Samtidig har løsningen de fordele, at byggegener inde i boligen undgås, samt at isoleringen bliver homogen i hele tagets udstrækning.



Ved denne løsning skal der påregnes justeringer af den eksisterende tagventilation, løft af tagrende og forhøjelse af sternkant¹⁰. For at få udført denne efterisolering er det en forudsætning, at samtlige boligejere i rækken bliver enige om metoden, og får den udført samtidigt. Metoden er ligeledes især anvendelig, hvis den eksisterende tagbeklædning trænger til udskiftning.

Billede 8: Udlægning af efterisolering på fladt tag. (kilde 9).

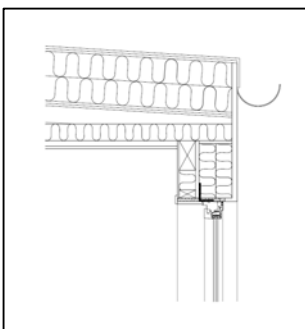
¹⁰ Der skal tages højde for lokalplansændringer.

Indvendig efterisolering

Ved indvendig efterisolering skal den indvendige loftbeklædning, forskalling og dampspærre nedtages, hvorefter der ophænges forøget isoleringstykkelse, idet ventilation mellem tagflade og isoleringsoverkant sikres at være en min. 50 mm luftspalte. Herefter etableres ny dampspærre, og der opsættes gipspladeloft. Vi undlader at genanvende de gamle loftplader af karlit, som er træfiberplader godkendt som klasse 2 loftbeklædning.

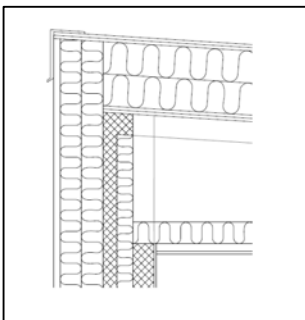
Ved denne metode vil der opstå en del byggegener i boligen, og der vil være begrænsninger på isoleringstykkelsen på grund af krav til rumhøjde. Metoden er en anvendelig løsning, hvis boligejerne ikke kan blive enige om en sammenhængende efterisolering udvendigt.

Udvendig efterisolering af taget giver den bedste varmeisoleringssevne, og samtidig bliver linietafet langs samlingen omkring ovenlysvinduet så lille, at den ikke har betydning for beregningerne. Dette kan antages, da vinduet flyttes op, så karmen er ud for den nyanlagte isolering.



Tegning 3: Detaljetegning af samling ved tag/let ydervæg, se bilag 10,4.

Vi har valgt den udvendige efterisolering som løsning i dette tilfælde, da den ønskede varmeisoleringssevne ikke kan opnås ved den indvendige løsning. Ligeledes gøres taget til et varmt tag og vil derfor få forøget sin levetid. Den udvendige løsning kan igen beregnes og udføres på to forskellige måder.



Tegning 4: Detaljetegning af samling ved tag/tung ydervæg, se bilag 10,3.

I taget ligger i dag 100 mm (i nogle huse kun 75 mm) mineraluld, som enten kan medregnes i beregningerne eller ej. Hvis det eksisterende isoleringslag medregnes, **pålægges 200 mm ny isolering** på den eksisterende isolering, og spærrene forhøjes. Det ventilerede hulrum mellem spær/isolering og tagpap skal opretholdes, og nyt tagpap udlægges. På denne måde får man en samlet isoleringstykkelse på 300 mm og en U-værdi for tagkonstruktionen på 0,13 W/m²K. (Se bilag K)

Hvis det eksisterende isoleringslag *ikke* medregnes, **udlægges 300 mm trykfast ny isolering** oven på det eksisterende tagpap, der skabes et ventileret hulrum og nyt tagpap udlægges. Det er vigtigt, at den udvendige isolering har mindst samme isoleringsværdi, som den eksisterende isolering har for at undgå fugtproblemer. Det

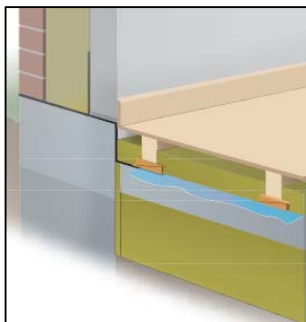
kolde tag er nu ændret til et varmt tag, og den oprindelige ventilation skal lukkes. Dette må dog først ske efter tidligst 1 år, og først når den gamle konstruktion er udtørret. Da man ikke helt kan udelukke mindre fugtmængder i tagkonstruktionen, som kan forårsage et overtryk, når temperaturen stiger, bør dette udlignes ved hjælp af hætter eller udligningsspalter i sternen. Det gamle ventilerede hulrum regnes i dette tilfælde som "uopvarmet opholdsrum".

Den gamle tagdækning i det merisolerede tag fungerer nu som dampspærre, og det er vigtigt, at denne er tæt, så der ikke strømmer varm rumluft op igennem den.

På denne måde opnås en samlet isoleringstykkelse på 400 mm, men kun de 300 mm må medtages i beregningerne. Alligevel giver det en bedre U-værdi på 0,12 W/m²K, og derfor er denne løsning valgt i den endelige totalløsning. (Se bilag 10)

8.2.3 Terrændæk

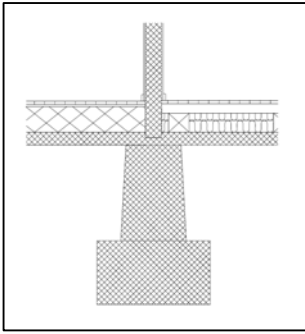
Når man vil efterisolere et terrændæk, har man ikke lige så mange muligheder som ved efterisolering af ydervægge og tage, og det er knap så almindeligt at efterisolere terrændækket, da det sjældent er den del af huset, der slipper mest varme ud igennem. Hvis det skal være muligt at få huset ned i en af lavenergiklasserne, er det nødvendigt efterisolere huset med 100 mm i terrændækket.



Billede 9: Illustration af isolering under trægulv. (Kilde 9)

Terrændækket består af to forskellige slags konstruktioner, trægulv på strøer og klinkegulv. Trægulvet er bygget op af 80 mm betonklaplag, hvorpå der er lagt 50 mm isolering, strøer og gulvbrædder. Klinkegulvet er uisolereet og består af 155 mm beton, 15 mm mørtel og 25 mm klinker. Der er kun få centimeters hulrum mellem trægulvet og den eksisterende isolering, så det vil være nødvendigt at hæve gulvet, hvis der skal være plads til mere isolering. Det gælder også for klinkegulvet. Hoveddør og havedør i huset er på nuværende tidspunkt begge 2,2 m høje, så der er tilstrækkelig plads til at hæve gulvet. Enkelte steder kan det være nødvendigt at skabe et trin inde i huset, hvis dørene åbner indad.

Efterisolering af trægulvet foregår ved først at fjerne det eksisterende gulv og isolering. Derefter udlægges 150 mm ny trykfast

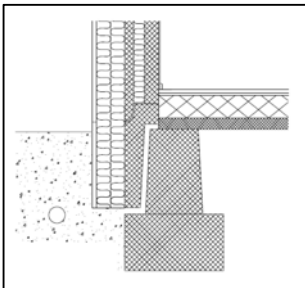


Tegning 5: Detaljetegning af terrændæk – trægulv og klinkegulv, se bilag 10,7.

isolering, fx Rockwool Flexi A-batts, fugtspærre, opklodsning, strøer og trægulv. For at hindre radon i at trænge op gennem terrændækket, udlægges fugtspærre på 0,2 mm plastfolie. Det er vigtigt, at isoleringstykkelsen over fugtspærren ikke overstiger 50 mm af hensyn til fugtproblemer. Det gamle trægulv kan genbruges, hvis det fx har en særlig æstetisk værdi og er optaget nænsomt.

Klinkegulvet efterisoleres ved at bryde de gamle klinker op og udlægge den samme trykfaste isolering på det eksisterende betonklaplag. Når man udfører en sådan renovering, kan det anbefales at installere gulvvarme samtidigt. Ovenpå gulvvarmeslanger påføres mørtel og nye klinker (lyse og tidløse klinker anbefales). Terrændækket nye samlede U-værdi er på 0,13 W/m²K.

8.2.4 Fundament



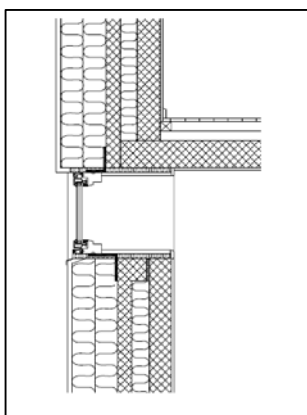
Tegning 6: Detaljetegning af samling ved fundamnet/tung ydervæg, se bilag 10,1.

Fundamentet efterisoleres samtidigt med ydervæggene. Der udgraves, så hele fundamentssoklen er fri, og de udvendige isoleringsbatts føres helt ned til sokkelunderkant. Herefter pudses med en særlig sokkelpuds. Isoleringen føres kun ned til 60 cm's dybde og ikke i hele fundamentets dybde, da det som tidligere anført er et punktfundament. Dette vurderes dog ikke at have indflydelse på konstruktionens stabilitet.

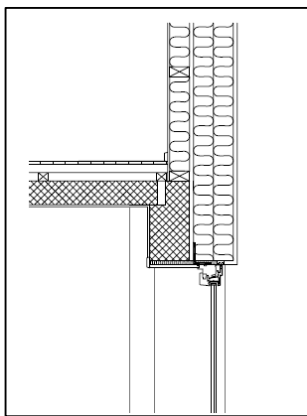
8.3 Udskiftning

Nogle gange er det ikke nok at renovere eller forbedre, hvorfor der må en decideret udskiftning til. Termovinduer fra 60'erne og frem til 90'erne kan i dag betragtes som udtjente. De fleste er af dårlig kvalitet (træ med for lavt harpiksindhold), og ruderne er måske punkteret.

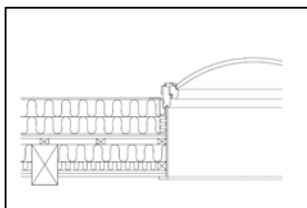
8.3.1 Vinduer og døre



Tegning 7: Detaljetegning af vinduer i tung ydervæg, se bilag 10,5.



Tegning 8: Detaljetegning af vinduer i letfacade, se bilag 10,6.



Tegning 9: Detaljetegning af ovenlysvindue i tilbygning, se bilag 10,10.

Vinduerne er generelt det område i konstruktionen, hvor det største varmetab sker igennem, da klimaskærmen her er gennembrudt. Derfor vil man kunne mindske varmetabet betydeligt ved at udskifte de gamle termoruder med nye lavenergiruder, og de gamle døre til nye og bedre. De nyeste og bedste vinduer, der produceres i dag kan fås med en U-værdi for ruden på $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en såkaldt "varm kant" med indsatte korkstykker.

Hos Vrøgum A/S kan fås 0-energiruder, hvis betegnelse dækker over et meget lavt varmetab. (De enkelte vinduers og døres U-værdier udregnes specifikt, se bilag K, side 18). Hvis vinduer og døre samtidig flyttes ud i den nye facade, minimeres linietabet mellem karm og facade, da karmen kun støder mod den nye isolering på facaderne. (Se beregninger i bilag K, side 17). For at få vinduerne til at sidde ud for den nye efterisolering, monteres de med vinkelbeslag på den oprindelige beton- eller snedkerfacade. Herefter pudses og fuges op til karmen.

Når man efterisolerer huset og forøger facadebredden med 200 mm, vil der opstå en forholdsvis bred vindueskarm. Dette er endnu en grund til, at det vil være en fordel at rykke vinduerne ud i facaden, så man kan benytte denne plads indvendig. Enten som rummelig karm eller som opbevaringsplads over bryggersdør. (se bilag 10,5) Man vil i denne forbindelse skulle montere lysningskasser i indvendigt vindueshul, så vindueskarmen får en jævn overflade.

Ligeledes skal man i forbindelse med ændringen af taget flytte ovenlysvinduerne op i den nye isolering, så linietabet bliver ubetydeligt lille.

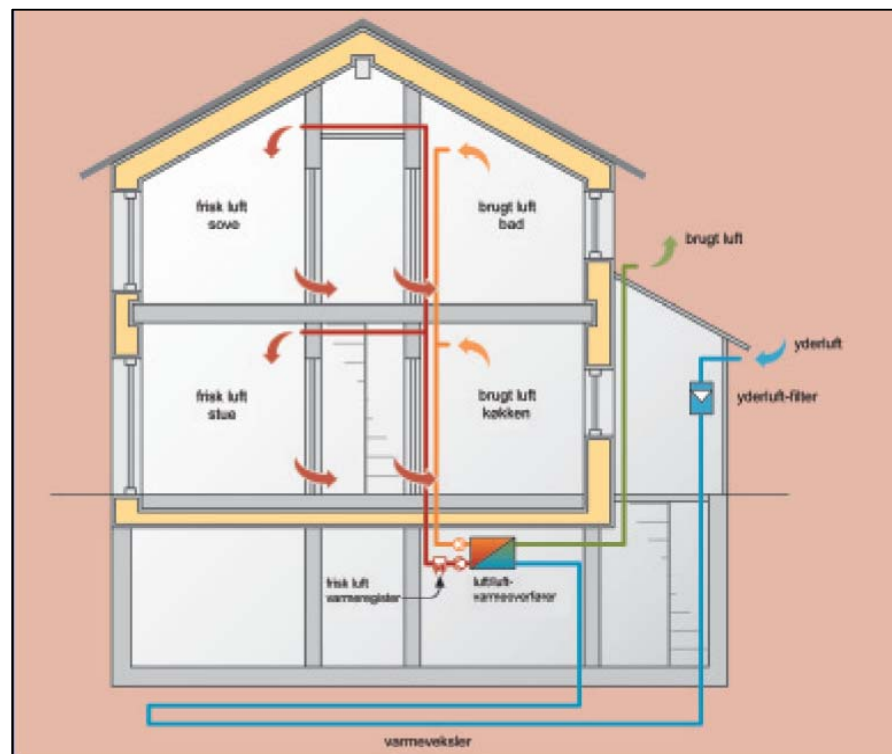
8.4 Yderligere tiltag

8.4.1 Ventilation og varmegenvinding

Den eksisterende ventilation i huset består af et manuelt styret udsugningssystem, som tændes efter behov. Yderligere ventilering sker ved naturlig ventilation.

Efter en total renovering af huset formindskes det naturlige luftskifte gennem sprækker, fuger og utætte vinduer og døre betragteligt. Dette problem kan ganske vist afhjælpes ved at åbne vinduerne, men derved forsvinder den energibesparelse, man har opnået, ud i den blå luft. På den måde vil der skulle bruges meget energi på at opvarme den luft, der kommer udefra. Derfor er det oplagt at genvinde en del af den energi, der forsvinder ud af huset med den brugte luft. Det kan gøres ved at installere et mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding.

Udover at mindske energibehovet giver den optimerede og højeffektive mekaniske ventilation et meget sundt og behageligt indeklima uden støjgener. Der vil altid være frisk luftforsyning, og inden luften blæses ind i bygningen, varmes den op og filtreres for forurening fra trafik, pollen og andet støv.



Figur 31: Principtegning af hus med ventilation med varmegenvinding. (kilde 19)



Billede 10: Ventilationsaggregat fra Nilan Comfort, se bilag Q.
(Kilde 13)

Til huset foreslås et balanceret ventilationssystem, som bygger på et princip, hvor der indblæses samme mængde luft, som der ventileres bort via udsugning. Aftræksarmaturer placeres i "luftforurende" rum, dvs. køkken, badeværelser og bryggers og indblæsningsarmaturer i opholdsrum. Derved vil luftstrømmen gå fra køkken/bad til stuer og værelser, og det undgås, at forurenede luft siver ud i opholdsrum. Luft hastigheden skal dog være så lav, at trækgener undgås, ifølge Bygningsreglementet max. 0,15 m/s i opholdszonen.

Der vælges et aggregat fra Nilan Comfort, hvor energien fra udsugningsluften overføres til indblæsningsluften via en højtydende modstrømsveksler, hvilket indebærer en temperaturvirkningsgrad på helt op til 95 %.¹¹

Ifølge Be06 betyder varmegenvindingen, at ventilations-tabet er blevet forbedret med 2093,3 W, hvilket svarer til en konstant besparelse på 1402,2 kWh pr. år for hele huset.¹²

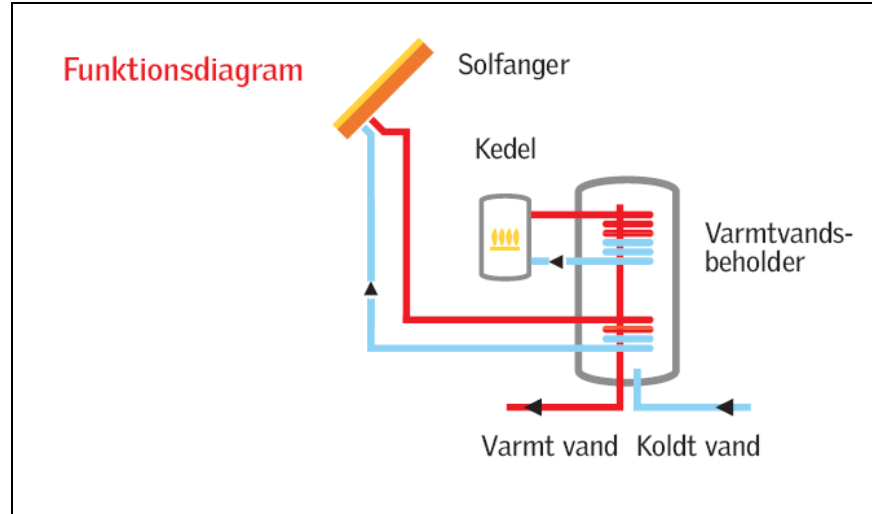
8.4.2 Solvarmeanlæg

Det vil oftest være nødvendigt at anskaffe et solvarmeanlæg til sit hus, hvis det skal kunne overholde kravene til en af lavenergiklasserne. Ca. 20 % af det samlede varme forbrug går til opvarmning af varmt vand, og af dette behov kan et solvarmeanlæg dække op til 70 %. Teknologien gør hele tiden anlæggene bedre og mere effektive, og i dag er et solvarmeanlæg et yderst fornuftigt og økonomisk forsvarligt supplement til opvarmning af det varme brugsvand.

Et solvarmeanlæg er afhængigt af, at solen skinner, så i hele sommerperioden fra maj til september kan solvarmen normalt give energi nok til at dække hele varmtvandsbehovet, mens det i vintermånederne kun giver et tilskud i form af at forvarme vandet. Princippet i et solvarmeanlæg er enkelt og simpelt og fungerer ved, at solen opvarmer en væske, som gennem rør løber ned til husets varmtvandsbeholder. Her afgiver den varmen til brugsvandet, hvorefter den løber tilbage til solfangeren.

¹¹ Kilde 13: www.nilan.dk

¹² Forskel i husets årlige energiforbrug med og uden varmegenvinding. (Jf. tabel 3 og tabel 8)



Figur 32: Principtegning af et solvarmeanlæg. (Kilde 14)

Desværre har dette hus næsten lige fået udskiftet sin varmtvandsbeholder. Et solvarmeanlæg kræver en særlig varmtvandsbeholder, og det er mest rentabelt at installere et anlæg i forbindelse med en nødvendig udskiftning. Det er alligevel et tiltag, vi vælger at tilføje af hensyn til målet om et lavenergihus.

Der findes mange producenter af solfangere og solvarmeanlæg, og vi har valgt et anlæg fra VELUX. Ved de givne forudsætninger såsom husets placering i forhold til syd på 0 grader, husets taghældning på 15 grader og 4 personer i husstanden, vil der kræves et solfangerareal på ca. 5 m².¹³

Samlet energibehov	
kWh/m ² år	
46,7	
Energiramme	
kWh/m ² år	Opfyldt
41,4	<input type="checkbox"/> Lavenergibygning Klasse 1
59,4	<input type="checkbox"/> Lavenergibygning Klasse 2
82,9	<input checked="" type="checkbox"/> Samlet energiramme
Samlet energiramme	
82,9	Energiramme i BR, uden tillæg
0,0	Tillæg for mekanisk udsugning uden VGV
0,0	Tillæg for særlige betingelser

Figur 33: Samlede energiramme for det renoverede hus, uden solvarmeanlæg.

Installation af solvarmeanlægget betyder for huset, at det vil være muligt at overholde kravene til et lavenergi klasse 1 byggeri. Solvarmeanlægget vil kun blive brugt til opvarmning af det varme brugsvand og vil sammenlagt kunne dække ca. 13 % af det samlede energibehov. $((46,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ år} - 41,0 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}) / 46,7 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}) \approx 13 \%$, hvilket svarer til 974,7 kWh pr. år) Dette kan ses på forskellen mellem energibehovet med og uden solvarme (se Figur 33 og Figur 34).¹⁴

Samlet energibehov	
kWh/m ² år	
41,0	
Energiramme	
kWh/m ² år	Opfyldt
41,4	<input checked="" type="checkbox"/> Lavenergibygning Klasse 1
59,4	<input checked="" type="checkbox"/> Lavenergibygning Klasse 2
82,9	<input checked="" type="checkbox"/> Samlet energiramme
Samlet energiramme	
82,9	Energiramme i BR, uden tillæg
0,0	Tillæg for mekanisk udsugning uden VGV
0,0	Tillæg for særlige betingelser

Figur 34: Samlede energiramme for det renoverede hus, med solvarme.

Solvarmeanlægget placeres på taget lige over brusenichen, da der i forvejen er en installationsskakt på dette sted, der kan benyttes til rørføring for solfangeren. Desuden opnås det mindste varmetab fra rørene ved den korteste rørføring.

¹³ Kilde 14: www.velux.dk, VELUX solfangerberegner.

¹⁴ Produktinformation m.m. kan findes på bilag Q.

8.5 Husets energibehov efter renovering

I dette afsnit gennemgås husets energimæssige status efter en omfattende energirenovering ved etablering af de tidligere nævnte løsningsforslag.

Først redegøres for kravene til de to lavenergiklasser for det konkrete hus, da disse afhænger af det opvarmede etageareal.

8.5.1 Lavenergibyggeri iflg. gældende bygningsreglement.

”5.3.1: *Et enfamiliehus, hvis samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 35 kWh/m² pr. år tillagt 1100 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal, kan klassificeres som et lavenergihus klasse 1.*¹⁵

Energirammen for Humlehusene 96 til et **lavenergihus klasse 1** udregnes således:

$$35 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ år} + \frac{1100 \text{ kWh} / \text{år}}{171 \text{ m}^2} = 41,4 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ år}$$

”5.3.2: *Et enfamiliehus, hvis samlede behov for tilført energi til opvarmning, ventilation, køling og varmt brugsvand pr. m² opvarmet etageareal ikke overstiger 50 kWh/m² pr. år tillagt 1600 kWh pr. år divideret med det opvarmede etageareal, kan klassificeres som et lavenergihus klasse 2.*¹⁶

Energirammen for Humlehusene 96 til et **lavenergihus klasse 2** udregnes således:

$$50 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ år} + \frac{1600 \text{ kWh} / \text{år}}{171 \text{ m}^2} = 59,4 \text{ kWh} / \text{m}^2 \text{ år}$$

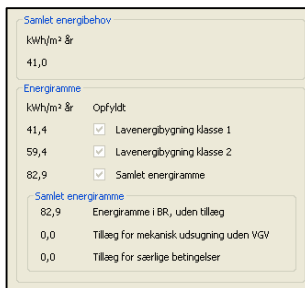
Generelt kan lavenergiklasse 1 siges at have et energibehov på 50 % af alm. nybyggeri og lavenergiklasse 2 et energibehov på 75 % af alm. nybyggeri.

¹⁵ Kilde 4: BR-S 98 > 5. Energiforbrug > 5.3 Lavenergi huse

¹⁶ Kilde 4: BR-S 98 > 5. Energiforbrug > 5.3 Lavenergi huse

Lavenergiklasserne giver et incitament for offentlige og private bygherrer til at bygge ekstra gode huse. Dvs. at det kan betale sig at bygge bedre huse, end Bygningsreglementet kræver for nybyggeri, da det forventes, at kravene til energirammen for et hus kun vil blive skærpet i fremtiden. Desuden har et stempel som lavenergihus en god signalværdi bl.a. i forhold til evt. salg.

8.5.2 Energibehov efter renovering



Figur 35: Energiramme for det renoverede hus, se bilag O.

Hvis alle de gennemgåede renoveringsforslag udføres på huset, vil det ifølge Be06 være muligt at overholde de krav, som Bygningsreglementet stiller til et lavenergibyggeri i dag. Husets energiramme vil herefter være 41,0 kWh/m²år, hvilket lige akkurat klassificerer huset som et lavenergiklasse 1 hus.

I tabellen herunder ses beregningen af det dimensionerende varmetab for den renoverede konstruktion. Det samlede varmetab udgør nu kun 25 % af varmetabet for den oprindelige konstruktion.

Tabel 8: Dimensionerende varmetab for den renoverede konstruktion – Værdierne er taget efter beregninger i Be06 programmet.

Renoveret konstruktion

Transmissionstab:			15,5W/m ²
Samlet transmissionstab:	$\Phi_v = 15,5 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	2650,5W
Ventilationstab:			0,9W/m ²
Samlet ventilationstab:	$\Phi_v = 0,9 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	153,9W
Samlet varmetab:	$\Phi_v = 20,9 \text{ W/m}^2 \cdot 171 \text{ m}^2$	=	2804,4W

Transmissionstabet fordelt på bygningsdele:

Bygningsdel	Φ pr. areal	Φ for samlet konstruktion
Tung ydervæg	4,48 W/m ²	430,80W
Let ydervæg	4,50 W/m ²	265,56W
Vinduer og døre	29,91 W/m ²	1103,15W
Tagkonstruktion	3,12 W/m ²	281,70W
Terrændæk	1,50 W/m ²	136,90W
Linietab ved fundamenter og samlinger		326,78W
Ventilationstab		153,90W
Samlet varmetab:	17,99 W/m²	2698,80W
(Samlet varmetab for nuværende hus) :	70,40 W/m ²	12038,50W
(Samlet varmetab for oprindeligt hus) :	63,52 W/m ²	10862,60W

Hele klimaskærmen er forbedret så meget, at det nu er vinduerne, der med 41 % er ansvarlige for langt størstedelen af den tabte varme, selvom varmetabet pr. vinduesareal er mere end halveret (se tabel 8). Ydervæggene og taget står stadig for en stor del af tabet, men er forbedret meget. Man kan samtidig se, at de to forskellige facader har opnået lige lavt varmetab pr. areal, hvilket skyldes, at den lette facade har fået et homogent isoleringslag, hvilket gør varmetabet igennem den mere jævnt fordelt.

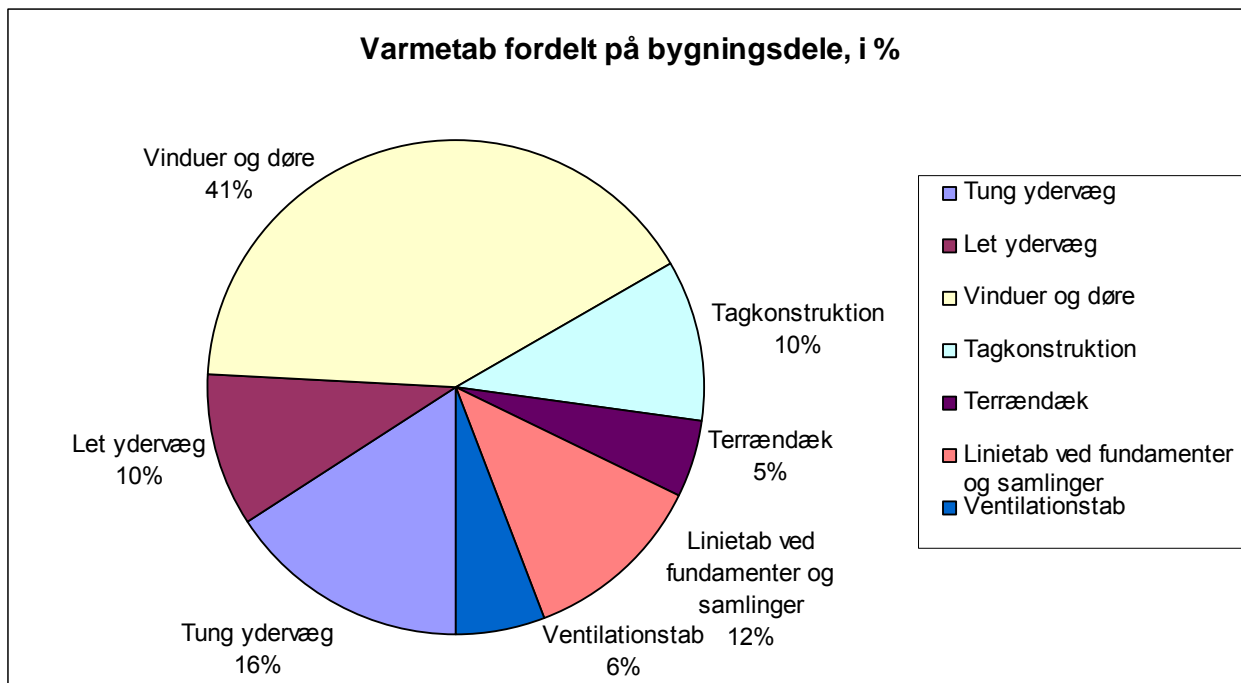
Efterisoleringen ved elementsamlinger og udmuringer samt ved sokkel og fundament har, sammen med den nye placering af vinduerne, gjort, at linietafet i huset er reduceret med næsten 80 %. (se Tabel 3 og tabel 8) Det ses ligeledes, at ventilationstabet er reduceret fra 19 % ved naturlig ventilation/mekanisk udsugning til 6 %, som skyldes det nye ventilationsanlæg med varmegenvinding.

Ved efterisolering af huset opnås en klimaskærm med et så lavt og jævnt fordelt varmetab, at der vil opleves en betydelig forbedring af indeklimaet. Fugtproblemer og trækgener vil stort set ikke forekomme.

Huset er efter renoveringen et lavenergiklasse 1 hus og vil derfor have det bedste energimærke, A1.



Figur 36: Energimærkning for det konkrete enderækkehus. (Kilde 7)



Figur 37: Dimensionerende varmetab fordelt på bygningsdele.

Nedenstående tabel giver et overblik over de nye og forbedrede U-værdier. Det ses, at forskellen på U-værdierne for de enkelte konstruktionsdele og den samlede U-værdi er langt fra lige så stor som i Tabel 4 (nuværende konstruktion). Det er blandt andet, fordi kuldebroerne er minimeret. (Se også tegninger af renoveret konstruktion i bilag 7-10)

Bygningsdel	U [W/m ² K]	U [W/m ² K]	Delareal [m ²]	A [m ²]	Φ [W]
Tung ydervæg (nord)					
Tung facade	0,14	}	37,1	54,4	243,7
Etageadskillelse	0,169		1,0		
Udmuringer	0,17		1,0		
Elementsamlinger	0,169		2,9		
Tung ydervæg (gavl)					
Gavl facade	0,137	}	32,3	41,8	187,1
Elementsamlinger	0,175		1,6		
Etageadskillelse	0,175		1,4		
Let ydervæg					
Let facade	0,142	}	23,1	37,3	179,0
Betonsøjle, stue	0,228		0,9		
Betonsøjle, 1.sal	0,171		1,0		
Betondrager	0,173		3,9		
Tagkonstruktion					
Tag (hovedhus)	0,115	}	66,4	73,4	281,7
Tag (karnap)	0,116		6,4		
Terrændæk					
Trægulv	0,123	}	57,7	66,9	87,0
Klinkegulv	0,145		9,2		
Terrændæk i karnap					
Trægulv	0,13	}	6,5	6,5	9,8
Skillevægsgulv	0,14		0,6		
Let ydervæg i tilbygning					
Let facade	0,13	}	27,8	27,8	115,8
Betonsokkel ved fundament	0,33		0,6		
Tagkonstruktion i tilbygning					
Tag	0,12	}	17,0	17,0	65,3
Terrændæk i tilbygning					
Trægulv	0,17	}	15,4	18,0	36,0
Randfundament	0,3		1,5		
Skillevægsgulv	0,3		1,1		

Tabel 9: Samlede varmeledningskoefficienter efter renovering.

Vinduer og døre	Opr. U-værdi	Antal	Ny U-værdi	Areal, A	Varmetab, Φ
		Stk.	[W/m ² K]	[m ²]	[W]
Type A: Bryggers/Entre	2,9	2	1,1	0,4	25,3
Type B: Stue (nord)	2,9	2	1,0	1,1	72,6
Type C: Bad	2,5	1	1,0	0,4	13,4
Type D: Oplukkelig - Køk.	2,7	2	0,9	1,3	76,0
Type E: Køkken	2,9	1	0,9	1,5	41,8
Type F: Spisestue	2,9	1	0,8	2,8	70,9
Type G1: Pergola	2,9	1	0,8	3,8	98,3
Type G2: Pergola, syd	-	1	0,8	3,8	98,3
Type H: Pergola - oplukkelig	2,8	1	0,8	2,0	51,7
Type I: 1. sal oplukkelig	2,7	5	0,9	1,2	166,5
Type J: 1. sal	2,9	4	0,9	1,2	133,2
Type K: Ovenlysvindue	2,8	1	1,0	0,5	16,0
Type L: Vindue i tilbygning	-	1	1,2	0,4	13,8
Type M: Ovenlys i tilbygning	-	1	0,9	1,0	28,8
Døre:					
Type 1: Hoveddør	2,0	1	1,0	1,9	61,7
Type 2: Bryggersdør	2,5	1	1,0	1,9	61,7
Type 3: Havedør	2,0	1	1,2	2,1	80,6
Samlinger ved vinduer/døre			ψ	l	Φ
			[W/mK]	[m]	[W]
Tung facade (hovedhus)			0	22,7	0,0
Let facade (mod beton)			0	22,7	0,0
Tag (hovedhus)			0	3,0	0,0
Tag (tilbygning)			0	4,0	0,0
Samlinger ved fundamenter			ψ	l	Φ
			[W/mK]	[m]	[W]
Tung facade (hovedhus)			0,28	14,0	125,4
Let facade (hovedhus)			0,16	6,4	32,8
Tung facade (karnap)			0,28	2,1	18,8
Let facade (karnap)			0,16	5,3	26,9
Let facade (tilbygning)			0,16	24,0	122,9
Samlede transmissionstab: $\Phi_t =$					1205,4
Ventilationstab: $\Phi_v = \rho \cdot c \cdot q \cdot (\theta_i - \theta_e) =$ $\Phi_v = 1,205 \text{ kg/m}^3 \cdot 1005 \text{ J/kgK} \cdot 0,0582 \text{ m}^3/\text{s} \cdot (20^\circ\text{C} - (-12^\circ\text{C}))$					
$\Phi_v =$			*		2254,9
Dimensionerende varmetab: $\Phi = \Phi_t + \Phi_v =$					3460,4
* Denne værdi er misvisende stor for det renoverede hus, da det er en simpel beregning hvori der ikke tages hensyn til fx varmegenvinding.					

Tabel 10: Varmetabskoefficienter for vinduer og døre samt beregning af dimensionerende varmetab.

9 Vurdering af renoveringsforslag

I dette kapitel vurderes de enkelte energimæssige tiltag i forhold til energiøkonomi, tilbagebetalingstider og investering. Alle de tidligere gennemgåede tiltag er medvirkende til, at huset nu kan overholde kravene til lavenergibyggeri klasse 1. I praksis ville man sandsynligvis ikke gennemføre alle tiltagene, da nogle af dem er for omfattende og investeringstunge i forhold til forbedring af energiøkonomien.

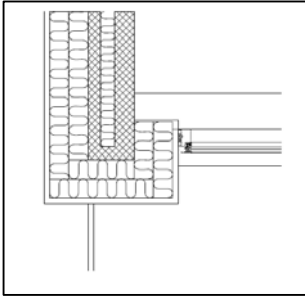
9.1 Vurdering i forhold til lokalplan og udførelsesmuligheder

Da det konkrete endehus er en del af en række på fire huse, vil der være begrænsninger for, hvad beboerne i det enkelte hus kan udføre af udvendige energirenoveringstiltag uden at involvere naboerne.

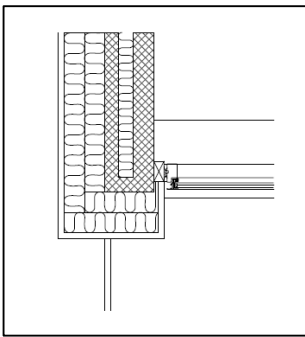
Efterisolering på nordfacade og tag vil kun kunne gennemføres på hele rækken. Dette kan formegentlig gøres uden dispensation fra lokalplanen, da højden efter renoveringen ikke vil overstige det tilladte. Man har dog den mulighed i forhold til taget at efterisolere indvendigt med 100 mm, da lofthøjden i huset tillader dette.

Da dette hus er et endehus, vil det være muligt at efterisolere gavlfacaden uden at skulle involvere naboer. Gavlvæggens tykkelse vil derved blive ca. 450 mm, hvilket vil ændre husets arkitektoniske udtryk fra nord og syd facaderne. Huset vil nok komme til at virke lidt mere robust, da de bærende elementer kommer til at virke tykkere. Dette tiltag vil kræve tilladelse fra kommunen eller ændring i lokalplanen.

En efterisolering på 200 mm på sydfacaden vil i praksis kunne gennemføres uden, at naboen er nødsaget til at gøre det samme. Dette skyldes, at hvert hus er afgrænset af murvinger på havesiden, der minimum rager 2 m ud fra den eksisterende facade. Der vil ved efterisoleringen opstå en udvendig vindueskarm eller fremskudte vinduer, hvis man vælger at rykke vinduerne ud i facaden, så den brede karm kommer indvendig. Derfor vil udtrykket ændres betydeligt i forhold til nabohusene, og denne forbedring vil kræve en ændring af



Tegning 10: Detaljetegning af løsningsforslag 1 ved gavl/vindue (vandret snit), se bilag 10,9.



Tegning 11: Detaljetegning af løsningsforslag 2 ved gavl/vindue (vandret snit), se bilag 10,9.

lokalplanen. Man ville formentlig kunne bibeholde det nuværende udtryk, hvis samtlige huse i rækken fik foretaget ændringen. En anden løsning kunne være kun at efterisolere i stueetagen, da lokalplanen tillader ændringer her¹⁷.

Pga. murvingerne ved lejlighedsskellene samt tappen af en murvægning ved gavlen er det nødvendigt at finde en alternativ løsning for efterisoleringen af facaden. Hvis tappen ikke efterisoleres, vil kuldebroen ved vindue/ydervæg ikke forsvinde som antaget i beregningerne. Derfor er det nødvendigt at føre isoleringen rundt på tre sider af den eksisterende gavlvæg, se tegning 10,9. Hvis denne løsning skal genbruges ved hvert husskel, kræver det, at naboen indvilliger i, at hans vinduesareal ved køkkenet bliver formindsket. Hvis naboen ikke vil medvirke i renoveringsprojektet, må man undvære at efterisolere murvingen, som er en af karnappens tre facader, se tegning 10,8.

Udskiftningen af vinduer kan foretages alt efter beboerens ønske. Lokalplanen stiller dog nogle krav til farver. Man vil derfor kunne skifte enkelte vinduer ud efter behov, bare udtrykket er det samme.

I forhold til efterisolering af terrændækket er der ingen begrænsninger. Man vil uden problemer kunne efterisolere med 100 mm og derved hæve gulvet. Indgrebet er desværre meget stort i forhold til den varmebesparende gevinst.

Solvarmeanlæg og varmegenvinding på mekanisk ventilation kan det enkelte hus installere uden at skulle involvere nabohusene.

Lokalplanen for Røde Vejmølle parken stiller mange krav til husene, men da kommunen vægter bæredygtighed højt, kan det tænkes, at den vil udvise en stor tolerance ved energimæssige forbedringer. Dette antages på baggrund af pilotprojektet fra Agenda Center Albertslund¹⁸, der opfordrer beboerne i Røde Vejmølleparken til at renovere med henblik på energibesparelser i boligerne. Dette endda med et kommunalt økonomisk tilskud.

¹⁷ Lokalplan nr. 18.5, "For boligbebyggelsen Røde Vejmølle Parken, Albertslund Kommune. 2003", (§ 8.3, side 9). (Kilde 23).

¹⁸ Kilde 24.

9.2 Forbedringer med den største energikonomiske gevinst

For at vurdere hvilke tiltag, der er mest rentable i rene energikroner med basis i den gældende varmepris, opdeles besparelserne pr. kvadratmeter bygningsdel. (Se Tabel 11) Herved ses tydeligt, at den lette facade mod syd vil give den største økonomiske gevinst pr. kvadratmeter pr. år. Derfor vurderes det, at en energirenovering kan begynde her, da tilbagebetalingstiden for efterisoleringen udelukkende ved hjælp af den årlige energibesparelse vil være overskuelig, ca. 12 år. Ligeledes drejer det sig ikke om så mange kvadratmeter, så selve investeringen er overkommelig, i alt ca. $(31 \text{ m}^2 \times 1100 \text{ kr/m}^2) = 34.100 \text{ kr}$.

Tabel 11: Besparelser i energikroner.

Tiltag:	Areal [m ²]	Besparelse [kr. / år]	Besparelse [kr. / m ² pr år]
Gavlfacade	42	1.553	37
Nordfacade	54	1.979	37
Sydfacade	31	2.778	90
Let facade på tilbygning	28	1.322	47
Tag på hovedhus	73	1.189	16
Tag på tilbygning	17	195	12
Terrændæk i hovedhus	73	737	10
Terrændæk i tilbygning	18	142	8
Udskiftning af vinduer	24	1.580	66

Yderligere ses i tabellen, at efter sydfacaden vil vinduerne være det mest givende at udskifte. Det skyldes, at mange af vinduerne, der er de originale termovinduer med en U-værdi på min. 2,7 W/m²K, er udskiftet med nye lavenergivinduer med en U-værdi på under halvdelen.

Af tabellen ses også, at nogle tiltag ikke vil kunne betale sig lige så meget som andre, da energibesparelsen er begrænset i forhold til det økonomiske omfang af forbedringen. Fx vil en efterisolering af terrændækket være meget omkostningsfuldt at i forhold til den energimæssige gevinst, bl.a. fordi, det er et stort indgreb at fjerne gulvet for at udlægge isolering, at skulle forhøje de indvendige dørhuller, og fordi jorden nedenunder er varm i forhold til den dimensionerende udetemperatur. Hvis forbedringen skal tilbagebetales kun ved hjælp den

årlige energi-besparelse, vil tilbagebetalingstiden for terrændækket være langsigtet.

Sammenlagt vil en totalrenovering som foreslået i denne rapport koste ca. 450.000 kr, hvis huset skal overholde en lavenergiklasse 1. I tabel 12 ses en oversigt over omkostninger for udvalgte hovedindsatsområder. Priser og besparelser i tabellen er uden tag og terrændæk, da det som nævnt er to dele af konstruktionen, det økonomisk og energimæssigt vanskeligt kan forsvares at renovere, men som indgår i de endelige beregninger for at huset kan energimærkes til A1. De angivne priser er skønsmæssige priser opgivet af producenterne.¹⁹

Prisen for at efterisolere en ydervæg med 200 mm mineraluld vil kun være 20 % højere end ved efterisolering med 100 mm, så det kan klart anbefales. Prisen for at efterisolere taget er ukendt, men vil sandsynligvis være lidt lavere end for ydervæggene, bl.a. fordi der kun er en enkelt gennembrydning (ovenlysvinduet).

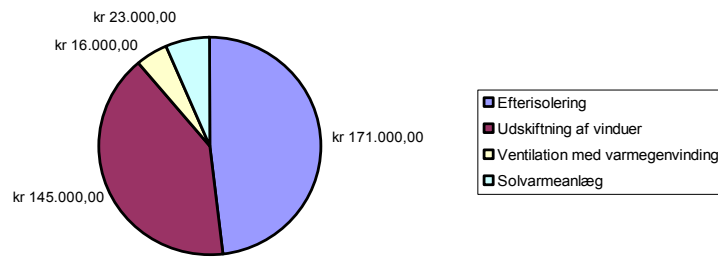
De såkaldte "0-energi-vinduer" med varm kant og den bedste isoleringsevne er i dag dyre og koster ca. 3 gange så meget som almindelige energiruder. Det gør posten til udskiftning af vinduerne meget stor, og man kan vælge nogle lavenergivinduer med knap så lav en U-værdi og stadig få reduceret sit energibehov meget. Udviklingen af vinduer med meget høj isoleringsevne er herhjemme ikke så stor endnu, og superlavenergi-vinduer skal i de fleste tilfælde importeres. De kan dog også fås herhjemme bl.a. hos Vrøgum, men er som nævnt temmelig kostbare.

Tabel 12: Investering og tilbagebetalingstid for udvalgte ændringsforslag.

	Investering	Energibesparelse i kr./år	Tilbagebetalingstid
Facadeisolering	171.000	7632	22 år
Udskiftning af vinduer	145.000	1580	90 år
Ventilation	16.000	750	21 år
Solvarmeanlæg	23.000	1100	21 år
Investering i alt	355.000	11.100	32 år

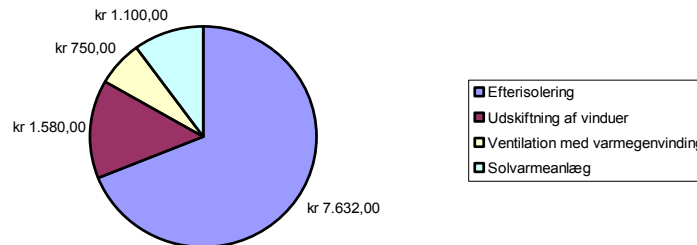
¹⁹ Priser oplyst af producenter: Rockwool - efterisolering: 1100 kr./m², Vrøgum - udskiftning af vinduer: 6000 kr./m², Nilan - ventilationsanlæg: 16.000 kr., VELUX - solvarmeanlæg: 23.000 kr.

Investering ved udvalgte hovedindsatsområder



Figur 38: Besparelse i forhold til investering på udvalgte hovedindsatsområder. Jf. tabel 11.

Besparelse pr. år for udvalgte hovedindsatsområder



I figur 32 ses investeringsandelen for de fire udvalgte indsatsområder i forhold til afkastet af renoveringerne pr. år. Her ses det tydeligt, at de udskiftede vinduer er dyre i forhold til den årlige økonomiske gevinst.

For en familie med mellemstor indkomst kan 450.000 kr. være mange penge, og en renovering er ikke et projekt, man kaster sig hovedkulds ud i. Der er behov for økonomisk, byggeteknisk og energimæssig rådgivning. Mange af beboerne i Røde Vejmølle Parken har en voksende friværdi i boligerne, idet de på 10 år er steget med over 400 %. Denne friværdi kunne investeres i en energiforbedring og sandsynligvis betyde en prisstigning ved et senere salg. Først og fremmest vil man dog kunne spare mange penge på sin energiregning med de gældende energipriser, og som udviklingen er, bliver energi og ressourcer formegentlig ikke billigere. Den største gevinst må dog være, at man vil få et hus med langt bedre og sundere indeklima med større komfort til følge.

I tabel 13 herunder ses en enkle beregning af energibesparelse og tilbagebetalingstid for det konkrete hus.

Tabel 13: Enkel beregning af energibesparelser i kr. og % samt tilbagebetalingstid.

Energiforbrug **før** renovering:

$$182,3 \text{ kWh/m}^2\text{år} \quad \times \quad 171 \text{ m}^2 \quad = \quad 31.173 \text{ kWh/år}$$

Årlig udgift til opvarmning ved 0,519 kr. / kWh:

$$0,519 \text{ Kr. / kWh} \quad \times \quad 31.173,3 \text{ kWh} \quad = \quad 16.179 \text{ Kr.}$$

Energiforbrug **efter** renovering:

$$41,0 \text{ kWh/m}^2\text{år} \quad \times \quad 171 \text{ m}^2 \quad = \quad 7.011 \text{ kWh/år}$$

Årlig udgift til opvarmning ved 0,519 kr./ kWh:

$$0,519 \text{ Kr. / kWh} \quad \times \quad 7.011 \text{ kWh} \quad = \quad 3.639 \text{ Kr.}$$

Årlig besparelse på varmeregningen:

$$16.179 \text{ Kr.} \quad - \quad 3.639 \text{ Kr.} \quad = \quad \mathbf{12.540 \text{ Kr.}}$$

Energøkonomisk besparelse i %:

$$= 100 \% - (3.639 / 31.173) \times 100\% \quad = \quad \mathbf{78 \%}$$

Økonomisk investering: 450.000,00 Kr.

Tilbagebetalingstid alene ved den årlige besparelse: = **36 år**

På næste side gives et overblik over energibesparelsen i kWh og i kr. for de enkelte forbedringer af huset. Forskellen i energiforbruget er fundet på baggrund af det nuværende hus og huset med en enkelt forbedring af gangen. Der er taget udgangspunkt i gældende fjernvarmepriser i Albertslund Kommune.²⁰ Denne pris vil sandsynligvis stige med tiden, hvilket vil mindske tilbagebetalingstiden.

²⁰ Kilde 11: www.albertslund.dk

9.3 Oversigt over økonomiske besparelser ved forskellige energibesparende tiltag

Samlede opvarmningsareal:	171m ²
Fjernvarmepris:	519Kr. pr. MWh
Årligt energibehov:	182,3kWh/m ² år

Renoveringsmæssige tiltag	Varmetab før [kWh/m ² år]	Efterisolering [mm]	Varmetab efter [kWh/m ² år]	Besparelse [kWh/år]	Besparelse [kr./år]
Gavlfacade	182,3	200	164,8	2992,5	1.553
Nordfacade	182,3	200	160,0	3813,3	1.979
Sydfacade	182,3	200	151,0	5352,3	2.778
Efterisolering af let facade på tilbygning	182,3	200	167,4	2547,9	1.322
Facadeisolering:	182,3	200	97,8	14449,5	7.499
Efterisolering af tag på hovedhus	182,3	300	168,9	2291,4	1.189
Efterisolering af tag på tilbygning	182,3	200	180,1	376,2	195
Efterisolering af hele taget:	182,3	300/200	166,5	2701,8	1.402
Efterisolering af terrændæk i hovedhus.	182,3	200	174,0	1419,3	737
Efterisolering af terrændæk i tilbygning.	182,3	100	180,7	273,6	142
Efterisolering af terrændækket:	182,3	200/100	172,3	1710,0	887
Efterisolering af hele klimaskærmen:	182,3	-	73,9	18536,4	9.620
Hvis man lægger besparelserne for de enkelte tiltag sammen fås en samlet besparelse på:					9.896
(Dette er 276 kr. mere om året end besparelsen ved at gennemføre alle tiltag samtidig. Der er altså en mindre besparelse at hente ved at gennemføre alle tiltagene samtidigt, hvilket skyldes, at det procentvise opvarmningsbehov falder med gennemførelsen af tiltag. Opvarmningsbehovet bliver mindre jo flere tiltag, der bliver foretaget.)					
Udskiftning af vinduer.	182,3		164,5	3043,8	1.580
Installation af mekanisk ventilation med varmegenvinding.	182,3		179,9	410,4	213
Nedsættelse af varmt brugsvandstemperatur	182,3		180,9	239,4	124
Opsættelse af solvarmeanlæg	182,3		175,8	1111,5	577
Lægges besparelserne sammen for samtlige tiltag fås en samlet besparelse på:					12.389
(Dette er 151 kr. mindre om året end besparelsen ved at gennemføre alle tiltagene samtidigt. Der er altså i det store og hele en større besparelse at hente, hvis alle tiltagene foretages samtidigt. Dette skyldes, at effektiviteten af varmegenvindingen øges med et tættere hus.)					
Samlet årlig besparelse ved alle tiltag samtidig:	182,3		41	24162,3	12.540

9.4 Andre besparelsmuligheder

En bygnings energibehov beregnes efter nogle dimensionerende forhold, så det er sammenligneligt med andre bygningers energibehov. I virkeligheden kan energibehovet variere meget for en række ens huse alt afhængig af hvilken, og hvor stor en familie, der bor i dem. Ifølge Albertslund kommune varierer varmekonsumet hos udvalgte familier i Røde Vejmølle Parken fra at ligge 18 % under gennemsnittet i hele bebyggelsen til at ligge 32 % over gennemsnittet.²¹ At der er så stor forskel i beboernes forbrug lægger op til et forsøg på at få de mindst forbrugsbevidste til at spare på energien.



En total energirigtig renovering er den mest effektive løsning til at sænke sit energiforbrug, men også den mest kostbare, og som forbruger kan man gøre meget selv for at sænke sit energiforbrug. Det gælder både for vand, varme og el, men det kræver, at man som familie omlægger sine forbrugsvaner og adfærd.

De største potentialer for at nedsætte varmekonsumet er at:

- Lukke for varmen om sommeren.
- Holde temperaturen på 21 grader. Hver grad over 21 koster 5 % mere i varme.
- Skrue ned for varmen til 18 grader om natten, og når der ikke er nogen hjemme. (Natsænkning)
- Stil radiatortermostaterne i samme rum på samme niveau. Radiatorerne får derved ens belastning, hvilket giver en god komfort i rummet samtidig med, at du opnår en bedre afkøling af vandet i radiatoren.
- Holde de indvendige døre lukkede.
- Spare på det varme vand. Tag korte brusebade i stedet for karbade. Til et 5 minutter brusebad bruges ca. 50 liter vand, mens et karbad bruger ca. 100-150 liter varmt vand.
- Luft hurtigt ud 2 gange i døgnet ved at åbne vinduer/døre og sluk for cirkulationspumpen eller luk radiatorventilerne, imens der luftes ud. Dette forbedrer indeklimaet uden at tabe for megen varme.

²¹ Kilde 24

- Sluk for emhætten, når du ikke bruger den. Emhætten sender 100-200 liter opvarmet luft ud i minuttet.

Selvom el til belysning ikke indgår i energirammen for boliger, vil man kunne spare penge på sin elregning ved fornuftigt brug, da ca. 1/5 af en boligs energiforbrug går til belysning.

De største potentialer for at nedsætte elforbruget er at:

- Købe/udskifte hårde hvidevarer til A-mærkede produkter.
- Udnytte dagslyset og isætte elsparepærer.
- Holde køleskab og fryser på hhv. 5°C og -18°C. For hver grad det sættes lavere, stiger elforbruget med 5 %.
- Tø op i køleskabet. Kulden fra frostvaren er med til at sænke køleskabets elforbrug.
- Hænge tøj til tørre frem for at bruge tørretumbler.
- Fylde vaske- og opvaskemaskiner helt op.
- Slukke for standby-forbruget.

De største potentialer for at nedsætte vandforbruget er at:

- Installere 2-skyls toilet med 3 og 6 liters skyl.
- Isætte perlatorer i bad og køkken, der iblander luft i vandstrålen.
- Installere sparebruser på max. 10 liter pr. min.

Hvis man som forbruger følger disse simple råd, vil det tydeligt kunne mærkes i budgettet. Det kræver blot en større bevidsthed omkring forbrug og omlægning af sine vaner. Der er dog langt fra tale om forandringer, der forringer livskvaliteten, tværtimod. Andre sparemuligheder kræver kun en engangsinvestering såsom installation af 2-skyls toilet eller køb af A-mærkede el-apparater. Forskellige sparetips kan findes på diverse hjemmesider og elselskaberne giver gerne råd i form af gratis pjecer mv.²²

²² Kilde 16: www.sparel.dk

10 Konklusion

Langt den største del af Danmarks bygninger er opført før 1980, hvilket betyder, at energibesparelspotentialerne ved renoveringer er enorme. Hvis Danmark skal kunne opfylde sine energi- og miljømæssige mål og forpligtelser, skal der mere end nybyggeri med lavt energiforbrug til. Derfor er det meget relevant at skabe større fokus på og mere viden om energirenoveringer af eksisterende bygninger.

Denne rapport bekræfter, hvad andre rapporter har vist, at det er realistisk at gennemføre omfattende renoveringer af bygninger fra ca. 1920-1980. Det konkrete hus, der er gennemgået i denne rapport, kan ombygges til et lavenergihus for ca. 450.000 kr., hvilket er mange penge, men ikke urealistisk. I og med at mange boligejere sidder med en stor friværdi, kan der være et incitament til at gennemføre en energirenovering, hvorved der kan spares mange penge om året, og huset vil få et godt og sundt indeklima. Selvom det er teknisk muligt at renovere et hus som dem i Røde Vejmølle Parken, så de kan overholde kravene til et lavenergihus klasse 1, vil man formentlig i praksis ikke gennemføre alle de forbedringer, der er gennemgået i denne rapport på en gang. Det er ikke alle forslag, der vil spare lige megen energi, men alle forslag er med til at få energiforbruget ned. Fx gælder det for vinduerne, at det kan betale sig at udskifte de udtjente vinduer med lavenergivinduer af næstbedste kvalitet, da de bedste endnu er for kostbare til den almindelige boligejer. Ligeledes vil det være fornuftigst at vente med at efterisolere taget, til det alligevel skal udskiftes, da den energimæssige forbedring er forholdsvis lille. Stigende varmepriser er sandsynligt, og vil forbedre energirenoveringernes økonomiske fortjeneste.

Der er mange fordele at hente ved en energirenovering, og kommunen har endda tilbudt, på forsøgt basis, at give tilskud til energimæssige forbedringer. Alligevel blev kommunens projekt om energibesparelser i bebyggelsen ikke godkendt af beboerne. Der findes generelt nogle store barrierer for energibesparelser i bygninger, som består af alt fra økonomiske barrierer til manglende incitament. Energiforbedringer står sjældent øverst på boligejernes ønskeseddel, når der skal investeres i boligen, eller også kan de ikke overskue de

oftest manglende oplysninger om energiforbrug, besparelsesmuligheder mv.

En anden grund til at boligejerne er tøvende mht. energirenoveringer kan være, at der ikke er prestige i det. I det forbrugssamfund, vi lever i, er det ikke nok, at der er en økonomisk gevinst forbundet med en investering i boligforbedringer. Der skal også helst være en symbol- eller statusgevinst, og de fleste prioriterer derfor et nyt og lækkert køkken frem for en energibesparende hulmursisolering.

11 Litteratur og kilder

Bøger:

- Kilde 1: "Modul og Montagebyggeri"
Henrik Nissen
Polyteknisk forlag 1975
- Kilde 2: "Albertslund i tusind år"
Henning Sørensen
Lokalhistorisk Samlings Venner, Albertslund 2000

Anvisninger:

- Kilde 3: Bygningsreglementet 1968
- Kilde 4: Bygningsreglementet, BR-S 98 + Tillæg
- Kilde 5: "Beregning af bygningers varmetab" - DS 418
Dansk Standard
6. udgave april 2002
- Kilde 6: Bygningers energibehov, beregningsvejledning
SBI - Anvisning 213
Statens Byggeforskningsinstitut 2005
- Kilde 7: Håndbog for energimærkningskonsulenter 2006
Version 2.0 (21. august 2006)
FEM-Sekretariatet

Internet:

- Kilde 8: www.optilite.dk
- Kilde 9: www.rockwool.dk
- Kilde 10: www.ebst.dk
- Kilde 11: www.albertslund.dk

- ❑ Kilde 12: www.vrogum.dk
- ❑ Kilde 13: www.nilan.dk
- ❑ Kilde 14: www.velux.dk
- ❑ Kilde 15: www.femsek.dk
- ❑ Kilde 16: www.sparel.dk
- ❑ Kilde 17: www.krak.dk
- ❑ Kilde 18: www.vejrmoele.dk
- ❑ Kilde 19: www.ecocouncil.dk

Publikationer:

- ❑ Kilde 20: "Guide til energiforbedring af dit hus"
Det økologiske Råd, Fremtidens miljø skabes i dag.
1. udgave september 2006
- ❑ Kilde 21: "Energirigtige renoveringer af eksisterende bygninger"
Det økologiske Råd, Fremtidens miljø skabes i dag.
1. udgave september 2006
- ❑ Kilde 22: "Lavenergibygninger"
Det økologiske Råd
1. udgave sommer 2005
- ❑ Kilde 23: Lokalplan nr. 18.5
For boligbebyggelsen Røde Vejmølle Parken
Albertslund Kommune 2003

Rapporter:

- ❑ Kilde 24: "Energibesparelser i boliger – Første delprojekt oktober 2004 – Røde Vejmølle Parken"
Agenda Center Albertslund
Albertslund Kommune, maj 2005
- ❑ Kilde 25: "Energirenovering af muremesterhus"
Henrik Tommerup
Rapport, BYG ◦ DTU 2004