



Energirenovering af Sems Have



Energi og Klima

Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU
Ove C. Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management
Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management
Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Titel: Energirenovering af Sems Have

Udført af: Teknologisk Institut, Energi og Klima
Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet, Bygningers Energi-
effektivitet, Indeklima og Bæredygtighed (EIB)
Cenergia – en del af Kuben Management

Forfattere: Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut
Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU
Ove C. Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management
Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management
Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, AAU

Kontakt: Søren Østergaard Jensen, sdj@teknologisk.dk

September 2017
1. udgave, 1. oplag

ISBN: 978-87-93250-05-5
ISSN: 1600-3780

© Teknologisk Institut
Energi og Klima

Forside: Sems Have efter renovering

Forord

Nærværende rapport udgør en del af afrapporteringen af PSO ELFORSK-projektet "Vejledning for energirenovering af boligblokke til lavenergiklasse 2015 og 2020". Arbejdet har været finansieret af PSO-midler via ELFORSK, projekt: 347-023.

Formålet med projektet er at udvikle en vejledning for dybdegående energirenovering af boligblokke. Vejledningen omfatter optimering af økonomi, energibesparelser og CO₂-reduktion ved renovering af boligblokke til lavenergyniveau. Fokus er på elementbyggeri fra 1960-70'erne samt på murstensbyggeri.

Der tages udgangspunkt i to konkrete renoveringscases: Traneparken og Sems Have, hvor renoveringen er udført på to principielt forskellige måder - Traneparken med udvendig efterisolering til næsten lavenergiklasse 2015 niveau (nuværende BR2015 krav) og Sems Have med helt ny klimaskærm og nye installationer til bygningsklasse 2020 niveau. Begge bebyggelser har fået nyt ventilationsanlæg samt PV-anlæg.

Nærværende rapport beskriver renoveringen af Sems Have.

Deltagere i projektet:

Kirsten Engelund Thomsen, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Jørgen Rose, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Niels Bergsøe, Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet
Ove Mørck, Cenergia – en del af Kuben Management
Miriam Sanchez Mayoral Gutierrez, Cenergia – en del af Kuben Management
Rikke Pakaci Christensen, Boligselskabet Sjælland
Charlotte Jakobsen Szøts, Boligselskabet Sjælland
Per Pedersen, Boligselskabet Sjælland
Per Bro, Boligselskabet Sjælland
Ulrik Eggert Knuth-Winterfeldt, Boligselskabet Sjælland
Søren Østergaard Jensen, Teknologisk Institut

Desuden har projektet haft en følgegruppe, som består af:

Steen Ejsing, Byggechef DAB (Dansk Almennyttigt Boligselskab)
Bent Gordon Johansen, Domea (Almen administrationsorganisation)
Jesper Rasmussen, Byggeudviklingschef BoVest (Boligadministrationselskab)
Ole Bønnelycke, Bygeskadefonden

Summary

The built-up area Sems Have (Sem's Garden) was originally erected in 1970-72 and named Ungdommens Hus (Youths House). The two buildings accommodated a nursery, a kindergarten, a youth club, a dormitory and two halls used for e.g. concerts and theater performances. In the basements there were meeting rooms.

Already during the 80s, the rental of the meeting rooms and the halls started to fail. The municipality terminated the lease of the nursery, the kindergarten, and the youth club in 2011 leaving the housing association (Boligselskabet Sjælland) with some very special buildings, which no longer could be let out for their original purposes. In addition, the buildings were worn down and in need of an extensive renovation, even though the facades of the buildings were renovated with additional insulation and new windows in 1995.

The question was at that time: should the buildings be demolished and new buildings erected or should the buildings undergo a total refurbishment? Based on economical calculations, the housing association chose to totally refurbish the buildings and turn them into 30 ultramodern apartments.

At the time of the renovation, the housing association required that all new buildings should fulfil the requirements of Low Energy Class 2015 in the Danish Building Requirements from 2010 (equal to the requirements for new buildings in the Building Requirements from 2015). Thus, the aim of the renovation of Ungdommens Hus was also chosen to be Low Energy Class 2015. However, as it turned out, it was (on paper) possible to upgrade the buildings from Low Energy Class 2015 to Building Class 2020 (annual primary energy demand: 20 kWh/m²) at a low increase in expenses. This more in-depth renovation was, therefore, chosen as the goal. However, as the future use of the basements was not known, the basements were not directly included in the contract, and therefore not included in the energy calculations.

Sems Have is situated in an area with small apartments. Therefore, the housing association had a wish of adding larger apartments to the area to accommodate the demand for such larger apartments. Furthermore, the renovated buildings would provide an architectural boost to the area.

Today, the buildings and apartments appear very nice and up-to-date. The leasing of the apartments is easy – there is currently a waiting list for renting an apartment in Sems Have. The heating expenses are also much lower than those of other apartments in the area.

The renovation of the buildings was very thorough. Only the supporting construction and the gables of Block A were preserved. All the installations were replaced as the piping and wiring did not fit the new layout of the larger apartments. It was necessary to remove and deposit asbestos, PCB, and old paint containing lead. The old modular dimensions of the buildings were also a challenge, as was the decision not to including the basements in the contract. The latter has caused additional costs when the technical installations in the basement needed to be customized in order to fit new uses of the basements.

A good corporation between the housing association, the general contractor, and the consultants ensured not only that deadlines were met, but also that the tenants could move into the apartments two weeks before originally intended.

Besides creating new modern apartments, the aim of the renovation was to decrease the energy demand of the buildings to the lowest Danish energy class. The measured electricity demand for running the buildings is close to the calculated electricity demand. The electricity production from the solar cells is somewhat higher than expected, while the

heating demand is 150 % higher than calculated with the calculation tool Be15 (an official calculation tool for determining the energy label of buildings).

The higher energy demand compared to Buildings Class 2020 was expected since it is a well-known fact that most people prefer a higher room temperature than the 20°C used in the standard Be15 calculations. The measured domestic hot water demand (DHW) was quite similar to the standard values in Be15 – only 12 % lower. The ventilation flow rate was higher than the standard value of 0,3 l/sm² in Be15. This is most probably due to the use of kitchen hoods and increased exhaust from the bathrooms.

Another reason for the higher measured heating demand compared to the heating demand in calculations is that the original calculations did not include heat losses from ventilation systems and ventilation ducts in the attics of the buildings along with the heat losses from pipes for space heating and DHW in the basements. The basements were as mentioned earlier not included in the contract. Therefore, no heat loss to the basements was included in the calculations as the basements are heated. However, the heat loss from the heating pipes in the basements constitutes a heat demand for the apartments.

Parametric studies with Be15 indicate that the increased heating demand is partly caused by another use of the buildings, including higher infiltration losses (i.e. values different from the standard values in Be15 used to compare with energy classes), and partly caused by the heat losses from the ventilation systems in the attics and the heating pipes in the basement.

When recalculating with the standard values of Be15 including the heat losses from the ventilation systems and heating pipes, and excluding the basements (as in the original calculations) it is seen that the primary energy demand of the buildings does not meet the requirement of Buildings Class 2020 of 20 kWh/m² annually. The primary energy demand of the buildings is 7.7 kWh/m² higher per year. This is, however, still quite good for a renovated building from the 70s.

The parametric variations with Be15 show that it is of utmost importance to ensure that all energy demands of a building are considered during the design phase. It is also important to realize that the energy demand calculated with the standard values of Be15 usually will not compare well with actual consumption when the buildings are occupied. In order to get at more realistic view on the energy demand in use during the design phase, the input parameters to the calculation program should be carefully considered in order to choose values, which represent the future use of the buildings more realistically.

The comparison between measured and calculated energy demands for Sems Have shows that it is very complicated and time-consuming to align the calculated energy demands with the measured energy demands. However, the achievement of good agreement between measurements and calculations is important in order to determine if a building comply with the requirements of a specific energy class, and if this is not the case, to be able to understand why the requirements are not met.

The use of the Youths House and Sems Have was/is very different before/after the renovation so it is impossible to directly evaluate the energy savings of the renovation. However, if the energy demands before and after are compared directly, the energy savings amounts to around 50 % of the energy demand of the Youths House.

Even though the aim of an energy demand at the level of Buildings Class 2020 was not reached, the energy demand of Sems Have has been reduced significantly both when comparing to the situation before the renovation and to other Danish apartment buildings.

Indholdsfortegnelse

1	Introduktion	8
1.1	Energimål med renoveringen.....	10
2	Bebyggelsen	12
2.1	Oprindelig bebyggelse	12
2.1.1	Energirenovering i 1995	14
2.2	Ny bebyggelse.....	14
3	Klimaskærmen	17
3.1	Ydervægge	17
3.1.1	Oprindelige bygninger	17
3.1.2	Efter renovering	19
3.2	Tage	23
3.2.1	Oprindelige bygninger	23
3.2.2	Efter renovering	23
3.3	Terrændæk og etageadskillelser	24
3.3.1	Etageadskillelser.....	24
3.4	Vinduer	25
3.4.1	Oprindelige bygninger	25
3.4.2	Efter renovering	26
3.4.2.1	Billeder af bygningerne efter renoveringen.....	26
3.5	Arealer, U-værdier og vinduer/døre.....	31
3.5.1	Mellemgang	34
4	Installationer	36
4.1	Varmeanlæg	36
4.1.1	Oprindelige bygninger	36
4.1.2	Efter renoveringen	36
4.2	Ventilationsanlæg	37
4.2.1	Oprindelige bygninger	37
4.2.2	Efter renoveringen	38
4.2.2.1	Infiltration og naturlig ventilation.....	40
4.1	Belysning.....	40
4.1.1	Oprindelige bygninger	40
4.1.2	Efter renoveringen	41
4.1	Solceller	41
5	Indeklima og generelle forbedringer	43
5.1	Oprindelige bygninger	43
5.2	Efter renoveringen	43
5.2.1	Indeklima	43
5.2.2	Generelle forbedringer.....	44
6	Energiforbrug/-produktion	46
6.1	Rumvarme- og varmtvandsforbrug	46
6.1.1	Beregnet varme- og varmtvandsforbrug	48
6.1.2	Med kældre i beregningerne.....	51
6.1.3	Konklusion.....	52
6.2	Elforbrug til bygningernes drift	52
6.3	Elproduktion fra solcelleanlæggene	52
6.4	Opfyldelse af Bygningsklasse 2020?	52
6.5	Sammenligning med energiforbruget for Ungdommens Hus	53
6.6	Konklusion.....	54
7	Økonomi	55
7.1	Energibesparelser	56

8	Beslutningsproces	57
8.1	Baggrund.....	57
8.2	Processen	57
8.3	Erfaringer	59
9	Sammenfatning	60
10	Referencer	62
Bilag A	U-værdiberegninger	64
Bilag B	Indeklimamålinger i to lejligheder i Blok A	69

1 Introduktion

Sems Have er oprindeligt opført omkring 1970-72 under navnet Ungdommens Hus. De to bygninger er beliggende på hjørnet af Møllehusvej og Parkvej i Roskilde. Ungdommens Hus skulle være et kulturhus – et samlingssted for børn, unge og gamle. Heraf den lidt utraditionelle bebyggelse som det ses af figurerne 1.1-1.4. Roskildefonden, som står bag Roskildefestivallen, havde oprindeligt til huse i Ungdommens Hus og drev i mange år Ungdommens Hus.

Bebyggelsen bestod af to bygninger med en mellemgang, som det ses til venstre i figur 1.1. Bebyggelsen var oprindeligt indrettet med:

Blok A: - en ungdomsklub til 350 børn i stueetagen

- et ungdomskollegium til 61 unge under uddannelse på 1.-3. sal

Blok B: - en vuggestue til 32 børn og en børnehave til 40 børn inkl. køkken i stueetagen

- to sale på første sal

Begge blokke: foreningslokaler omfattende seks mødelokaler, motionsrum, mv. i kælderen.



Figur 1.1: Sems Have før renoveringen til venstre og efter renoveringen til højre. Blok A er bygningen til venstre i de to billeder.

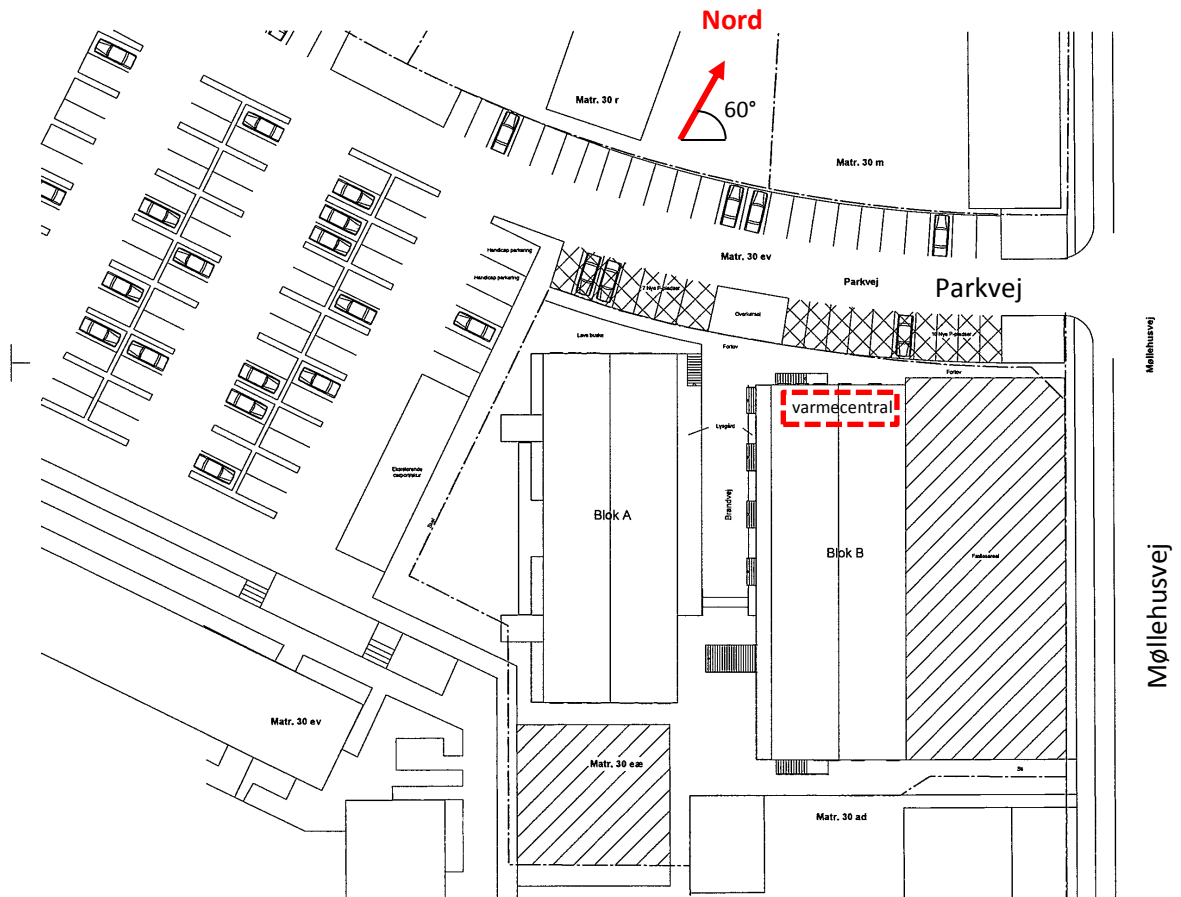
Figur 1.2 viser en situationsplan (efter renoveringen), mens figur 1.3 og 1.4 viser bebyggelsen fra henholdsvis en sydlig og en nordlig retning (før renoveringen) – se den præcise orientering af facader og gavle i figur 1.2.

Allerede i 1980'erne begyndte udlejningen til foreninger og udlejningen af salene at svigte, og Roskildefonden flyttede sidst i 80'erne (Roskilde Avis, 2011a). Administrationen indgav i sommeren 2010 begæring om konkurs (Roskilde Avis, 2011a).

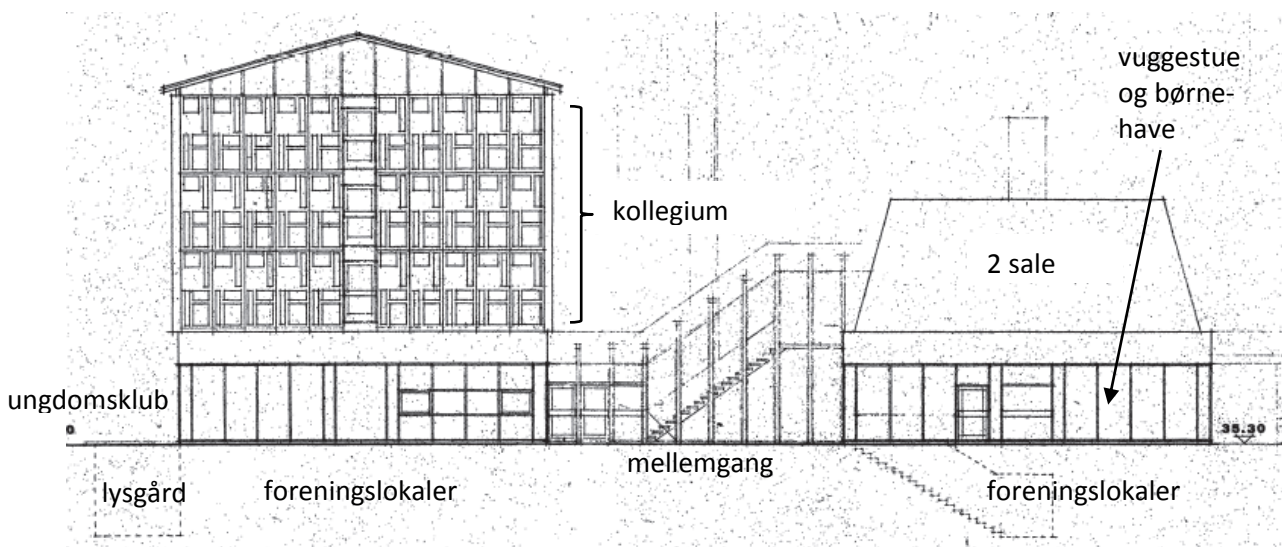
Roskilde Kommune opsagde i 2011 deres lejemål i Ungdommens Hus: Om baggrunden for flytning til Kildegården forklarede borgmesteren: "Det handler om, at vi skal spare fem millioner kroner på Skole- og Børneudvalgets område. Fordi huslejen i Ungdommens Hus er meget dyr, er der penge at komme efter ved en flytning til Kildegården, som er kommunens egen" (Roskilde Avis, 2011b).

Boligselskabet Sjælland sad herefter tilbage med nogle meget specielt indrettede bygninger, som ikke mere kunne udlejes til deres oprindelige formål, og som var vanskelige at anvende til andre formål. Bygningerne var desuden nedslidte og renoveringsmodne.

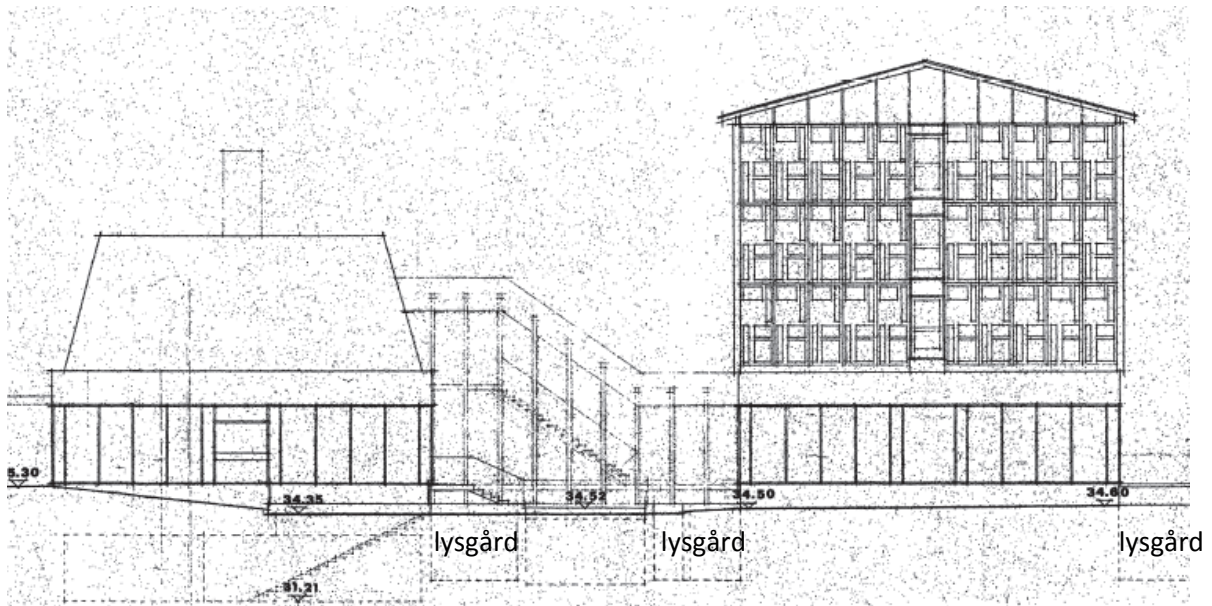
Spørgsmålet var så: skulle bygningerne rives ned og nye bygninger opføres, eller skulle bygningerne totalrenoveres? Efter økonomiske beregninger valgte Boligselskabet Sjøland at totalrenovere bygningerne og omdanne dem til 30 topmoderne lejligheder. Det krævede dog en tilladelse fra Roskilde Kommune at ændre status for bebyggelsen. I stedet for at søge om midler fra Landsbyggefonden blev totalrenoveringen gennemført som nybyggeri, da det gav en bedre økonomi – se kapitel 7.



Figur 1.2: Nuværende situationsplan for de to bygninger i Sems Have efter renovering.

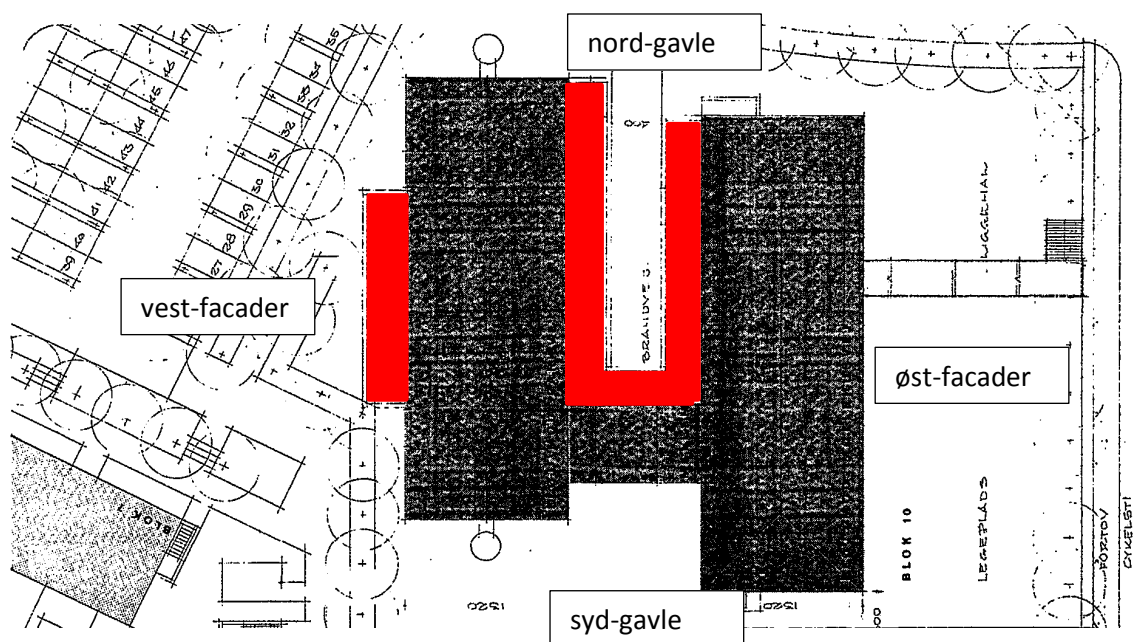


Figur 1.3: De to bygninger i Ungdommens Hus før renoveringen set fra en sydlig retning.



Figur 1.4: De to bygninger i Ungdommens Hus før renoveringen set fra en nordlig retning.

Figur 1.3 og 1.4 angiver nogle lysgårde ud for kældrene i de to bygninger. Udstrækningen af disse lysgårde er markeret i figur 1.5.



Figur 1.5: Den oprindelige situationsplan for Ungdommens Hus med markering af lysgårdene (markeret med rødt) ud for kælderen.

Der vil efterfølgende for nemheds skyld blive refereret til øst- og vest-facader samt til syd- og nord-gavle. Dette er markeret på figur 1.5.

1.1 Energimål med renoveringen

Da renoveringen blev besluttet, var Boligselskabet Sjællands krav, at al nybyggeri skulle opføres som minimum Lavenergiklasse 2015 (i dag BR15). Dette blev derfor også i første omgang målet for renoveringen af Sems Have. Men da det viste sig, at en opgradering fra Lavenergiklasse 2015 til Bygningsklasse 2020 kun ville betyde en beskedent merinve-

stering (se kapitel 7), blev det besluttet at stræbe efter energikravet for Bygningsklasse 2020.

På grund af usikkerhed vedr. den fremtidige brug af bygningernes kældre indgik kældrene ikke direkte i renoveringsentreprisen. Energiberegningerne blev derfor udført ekskl. kældre – se kapitel 6.

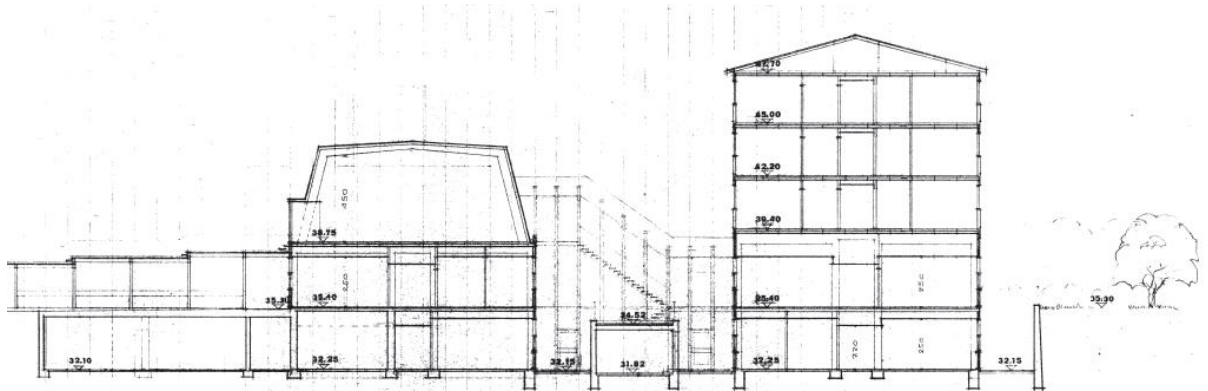
2 Bebyggelsen

Renoveringen af Ungdommens Hus til Sems Have er meget speciel:

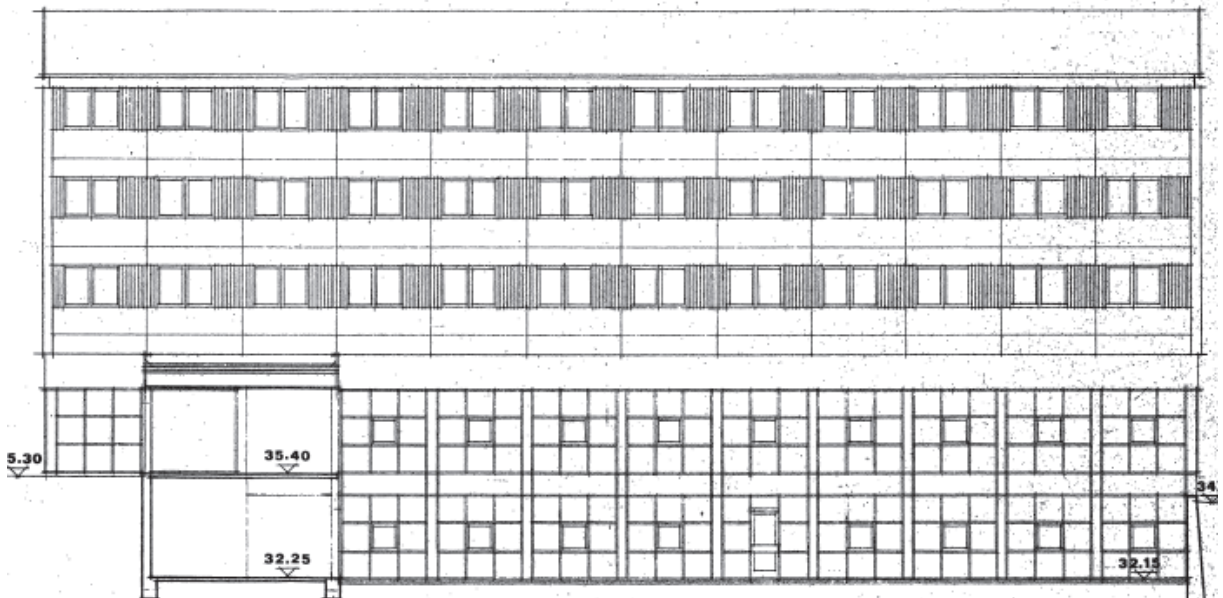
- bebyggelsens formål blev drastisk ændret, - fra børne-, ungdoms- og foreningsformål til udelukkende lejligheder
- renoveringen var drastisk, hvor primært kun de bærende konstruktioner blev genanvendt
- målet var, at lejlighederne (minus kælder) skulle opfylde Bygningsklasse 2020 i BR10, som i Danmark anses som nearly-zero energy buildings i forhold til EU's Energy Performance of Buildings Directive (EPBD) (EPBD, 2010)
- renoveringen blev finansieret som nybyggeri
- alle lejligheder var udlejet inden afleveringen

2.1 Oprindelig bebyggelse

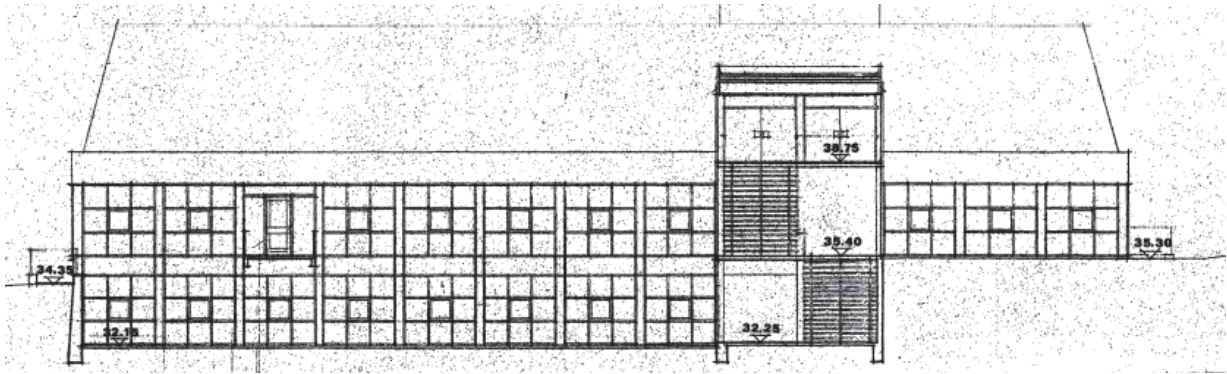
Figur 2.1 viser et snit i de oprindelige bygninger, mens figur 2.2 og 2.3 viser henholdsvis øst-facaden af Blok A og vest facaden af Blok B.



Figur 2.1: Snit gennem de oprindelige bygninger.

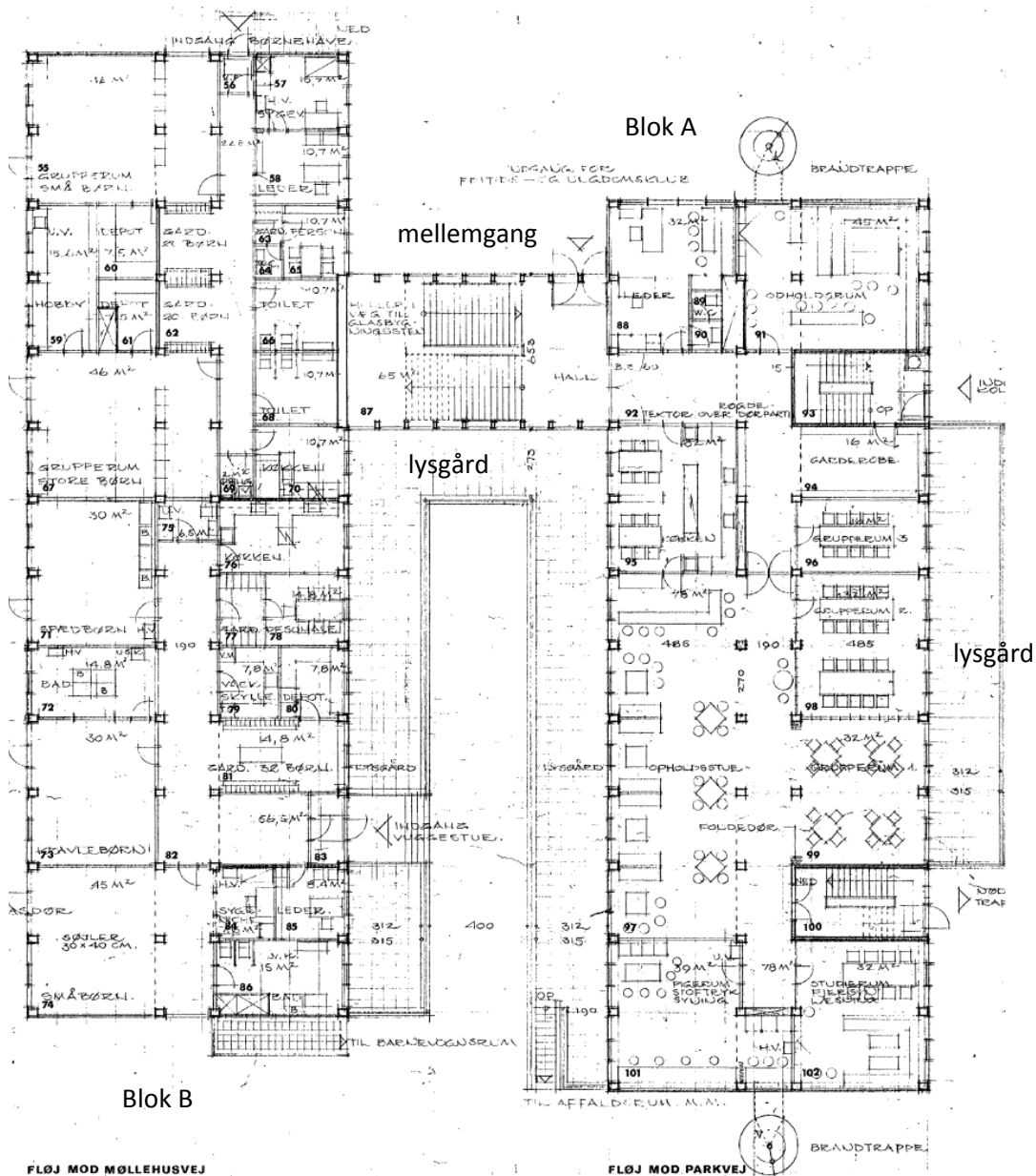


Figur 2.2: Bygning A's oprindelige øst-facade.

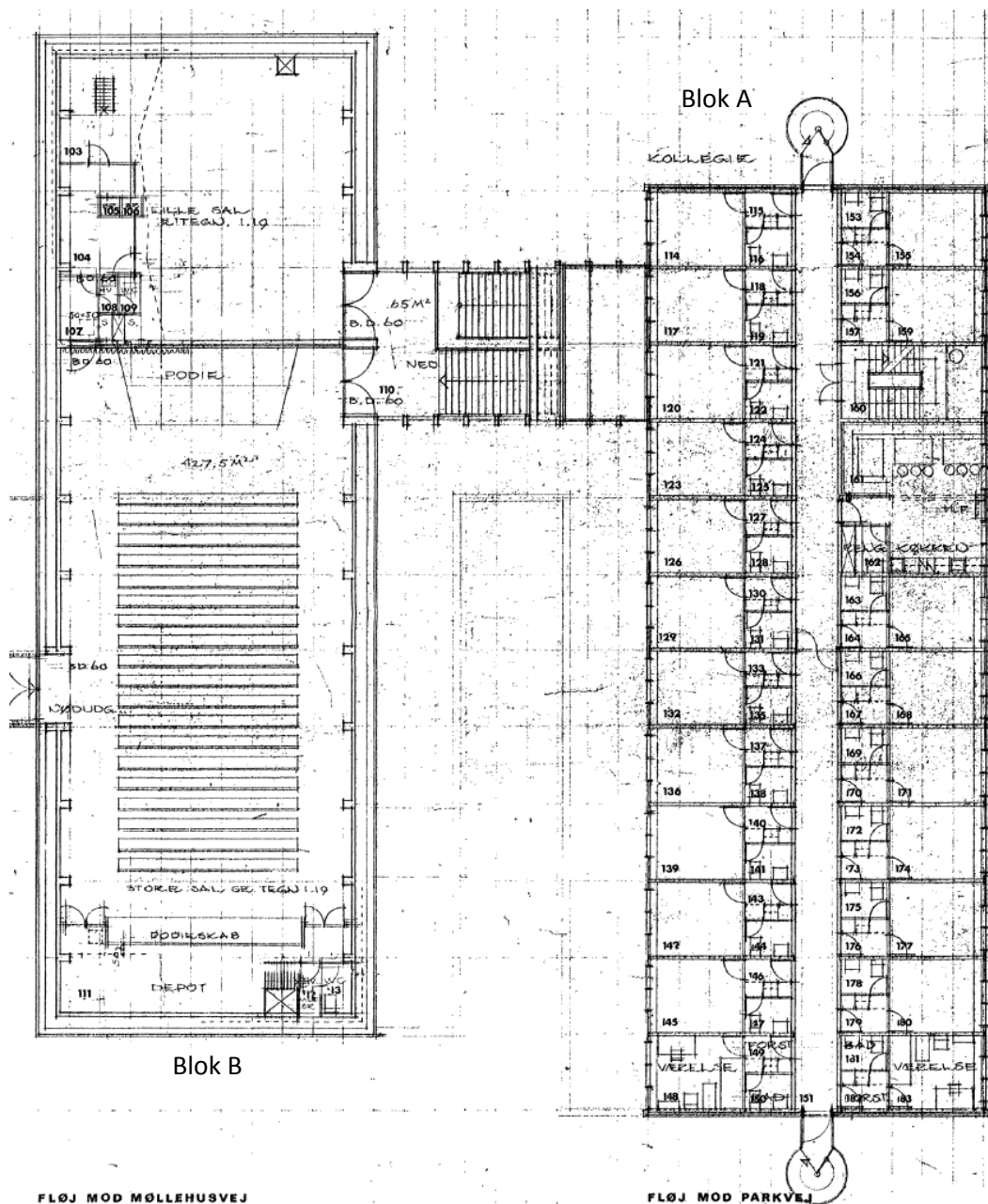


Figur 2.3: Blok B's oprindelige vest-facade.

Figur 2.4-5 viser planer over indretningen af de forskellige etager af de oprindelige bygninger fra 1970-72.



Figur 2.4: Oprindeligt stueplan. Ungdomsklub i Blok A til højre og daginstitution i Blok B til venstre.



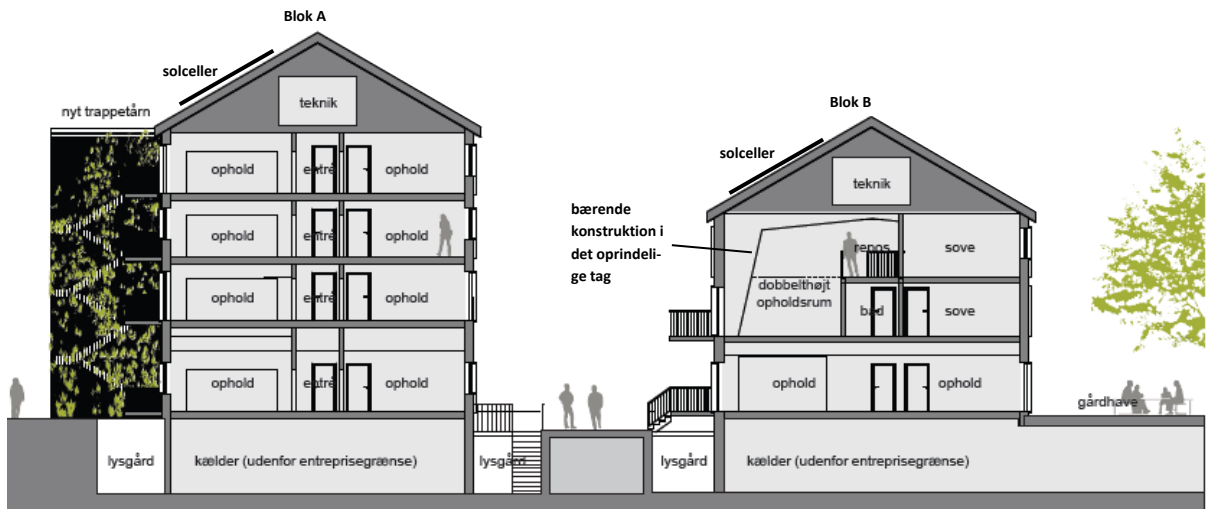
Figur 2.5: Oprindelig første sal. Kollegium i Blok A til højre (anden og tredje sal er magen til) og de to sale i Blok B til venstre.

2.1.1 Energirenovering i 1995

Ifølge en energimærkningsrapport fra 2009 (Danakon, 2009) blev der i 1995 foretaget ombygning med nye vinduer samt ekstern facadeisolering af 1.-3. sal i Blok A. Energimærkningsrapporten indikerer desuden, at loftet i Blok A muligvis var blevet efterisoleret med 100 mm.

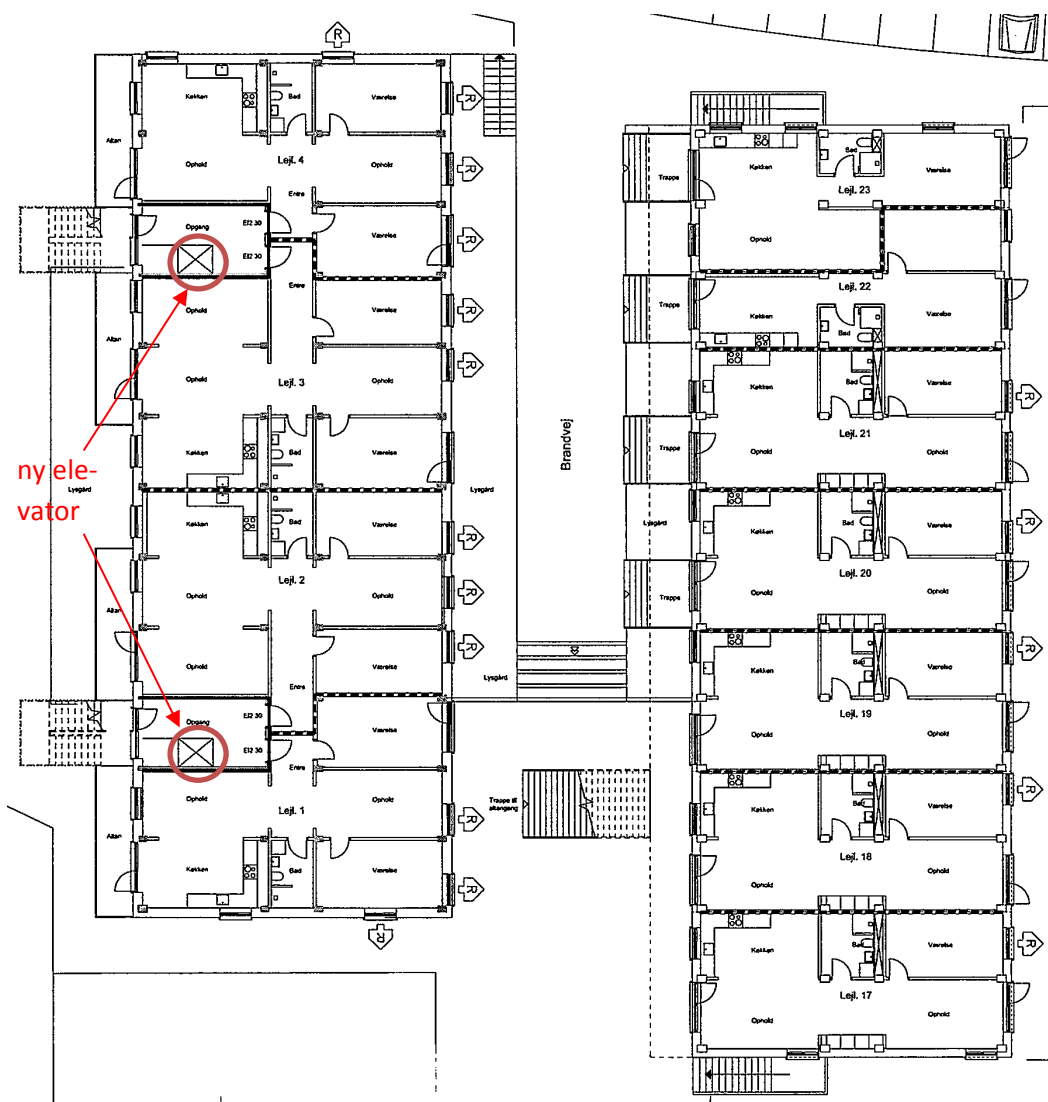
2.2 Ny bebyggelse

Figur 2.6 viser et snit i bebyggelsen efter endt renovering. Som det ses, er de skrå vægge (mansardtaget) på første sal i Blok B blevet rettet op til at udgøre samme facade som for resten af byggeriet. Desuden er der indskudt et ekstra dæk på første sal i Blok B, således af lejlighederne her har et dobbelthøjt rum mod vest og to etager mod øst - se også figur 2.8.

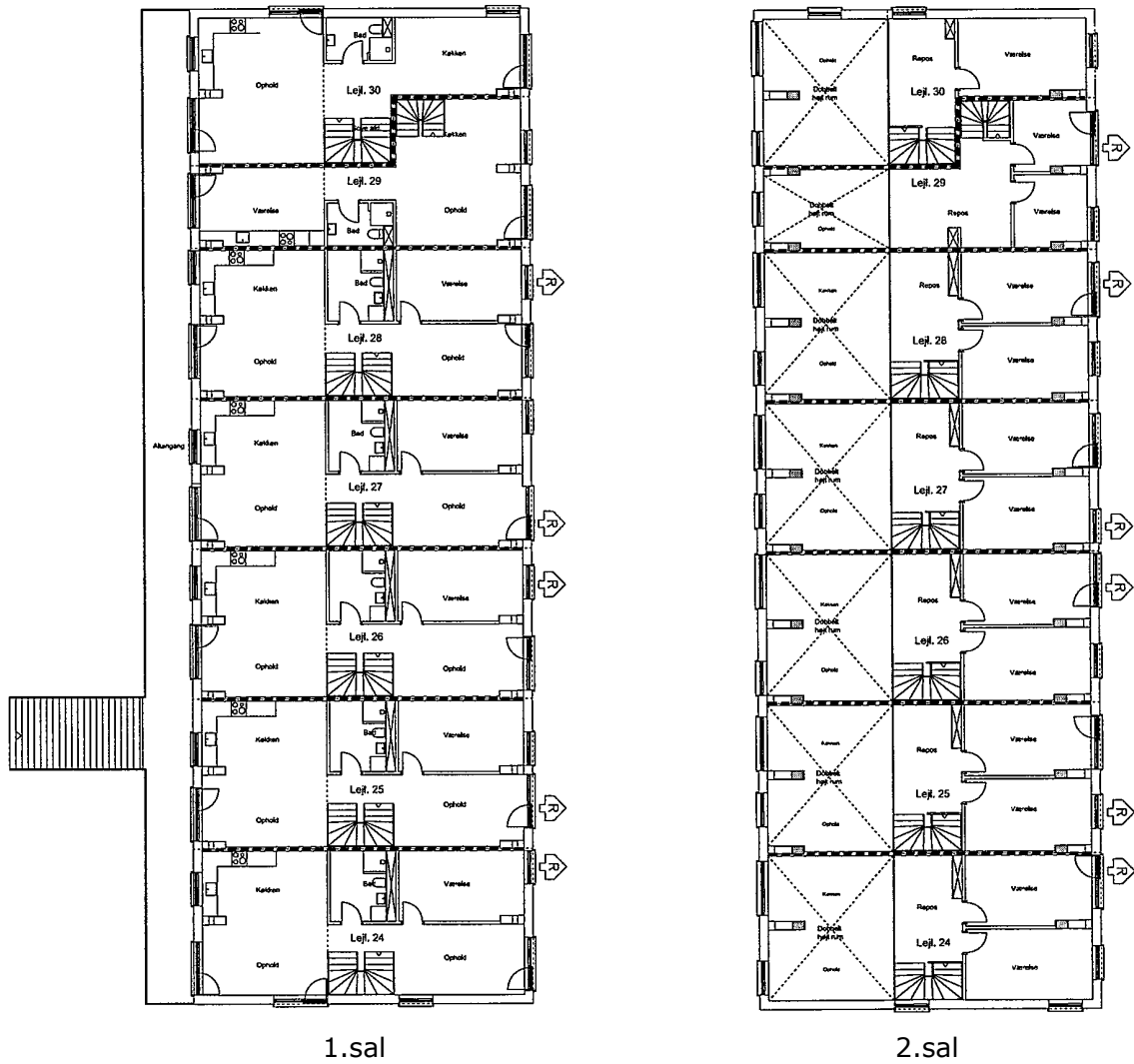


Figur 2.6: Snit i bygningerne efter renovering.

Figur 2.7 viser en plantegning af lejlighederne stuen-3. sal i Blok A og stuen i Blok B, mens figur 2.8 viser plantegninger af lejlighederne på første sal i Blok B (i to etager).



Figur 2.7: Plantegning af lejlighederne stuen-3. sal i Blok A og stuen i Blok B.



Figur 2.8: Plantegninger af lejlighederne på første og anden sal i Blok B (i to etager).

Efter renoveringen har bebyggelsen 30 lejligheder:

- 2 lejligheder med to rum
- 7 lejligheder med tre rum
- 16 lejligheder med fire rum
- 5 lejligheder med fem rum.

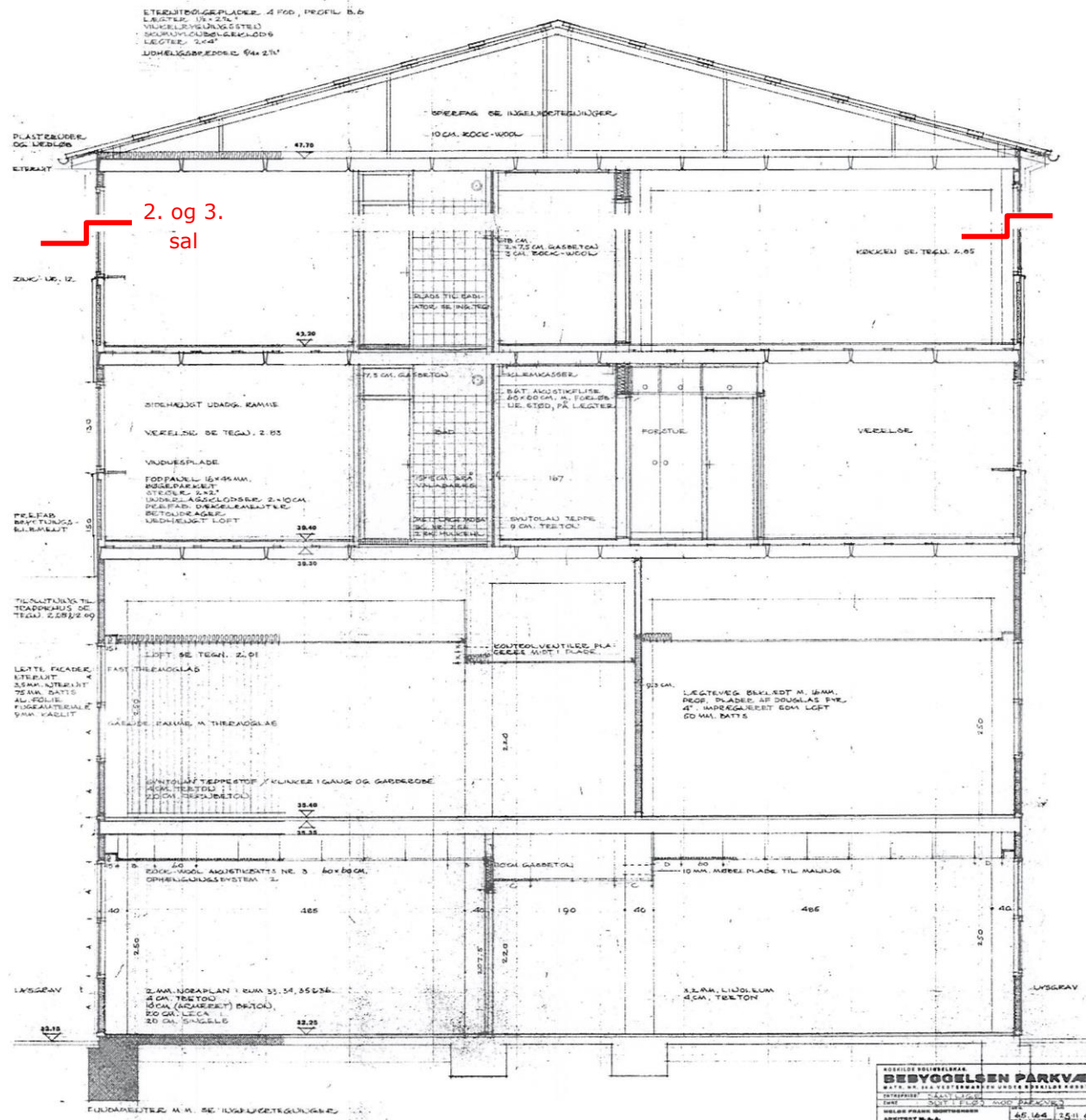
3 Klimaskærmen

Følgende oplysninger er primært baseret på det originale tegningsmateriale, på energimærkningsrapporten samt på samtale med driftsafdelingen i Boligselskabet Sjælland.

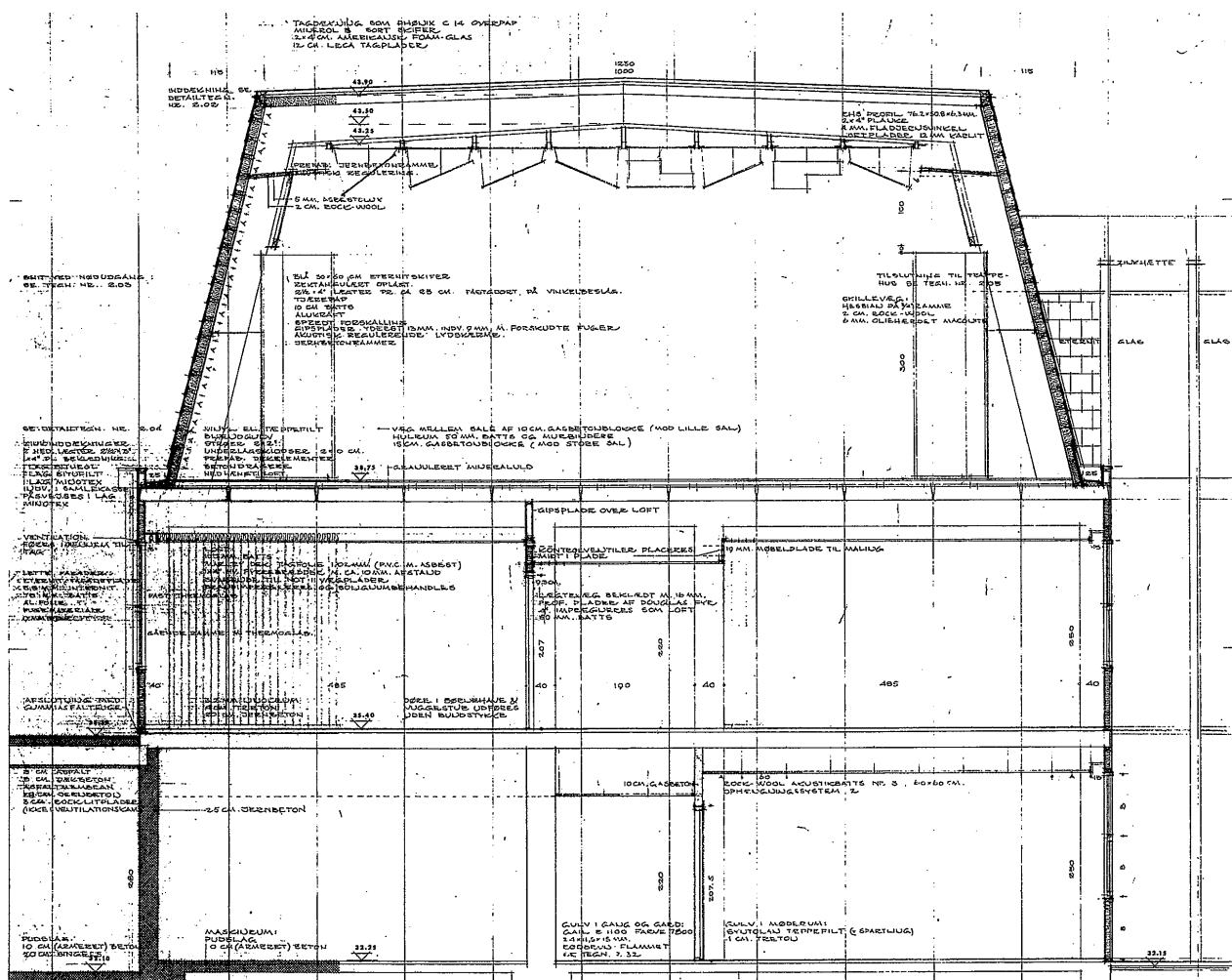
3.1 Ydervægge

3.1.1 Oprindelige bygninger

Figur 3.1 og 3.2 viser snit i henholdsvis Blok A og B. Da snittene viser både ydervægge, tag og terrændæk, vil figurerne kun blive vist her og henvist til fra de følgende afsnit.



Figur 3.1: Original-snit i Blok A.



Figur 3.2: Original snit i Blok B.

De lette facader i begge bygninger er opbygget af (fra udvendig):

- 3,5 mm eternitplader
- 75 mm isoleringsbatts
- alufolie
- 9 mm karlitplader

Energimærkningsrapporten angiver, at 1.-3. sal i Blok A er efterisoleret med 100 mm i 1995.

Figur 3.4 viser gavlene i Blok A efter renovering. Den oprindelige facade bestod af:

- 75 mm facadeelement med 50 mm isolering
- 150 mm beton

Gavlene på 1.-3. sal i Blok A blev ligesom facaderne på 1.-3. sal efterisoleret udvendigt med 100 mm trykfast isolering i 1995. Gavlene ud for stuetagen blev ikke efterisoleret i 1995.

Ud fra oplysningerne i figur 3.5 samt figur 2.3 antages det, at gavlene i Blok B oprindeligt var identiske med facaderne.

Kældervægge vendende ud mod lysgårdene var isoleret med 50 mm, mens der ingen isolering var for kældervægge mod jord. Udstrækningen af lysgårdene er vist i figur 1.5.

3.1.2 Efter renovering

Figureerne 3.3-3.5 viser snit i henholdsvis facader i Blok B (facaderne i Blok A er opbygget tilsvarende), gavle i Blok A og gavle i Blok B.

Facader

- skiferplader på træskelet af 36x56 mm trykimprægnerede lægter – udvendigt
- 25 mm 25x50 trykimprægnerede afstandslister
- 9 mm cementbaseret vindspærreplader
- 195 mm isolering i skelet af konstruktionstræ
- dampspærre
- 45 mm isolering i lægteskelet
- 25 mm 2x12,5 mm fibergipsplade – indvendig

Facaderne er ført hele vejen ned i lysgårdene, så kældervæggene mod lysgårdene er identiske med facaderne i stuen-2./3. sal. Kældervægge mod jord er ikke blevet isoleret.

Gavle stuen i Blok A

Gavlene i stueetagen i Blok A er næsten magen til facaderne bortset fra lidt mere isolering:

- skiferplader på træskelet af 36x56 mm trykimprægnerede lægter – udvendigt
- 38 mm 38x73 trykimprægnerede afstandslister
- 9 mm cementbaserede vindspærreplader
- 240 mm isolering i skelet af konstruktionstræ
- dampspærre
- 45 mm isolering i lægteskelet
- 25 mm 2x12,5 mm fibergipsplade – indvendig

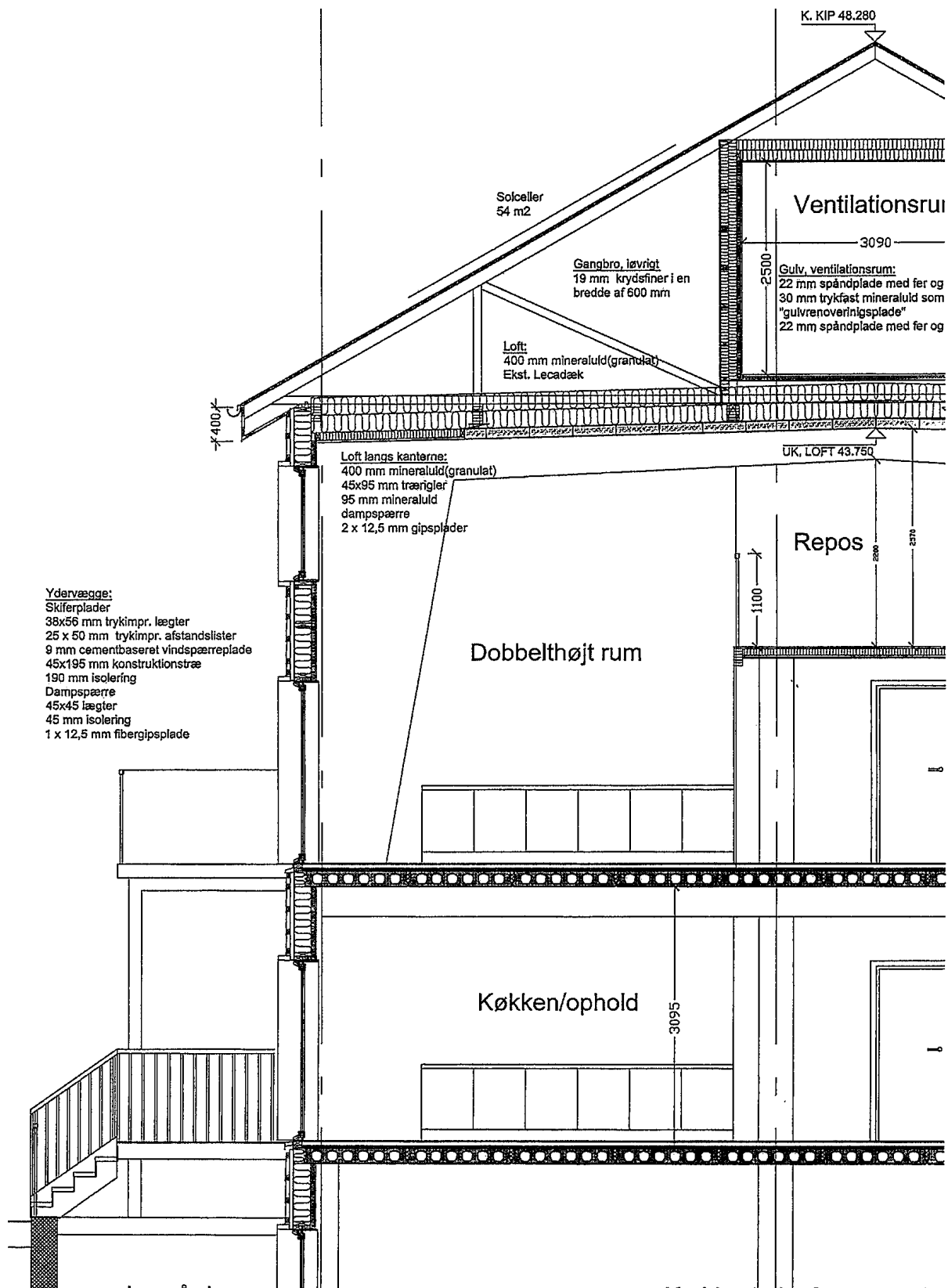
Gavle 1.-3. sal i Blok A

De oprindelige og stadig eksisterende gavle inkl. 100 mm ekstra isolering fra 1995 fik en ny udvendig beklædning – se figur 3.4.

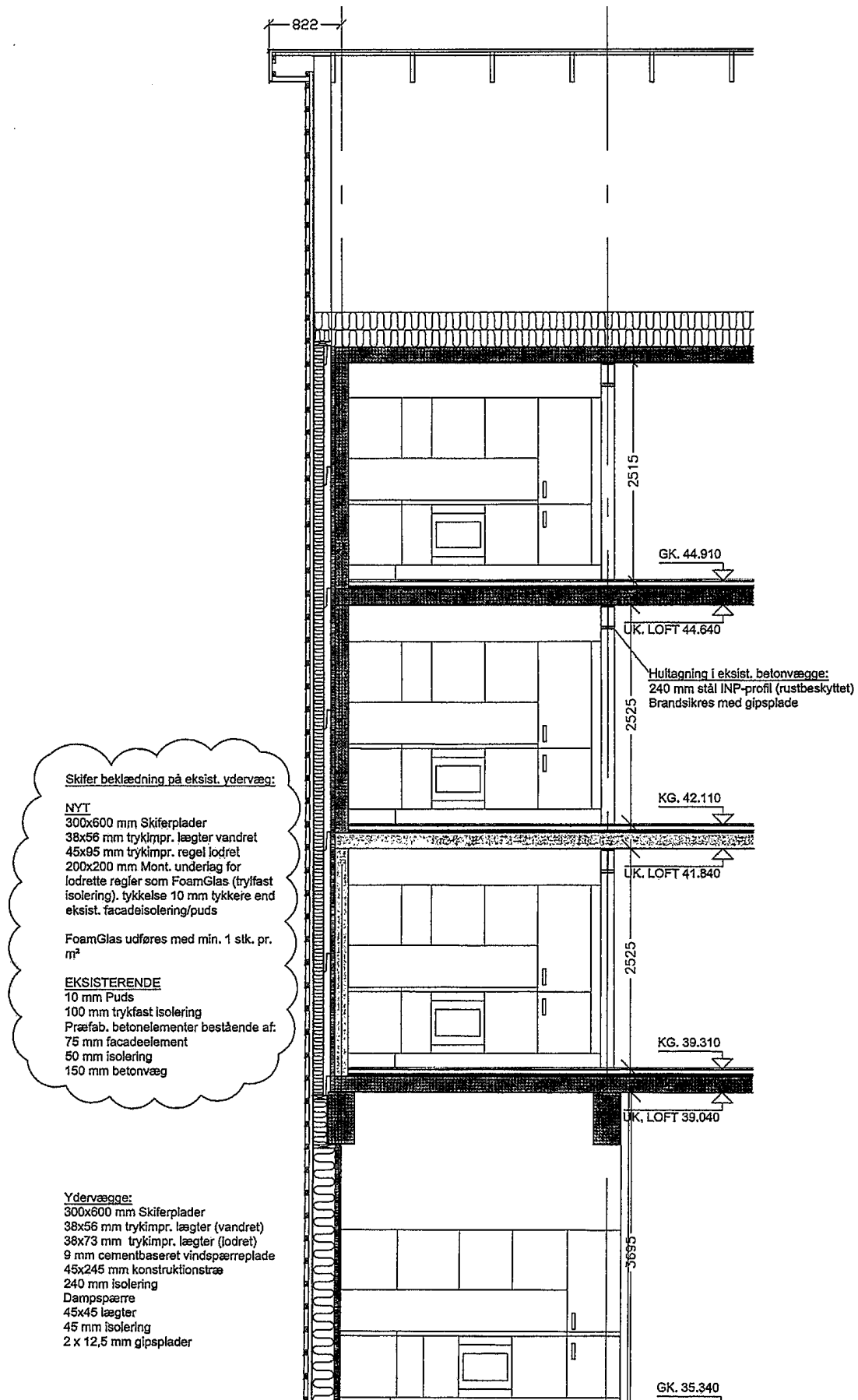
- skiferplader på træskelet af 38x56 mm trykimprægnerede lægter – udvendigt
 - 38 mm 38x56 trykimprægnerede lægter vandret
 - 45 mm 45x95 trykimprægnerede lægter lodret
 - 10 mm puds
 - 100 mm hård isolering
 - 75 mm facadeelement med 50 mm isolering
 - 150 mm beton
- } eksisterende qavl

Gavle stuen i Blok B

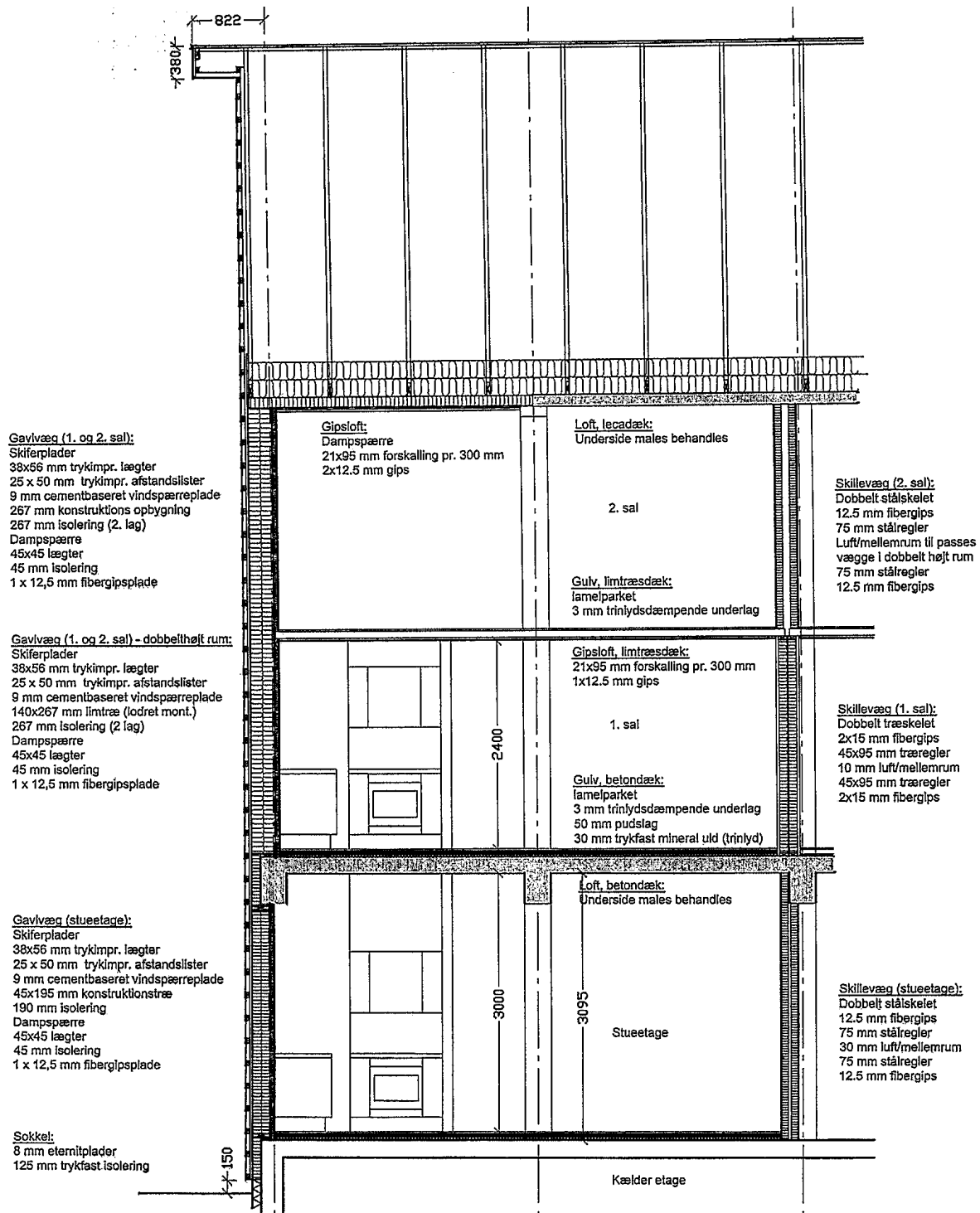
Gavlene i stuen i Blok B er opbygget som facaderne i de to bygninger.



Figur 3.3: Snit i facaderne – begge bygninger. Også ført ned i lysgårdene.



Figur 3.4: Snit i gavle i Blok A.



Figur 3.5: Snit i gavle i Blok B.

Gavle 1.-2. sal i Blok B

Gavlene på 1.-2. sal i Blok B er næsten magen til facaderne bortset fra lidt mere isolering:

- skiferplader på træskelet af 38x56 mm trykimprægnerede lægter – udvendigt
- 25 mm 25x50 trykimprægnerede afstandslister
- 9 mm cementbaserede vindspærreplader
- 267 mm isolering i skelet af konstruktionstræ
- dampspærre
- 45 mm isolering i lægteskelet
- 25 mm 2x12,5 mm fibergipsplade – indvendig

3.2 Tage

3.2.1 Oprindelige bygninger

Figur 2.1 og 2.2 viser den oprindelige tagkonstruktion i de to bygninger.

Blok A havde et sadeltag med en hældning på 15° samt eternitbølgeplader. Loftet var oprindeligt isoleret med 100 mm Rockwool. I energimærkningsrapporten nævnes 200 mm, som så i givet fald nok er lagt op ved facaderenoveringen i 1995.

Blok B havde et mansardtag, bestående af et næsten fladt built-up tag med en hældning på 3° og et næsten lodret (skråt) tag med en hældning på 75° - se figur 3.2.

Built-up taget:

- tagbelægning: tagpap
- 80 mm 2x40 mm amerikansk Foam-glas
- 120 mm Leca tagplader

Skrå tag:

- tagbelægning 300x600 mm eternitskifer
- 2½x4' lægter
- tjærepap
- 100 mm batts
- Alukraft
- spredt forskalling
- 13 mm gipsplader
- 9 mm gipsplader

3.2.2 Efter reovering

Blok A har fået et nyt 30° sadeltag med tagpap som belægning. Isoleringen består af 400 mm mineraluldsgranulat.

Blok B har også fået et nyt 30° sadeltag med tagpap som belægning. Den oprindelige loftkonstruktion mod salene bestående af Lecaplader er bibeholdt. Oven på disse plader er der lagt 400 mm mineraluldsgranulat. Langs facaderne, hvor det skrå tag er erstattet af lodrette facader, og hvor de oprindelige lecaplader ikke når ud til de nye facader – se figur 3.3 - er der i loftet opsat 95 mm mineraluld over en dampspærre og 2x12,5 mm gipsplader.

Figur 3.6 viser et billede fra loftet i Blok B.



Figur 3.6: Loftet i Blok B. Billedet viser isoleringsmaterialet samt de isolerede ventilationskanaler.

3.3 Terrændæk og etageadskillelser

Der er ikke gjort noget ved terrændækkene i kældrene i forbindelse med renoveringen. Terrændækkene bestod oprindeligt i begge bygninger af – se figur 3.1 og 3.2:

200 mm singles
 200 mm Leca
 100 mm armeret beton
 40 mm Treton

3.3.1 Etageadskillelser

På de eksisterende betonetagedæk af 40 mm Treton oven på 200 mm betonhuldæk er der monteret (se figur 3.5):

15 mm lamelparket
 3 mm trindlydsdæmpende underlag
 50 mm pudslag
 30 mm trykfast mineraluld (for yderligere at dæmpe trinlyd)

De nye etagedæk mellem 1. og 2. sal i Blok B er udført som limtræsdæk med:

- lamelparket
 3 mm trindlydsdæmpende underlag

Figur 3.7 viser opførelsen af etagedækket mellem 1. og 2. sal i blok B samt vægge mellem lejlighederne.



Figur 3.7: Opførelse af etagedæk og vægge på 1.-2. sal i Blok B.

3.4 Vinduer

3.4.1 Oprindelige bygninger

Den eneste oplysning, der fremgår vedr. de oprindelige vinduer, er, at de har sidehængte udadgående rammer med termoglas.

Energimærkningsrapporten angiver, at vinduerne er blevet skiftet i 1995 – stadig til termoruder. Som det fremgår af figur 3.8 og 3.9, er vinduerne i stueplan da også væsentligt forskellige fra vinduerne, der er vist i figur 2.2 og 2.3.



Figur 3.8: Blok A 14 år efter facaderenoveringen og vinduesudskiftningen i 1995.



Figur 3.9: Blok B 14 år efter vinduesudskiftningen i 1995.

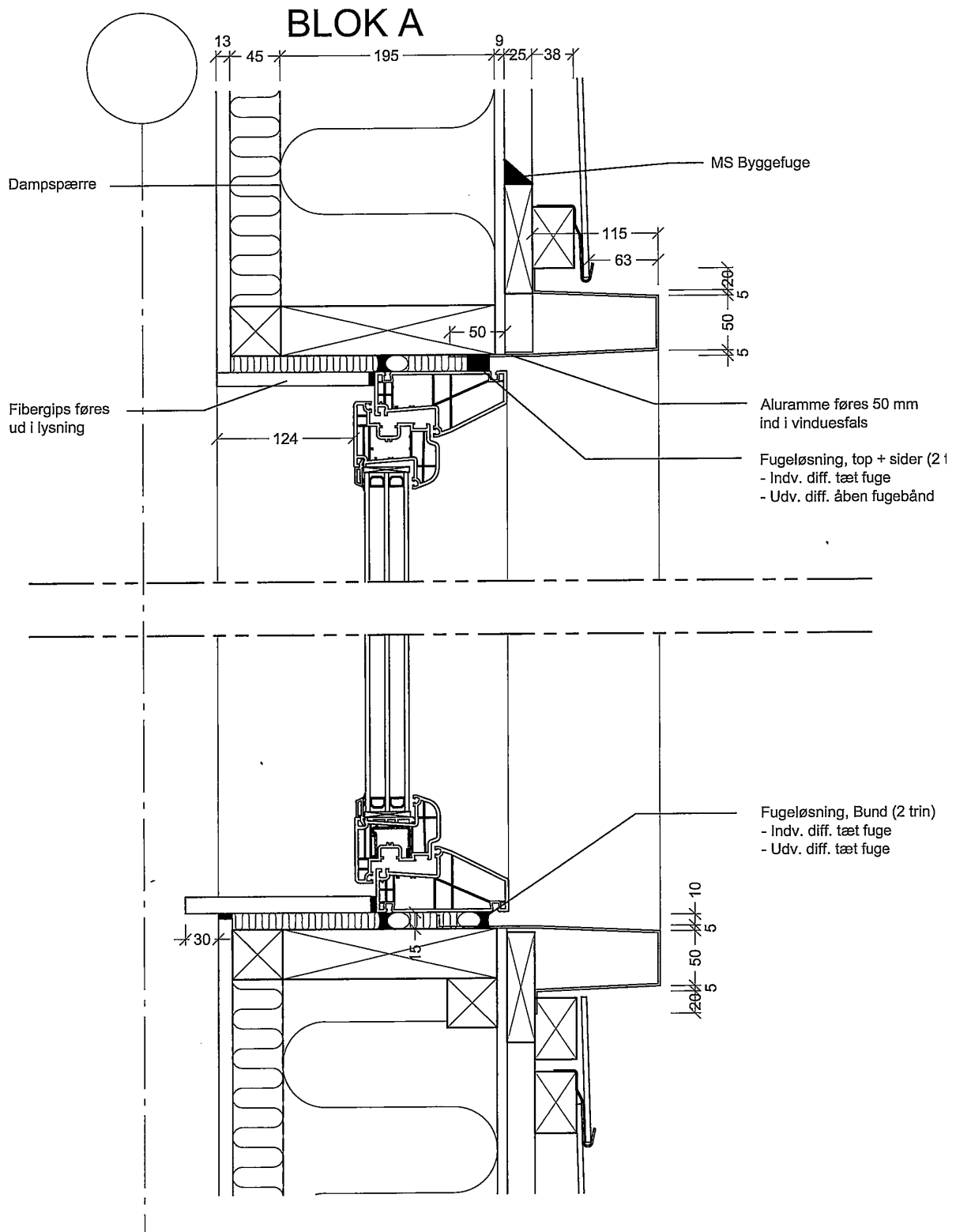
3.4.2 Efter reovering

Vinduer og døre er fra REHAU plast og er med trelags lavenergigruder (DS EN 1279 5 2007-06 15.11.12 525 0x1128.0 3k4-low E+4+4 low E – 14TG 17035 ARGON 11628-7). Figur 3.10 viser et snit i et vindue inkl. overgang til facade.

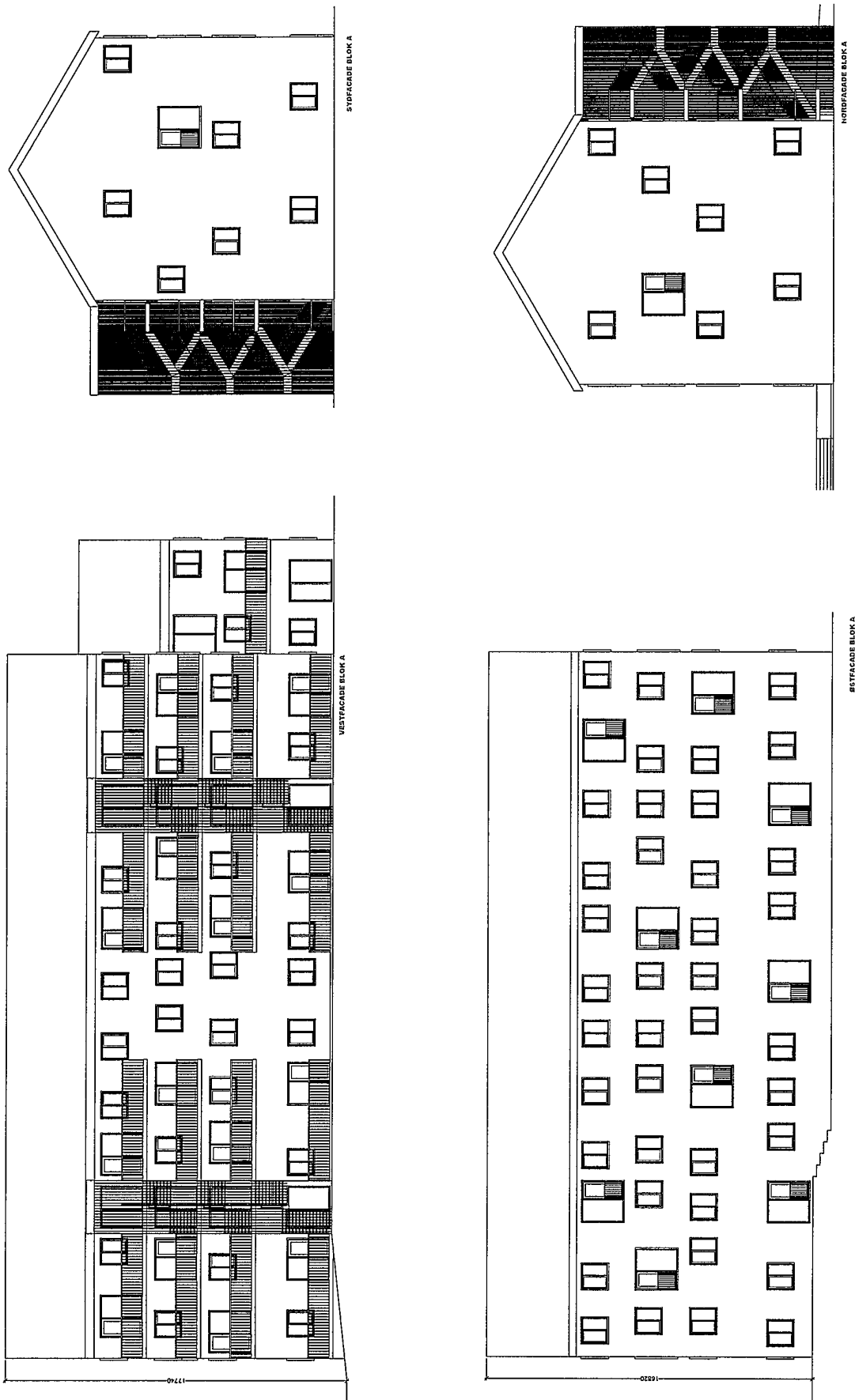
Figur 3.11 og 3.12 viser placeringen af vinduer og døre i de nye facader.

3.4.2.1 Billeder af bygningerne efter reoveringen

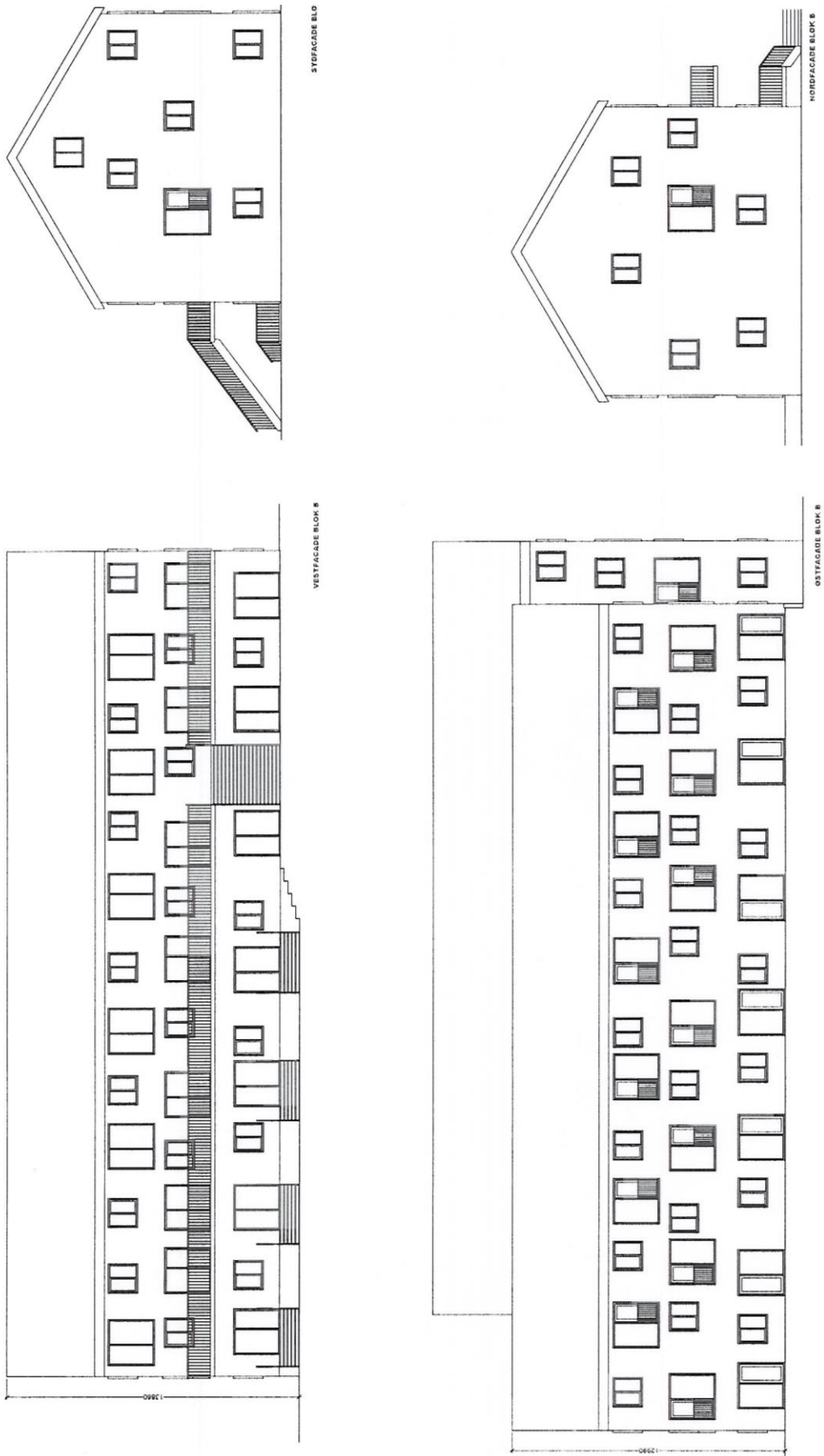
Figureerne 3.13-16 viser bl.a. vinduerne i bygningerne



Figur 3.10: Snit i et vindue inkl. overgang til facade.



Figur 3.11: Placering af vinduer og døre i Blok A.



Figur 3.12: Placering af vinduer og døre i Blok B.



Figur 3.13: Bygningerne set fra syd.



Figur 3.14: Blok A: sydlig gavl (til venstre) og østlig facade (til højre).



Figur 3.15: Lysgårde mellem bygningerne. Foran Blok A's østvendte kældervæg (til venstre) og Blok B's vestvendte kældervæg (til højre).



Figur 3.16: Blok A's vestlige facade med trappetårne.

3.5 Arealer, U-værdier og vinduer/døre

I dette afsnit opgøres arealer og U-værdier af konstruktionerne i klimaskærmen efter renoveringen (som anvendes i Be15-modellerne af bygningerne, - se kapitel 6). Arealer af facader, gavle, loft, etagedæk og terrændæk i kælder er opmålt på tegninger, mens vinduesdimensioner er opmålt på bygningen.

Der findes fem typer vinduer/døre i Sems Have efter renoveringen:

- små vinduer med to fag, hvor det ene kan åbnes
- store vinduer med to fag, som ikke kan åbnes
- franske døre, hvor det ene fag kan åbnes
- hoveddøre med en massiv dør ved siden af et transparent felt
- glasdøre i lysgårde

Ovenstående er vist i figurerne 3.17-18, mens dimensioner og glasandel er listet i tabel 3.1.

Type	hulmål		areal, m ²	glasandel -
	bredde, m	højde, m		
Små vinduer	1,34	1,34	1,80	0,64
Store vinduer	2,17	2,125	4,61	0,83
Franske døre	2,17	2,125	4,61	0,76
Hoveddøre	2,17	2,125	4,61	0,31
Glasdøre i lysgårde	0,875	2,19	1,92	0,64

Tabel 3.1: Dimensioner og glasandel i vinduer og døre.

U- og g-værdien for døre og vinduer er blevet opgivet til henholdsvis 1 W/m²K og 0,5. I forbindelse med opgraderingen fra Lavenergiklasse 2015 til Bygningsklasse 2020 blev vinduerne i øst- og vest-gavlene i Blok B ændret fra at have en g-værdi på 0,5 til 0,3, idet der med den høje g-værdi blev tillagt en straf for overophedning i Blok B på 4,5 kWh/m² i Be10-beregningerne.

Antallet af de fem typer vinduer/døre er angivet i tabel 3.2-3 for henholdsvis Blok A og B, mens arealer (efter renoveringen) og U-værdier (før og efter renoveringen) for de ikke transparente flader af klimaskærmen er angivet i tabel 3.4-5. Da etagehøjden er højere i

stuen i de to bygninger end på 1.-3./1.-2. sal, er stuen opgivet for sig i tabellerne. Arealer, U-værdier og antal vinduer/døre er desuden angivet for hver af bygningernes fire orienteringer.



Figur 3.17: Forskellige typer vinduer og døre efter renoveringen.



Figur 3.18: Vinduer og dør i lysgård.

Arealerne for loft, facader og gavle er udvendige mål, mens målene for etageadskillelser og terrændæk er indvendige mål.

U-værdierne i tabel 3.4-5 er nærmere beskrevet i Bilag A.

Orientering	flader	Antal vinduer og døre				
		små vinduer	franske døre	hoved-døre	store vinduer	glasdøre i kældere
Øst	1.-3. sal	30	6			
	stuen	9	3			
	kælder lysgård	7				1
Vest	1.-3. sal	18	12	6		
	stuen	6	4	2		
	kælder lysgård	7				1
Syd	1.-3. sal	5	1			
	stuen	2				
Nord	1.-3. sal	5	1			
	stuen	2				

Tabel 3.2: Fordelingen af vinduer og døre i Blok A.

Orientering	flader	Antal vinduer og døre				
		små vinduer	franske døre	hoved-døre	store vinduer	glasdøre i kældere
Øst	1.-2. sal	13	13			
	stuen	6	7			
Vest	1.-2. sal	13		7	6	
	stuen	6		7		
	kælder lysgård	7				1
Syd	1.-2. sal	3	1			
	stuen	2				
Nord	1.-2. sal	4	1			
	stuen	2				

Tabel 3.3: Fordelingen af vinduer og døre i Blok B.

Orientering	vægge	U-værdi [W/m^2K]		Arealer minus vinduer og døre [m^2]
		oprindelig	renoveret	renoveret
Øst	1.-3. sal	0,45	0,18	243
	stuen	0,45	0,18	117
	kælder lysgård	0,59	0,18	72
	kælder jord	1,07	1,07	10
	kælder mellemgang	-	-	18
Vest	1.-3. sal	0,45	0,18	209
	stuen	0,45	0,18	109
	kælder lysgård	0,59	0,18	42
	kælder jord	1,07	1,07	56
Syd	1.-3. sal	0,45	0,30	106
	stuen	0,45	0,15	51
	kælder jord	1,07	1,07	43
Nord	1.-3. sal	0,45	0,30	106
	stuen	0,45	0,15	51
	kælder jord	1,07	1,07	43
Loft		0,38	0,09	504
Terrændæk		0,23	0,23	461

Tabel 3.4: U-værdier for Blok A før og efter renoveringen i 2012 samt arealet af ikke transparente arealer efter renoveringen.

Orientering	vægge	U-værdi [W/m ² K]		Arealer minus vinduer og døre [m ²]
		oprindelig	renoveret	renoveret
Øst	1.-2. sal	0,44*	0,18	147
	stuen	0,45	0,18	87
	kælder jord	1,07	1,07	126
Vest	1.-2. sal	0,44*	0,18	147
	stuen	0,45	0,18	87
	kælder lysgård	0,59	0,18	61
	kælder jord	1,07	1,07	30
	kælder mellemgang	-	-	18
Syd	1.-2. sal	0,44*	0,14	69
	stuen	0,45	0,18	41
	kælder jord	1,07	1,07	43
Nord	1.-2. sal	0,44*	0,14	67
	stuen	0,45	0,18	41
	kælder jord	1,07	1,07	43
Loft		0,4**	0,085	544
Terrændæk		0,23	0,23	499

Tabel 3.5: U-værdier for Blok B før og efter renoveringen i 2012 samt arealet af ikke-transparente arealer efter renoveringen. *oprindeligt mansardtag, **oprindeligt næsten fladt tag.

Der er ikke opgivet U-værdier for overgangen mellem kældrene under de to bygninger og mellemgangen, da disse hænger direkte sammen og har samme temperatur. Mellemgangen vil i den følgende sektion blive beskrevet nærmere.

3.5.1 Mellemgang

Figur 3.19 viser et snit i mellemgangen. Ligesom kældrene har mellemgangen en væg mod jord samt samme type terrændæk. Væggen mod lysgården er 250 mm beton med 100 mm isolering. Loftet er 200 mm beton, hvor der er placeret kileformet EPS 200 mm mod lysgården og faldende til 50 mm mod den modsatte væg.

Tabel 3.6 viser U-værdier og arealer efter renoveringen.

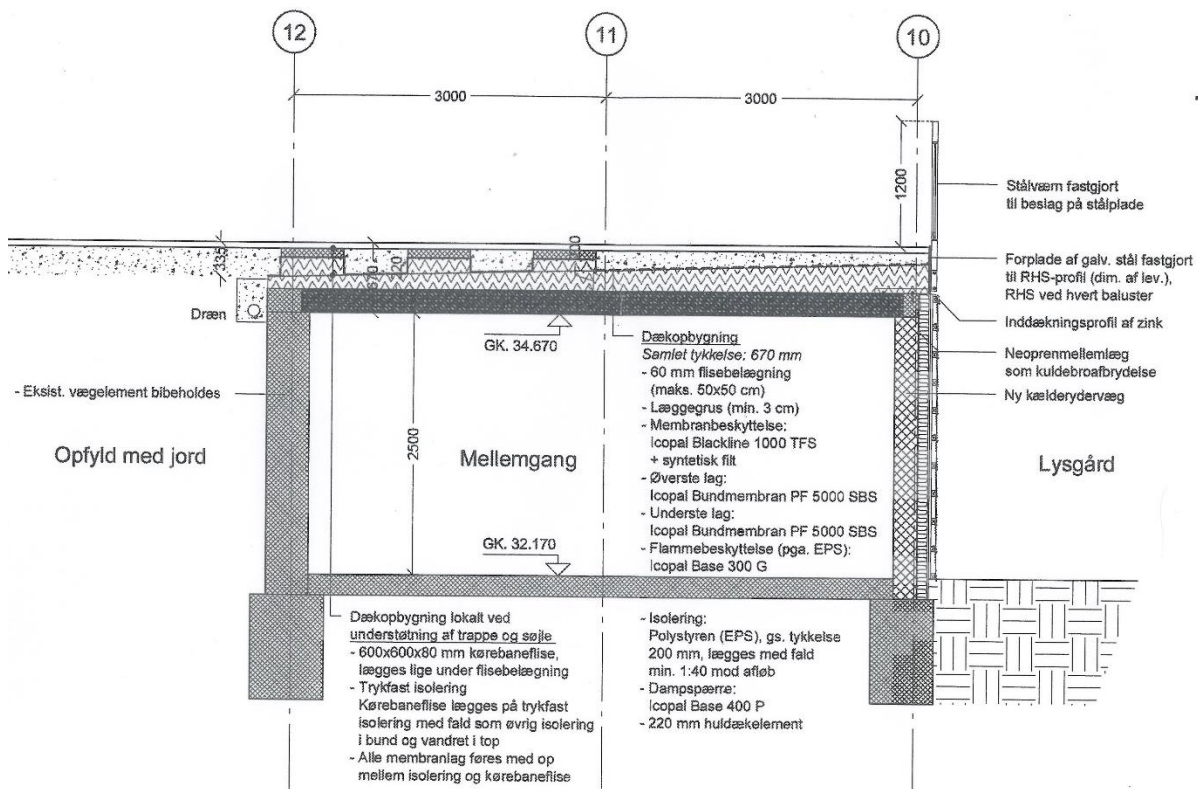
Orientering	flader	U-værdi [W/m ² K]	Areal [m ²]
Øst	mod kælder i Blok B	-	18
Vest	mod kælder i Blok A	-	18
Syd	mod jord	1,07	26,5*
Nord	mod lysgård	0,31	30
Loft		0,31	69
Terrændæk		0,23	69

Tabel 3.6: U-værdier og arealer for mellemgangen efter renoveringen. *ekskl. dør til lysgård.

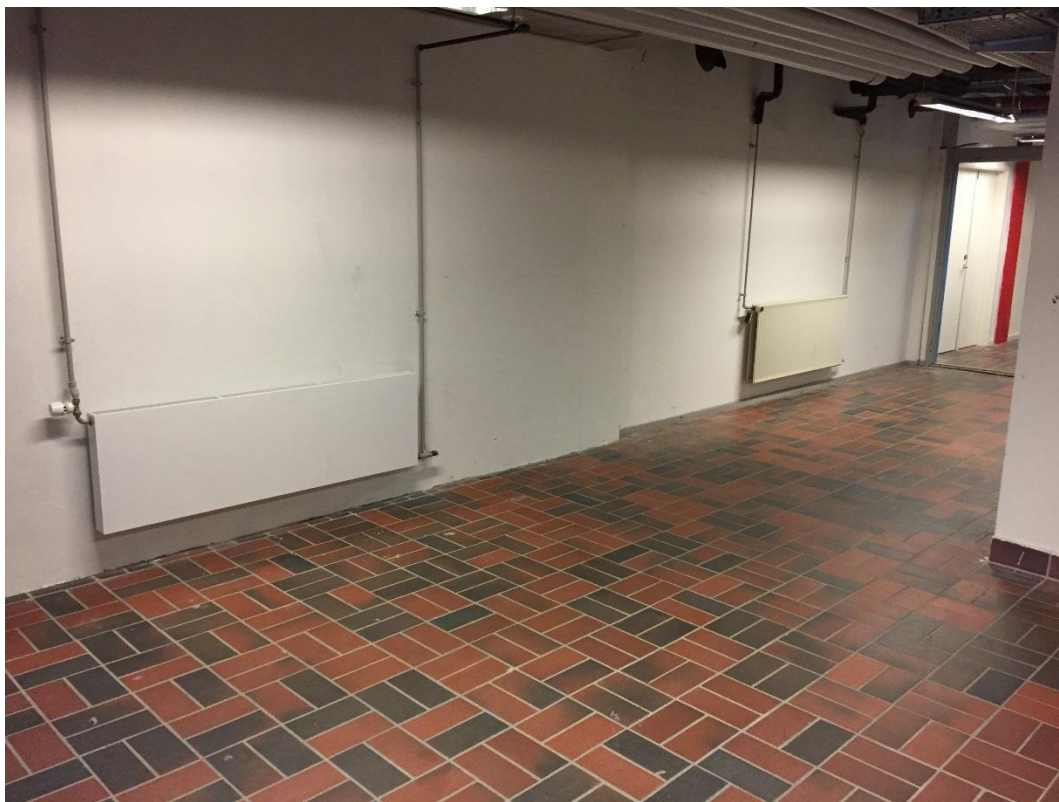
U-værdierne for væg mod jord og terrændækket er som i kældrene i de to blokke. U-værdierne for væggen mod lysgården og loftet er beregnet i Bilag A.

Der er en 3,5 m² dør fra mellemgangen til lysgården. Døren har en U-værdi på 1,0 W/m²K og en g-værdi på 0,5.

Mellemgangen bliver opvarmet af tre radiatorer. To af disse radiatorer er vist i figur 3.20. Der løber ligesom i kældrene en del varme rør i loftet: dels til rumopvarmning i lejlighederne og dels til varmt brugsvand med cirkulation – se figur 4.1.



Figur 3.19: Snit i mellemgangen.



Figur 3.20: To af de tre radiatorer i mellemgangen.

4 Installationer

Installationer før renoveringen var varmeanlæg inkl. varmt brugsvand, fem ventilationsanlæg samt belysning.

Efter renoveringen består installationerne af varmeanlæg inkl. varmt brugsvand, to ventilationsanlæg, belysning i fællesområder, to elevatorer samt to solcelleanlæg.

4.1 Varmeanlæg

4.1.1 Oprindelige bygninger

De følgende oplysninger er fra Energimærkningsrapporten (Danakon, 2009).

Rumopvarmning:

Energimærkningsrapporten oplyser kun: *"Bygningen opvarmes med fjernvarme. Anlægget er udført med isoleret varmeveksler og indirekte centralvarmevand i fordelingsnettet".*

Brugsvandsopvarmning:

Stuen i Blok A og Blok B:

"Varmt brugsvand produceres i 2500 l varmtvandsbeholder, isoleret med 100 mm mineraluld.

På varmtvandsrør og cirkulationsledning er monteret en pumpe med trinregulering med en effekt på 265 W.

Brugsvandsrør og cirkulationsledning er udført som 1" stålør. Rørene er isoleret med 30 mm isolering.

Tilslutningsrør til varmtvandsbeholder er udført som 1" stålør. Rørene er isoleret med 40 mm isolering".

1.-3. sal i Blok A:

"Varmt brugsvand produceres i 500 l varmtvandsbeholder, isoleret med 100 mm mineraluld.

Brugsvandsrør og cirkulationsledning er udført som 1" stålør. Rørene er isoleret med 30 mm isolering".

4.1.2 Efter renoveringen

Samtlige brugsvands- og rumopvarmningsrør er blevet skiftet. Der er også opsat nye radiatorer - bortset fra i badeværelserne, hvor der er gulvvarme. Der er manuelle termostater på radiatorer og gulvvarme.

Der er en varmeplade i hvert ventilationsanlæg. Alle rør i kældrene er isoleret med 30 eller 40 mm, - ca. 50 % af hver isoleringstykkelse. Isoleringen af rørene i kældere er veludført - se figur 4.1. Der antages en gennemsnitlig varmetabskoefficient på 0,20 W/mK.

Rør til stigstreng (både brugsvands- og rumopvarmningsrør) løber under loftet i kældre i de to bygninger og i mellemgangen mellem de to bygninger fra varmecentralen i den nordlige ende af Blok B (se figur 1.2). Figur 4.1 viser et billede af disse rør i mellemgangen mellem de to bygninger.

Fjernvarmetilslutningen sker via ny fjernvarmeveksler fra Reci: Reci LP 1200H-81/2 med en nominal effekt på 83 kW og et varmetab på 4 W/K – isoleret med 100 mm mineraluld. Fjernvarmeveksleren er opstillet i kælderen i den nordlige ende af Blok B. Der er fem pumper i rumopvarmningssystemet: en hovedpumpe (31 W) og en pumpe til hver af følgende: radiatorer (52 W) og gulvvarme i badeværelser (36 W). Desuden er der en pumpe til hvert af de to ventilationsanlæg (hver på 39 W).



Figur 4.1: Brugsvands- og rumopvarmningsrør under lofter i mellemgangen mellem Blok A og B.

Det varme brugsvand produceres i en varmtvandsbeholder fra Reci: Reci 4x18 1000 liter med et varmetab på 3,7 W/K – isoleret med 100 mm mineraluld. Varmtvandsbeholderen er placeret i kælderen i den nordlige ende af Blok B og forsyner begge blokke. Der er en cirkulationspumpe på 45 W.

4.2 Ventilationsanlæg

4.2.1 Oprindelige bygninger

De følgende oplysninger i kursiv er bl.a. fra Energimærkningsrapporten (Danakon, 2009).

Der var afkastventilation i kollegiet på 1.-3. sal i Blok A. Udsugning fra badeværelser og fælleskøkkener. *"Bygningen blev anset for normal tæt"*.

"Der var monteret to ældre mekaniske ventilationsanlæg, der ventilerede de to sale på 1. sal i Blok B. Der var indblæsningsventiler i salen og udsugning fra salen. Aggregatet havde væskekoblet genvinding. Bygningen blev anset for at være normal tæt". De to anlæg ses på taget af Blok B i figur 1.1.

Der var placeret to ventilationsanlæg i kælderen til børnehuset: *"Der var monteret et nyt mekanisk ventilationsanlæg, der ventilerede Børnehuset. Der var indblæsningsventiler i opholdsrum og udsugning i opholdsrum, samt i bad og køkken. Aggregatet med krydsvarmeveksler var placeret i ventilationsrum i kælderen. Bygningen blev anset for at være normal tæt"*.

Der var monteret et nyere mekanisk ventilationsanlæg, der ventilerede køkkenet i Børnehuset. Der var indblæsningsventiler i køkkenet og udsugning i køkkenet. Aggregatet med

krydsvarmeveksler var placeret i kælderen. Bygningen blev anset for at være normal tæt”.

Der ingen oplysninger om volumenstrømme, veksler effektivitet eller elforbrug til ventilatorer.

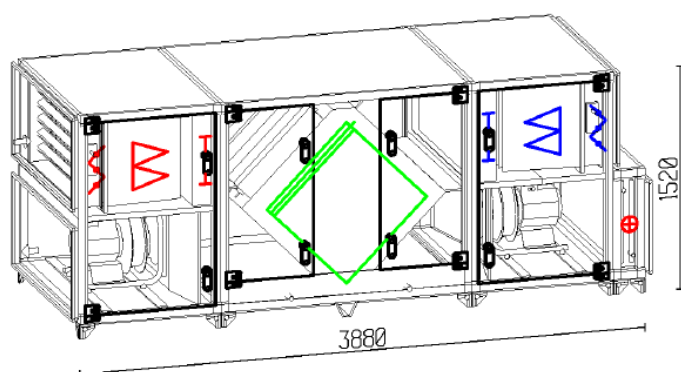
4.2.2 Efter renoveringen

Hver blok har et identisk balanceret mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding på loftet. Der suges ud fra køkken og bad og blæses ind i de øvrige rum.

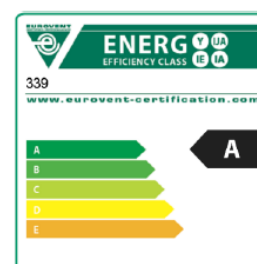
Energiberegningerne (Terkel Pedersen, 2013) for bygningerne efter renovering er vedlagt et datablad fra systemair A/S - figur 4.2. I energiberegningerne er luftskiftet opgivet til 0,36 l/s·m² i Blok A (naturlig ventilation i opgangene) og til 0,46 l/s·m² i Blok B. I energiberegningerne er varmegenvindingsgraden angivet til 84 % og SEL-værdien til 2,0 kJ/m³. Ventilationsanlæggene er dimensioneret til også at kunne servicere kældrene.

Oversigt for aggregat nr. 1

Aggregatstørrelse	25
Aggregatbredde	1420 mm
Vægt	971 kg



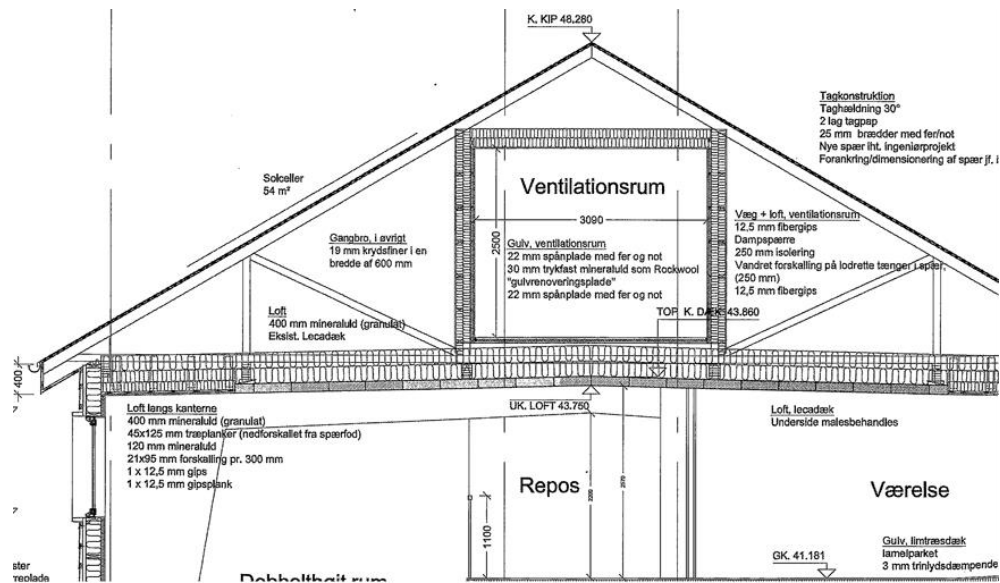
	Tilluft		Fraluft		
Luftmængde (1,205 kg/m ³)	4707.00	m ³ /h	4707.00	m ³ /h	
Lufthastighed i aggregat	1.56	m/s	1.56	m/s	
Eksternt tryktab	300	Pa	300	Pa	
Filter	F7		F5		
Ventilator	76.8	%	78.1	%	
	693	Pa	637	Pa	
Motor	1652	o/min	1599	o/min	
	1.50	kW	1.50	kW	
	3x400	V	3x400	V	
		3.30	A	3.30	A
SEL/SFP, rene filtre inkl. frekvensomformere	1.98	kW/(m ³ /s)			
SEL/SFP, rene filtre ekskl. frekvensomformere	1.88	kW/(m ³ /s)			
Varmeveksler	84.3	%			
Varmebatteri	18.91 kW - Luft 10.0/22.0°C - Vand 58/28°C - 1.1 kPa - 0.15 l/s				
Rørtilslutning	1 1/4" / 1 1/4"				



Figur 4.2: Aggregatet, der er anvendt i de to bygninger.

Ventilationsaggregaterne er placeret på loftet i et isoleret rum – se figur 4.3 og 4.4. Figur 3.6 viser de isolerede ventilationskanaler. Disse er isoleret med 50 mm mineraluld.

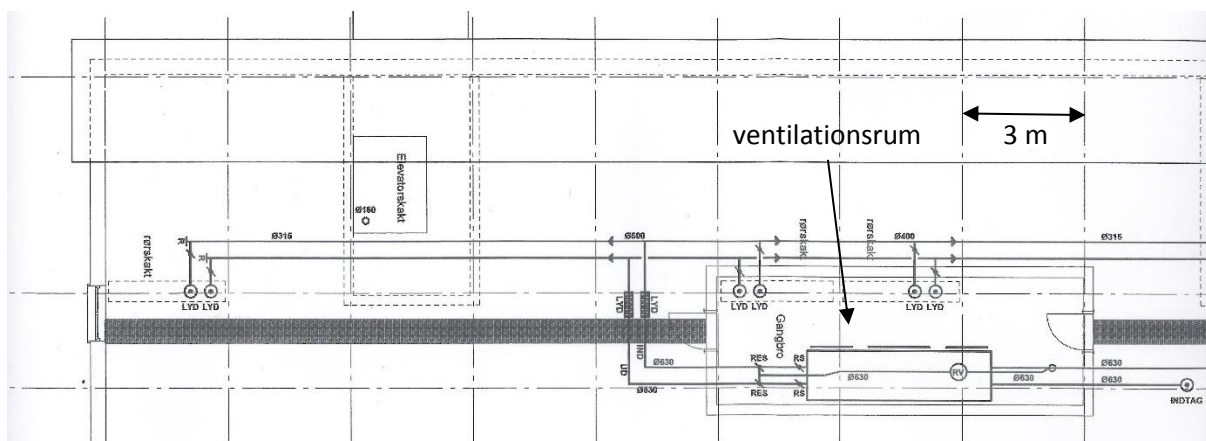
Ventilationsrummet består - som vist i figur 4.3 - af 250 mm isolering i lægteskelet med 12,5 mm fibergipsplader på begge sider. Dimensionen af rummene er (indvendige mål): 2,5 m højt, 3,09 m bredt og 9,3 m langt.



Figur 4.3: Ventilationsrum på loftet i Blok B – tilsvarende rum på loftet af Blok B.

Ventilationsanlæggene er indreguleret med en max udsuget volumenstrøm på 3656 og 3114 m³/h (svarende til i gennemsnit 0,48 og 0,57 l/m²s) for henholdsvis Blok A og Blok B, når alle emhætter og udsugningen på toiletter kører forceret, og en min. volumenstrøm på 1735/2092 m³/h (udsugning/indblæsning) og 1499/1777 m³/h (svarende til i gennemsnit 0,23/0,27 og 0,27/0,30 l/m²s) for henholdsvis Blok A og Blok B, når alle lejligheder ventileres med grundventilationen. På toiletterne er der en fugtstyret Exhausto EHV-ventil, der skifter mellem grundventilationen på ca. 36 m³/h og forceret ventilation på ca. 80 m³/h. Kravet i bygningsreglementer til toiletter er 15 l/s = 54 m³/h.

Figur 3.6 viser et billede af nogle af ventilationskanalerne på loftet i Blok B, mens figur 4.4 viser et udsnit af loftet i Blok A med ventilationskanaler og ventilationsrum. Kanalerne diameter veksler mellem ø630 og ø315 mm. Kanalerne er isoleret med 50 mm mineraluld. Det samlede overfladeareal af kanalerne er opgjort til ca. 105 og 124 m² for henholdsvis Blok A og Blok B.



Figur 4.4: Ventilationsrum og kanaler på loftet i Blok A.

4.2.2.1 Infiltration og naturlig ventilation

Da bygningen er opført som nybyggeri med en hensigt om at nå energikravene til Bygningsklasse 2020, skulle bygningen have været trykprøvet for at sikre, at den overholder kravet til en infiltration på 0,07 l/s pr. m². Det er dog ikke sket. I energiberegningerne (Terkel Pedersen, 2013) er der antaget en infiltration på 0,044 l/s pr. m². Altså væsentligt under kravet i Bygningsklasse 2020. Men da bygningen ikke er trykprøvet, er det nok tvivlsomt, at bygningen er så tæt, som der er forudsat i de energiberegningerne, der blev foretaget før renoveringen af bygningerne, og der kan også stilles spørgsmålstegn ved, om bygningen overholder kravet i Bygningsklasse 2020 på dette punkt.

I energiberegningerne (Terkel Pedersen, 2013) er der dog antaget en middelventilation med ventilationsanlæggene på 0,385 l/s pr. m² mod kravet i Bygningsreglementet på mindst 0,3 l/s pr. m². Den øgede ventilation i beregningerne skyldes den ekstra udsugning, der sker fra badeværelserne, når disse bliver brugt samt fra emhætterne. Sammen med infiltrationen blev der således regnet med $0,385 + 0,044 = 0,429$ l/s pr. m² mod minimumskravet i Bygningsklasse 2020 på $0,3 + 0,07 = 0,37$ l/s pr. m².

Opgangene i Blok A blev i energiberegningerne (Terkel Pedersen, 2013) antaget naturligt ventileret med 0,3 l/s pr. m².

Kældrene og mellemgangen var fra starten naturligt ventileret. Her antages et luftskifte på 0,3 l/m²s. Senere er der i forbindelse med udlejning etableret separat mekanisk ventilation i dele af kældrene.

4.1 Belysning

4.1.1 Oprindelige bygninger

Belysningen blev i Energimærkningsrapporten opgjort til:

Stueetagen i Blok A samt i Blok B

"Belysningsanlæggene i kontorlokalerne består af armaturer med lysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere eller dagslysstyring.

Belysningen i gangarealer ved indgangsparti består af armaturer med kompaktlysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere.

Belysningen i gangarealer ved kontorerne består af 1-rørs armaturer med højfrekvente forkoblinger. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere.

Belysningen i den lille sal består af armaturer med almindelige glødelamper. Belysningen i den store sal består af 4-rørs armaturer med konventionelle forkoblinger. Der er ingen styring af belysningen.

Belysningsanlæggene i børnehuset består af armaturer med lysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere eller dagslysstyring.

Belysningsanlæggene i ungdomsskolen består af armaturer med lysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere eller dagslysstyring. Der er manuel lysdæmpning af armaturerne.

Belysningen i mødelokaler i kælderen består af glødepærer og kompaktlysrør og lysrør med konventionelle forkoblinger. Der er ingen styring af belysningen.

Belysningsanlæggene i motionsrum består af armaturer med lysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere eller dagslysstyring".

1.-3. sal i Blok B

"Belysningen i gangarealer består af armaturer med kompaktlysrør. Der er ingen styring ved bevægelsesmeldere.

Belysningen i trappeopgangen består af armaturer med kompaktlysrør. Lyset styres med bevægelsesmeldere eller trappeautomat“.

4.1.2 Efter renoveringen

Den fælles belysning består efter renoveringen af:

- 14 stk. 15 W LED-lys i terræn styret af skumringsrelæ
- 55 stk. 9 W LED-lys udvendigt på bygningerne styret af skumringsrelæ
- 16 stk. 19 W LED-lys i opgangene styret af PIR-sensor
- 18 stk. 2 W LED-lys i opgangene ved elevatorerne (se figur 4.3). Lysene er tændt hele døgnet
- 8 stk. 2 W LED-lys inde i elevatorerne som er tændt, når elevatorerne er i brug



Figur 4.5: LED spot over dørene til elevatorerne.

4.1 Solceller

Der er et solcellefelt på den vestvendte (30° fra vest mod syd) tagflade på begge bygninger, som vist i figur 1.1. Tagenes hældning er 30°.

Arealerne af solcellepanelerne er 55,2 m² på Blok A og 61,7 m² på Blok B. Solcellearealet indikeret i figur 4.3 er således ikke det endelige areal. Figur 4.5 viser solcellearealet på Blok B.

Solcellepanelerne er fra Dimlex Renewables og har en nominel effekt på 8,16 og 9,12 kWp for solcellepanelerne på henholdsvis Blok A og Blok B. Solcellepanelernes effektivitet er under danske forhold opgivet til 12,8 %.

Inverterne til omformning af strømmen fra jævnstrøm til vekselstrøm er fra Danfoss Solar Inverters. Inverternes effektivitet er opgivet til 96,5 %.

Solar Denmark A/S, der har leveret solcellesystemerne på i alt 117 m², har beregnet den årlige ydelse for den givne orientering og hældning til 6.614 og 7.282 kWh/år for henholdsvis Blok A og Blok B, hvilket giver en forventet samlet årlig elproduktion på 13.896 kWh.



Figur 4.6: Solcelleanlægget på taget af Blok B.

5 Indeklima og generelle forbedringer

Renoveringen af Ungdommens Hus blev gennemført, fordi bygningerne var slidte, og fordi de ikke mere kunne udlejes til deres oprindelige formål. Samtidig ville det være svært at indpasse andre formål i bygningerne uden store ændringer.

Renoveringen blev derfor som udgangspunkt ikke gennemført for at reducere bygningernes energiforbrug. Bygningerne var desuden kategoriseret som energiklasse C.

Renoveringens formål var at ændre bygningerne således, at de igen kunne lejes ud. I forbindelse med denne ændring blev det besluttet at gøre bygningerne meget energieffektive. For at gøre dem attraktive blev der tilføjet end del generelle forbedringer som f.eks. et bedre indeklima, altaner, hvor der ikke før var altaner, pænere og mere tidssvarende bygninger og lejligheder, forbedrede, kønere og mere brugbare udenomsarealer, mm.

5.1 Oprindelige bygninger

Der er ikke mange oplysninger om indeklimaet i Ungdommens Hus før renoveringen. Der var fugtproblemer i de tre etager med kollegiet i Blok A, og kollegiet var ret uhensigtsmæssigt, fordi de studerende havde vandaliseret det.

5.2 Efter renoveringen

5.2.1 Indeklima

Da bygningerne nu fremstår som lavenergibygninger, er der ikke problemer med kolde overflader, idet vægge og loft er kraftigt isoleret, mens kælderen er opvarmet. Vinduer og døre har lavenergiruder med tre lag glas og dermed høj indvendig overfladetemperatur. Der er balanceret mekanisk ventilation med varmegenvinding, som dels sørger for et tilstrækkeligt luftskifte (se nedenfor), dels sikrer at den friske luft, der blæses ind i lejlighederne, har en høj temperatur, idet varmevekslerne i systemet har en varmegenvindingsgrad på 84 % (figur 4.2) samt en eftervarmeflade, hvis den friske luft alligevel bliver for kold.

Der er i februar-marts 2016 gennemført indeklimamålinger i fem lejligheder i bygningerne. D. 12.-19. februar i tre lejligheder i Blok B og d. 8.-15. marts i to lejligheder i Blok A. Desværre er målingerne i Blok B ikke retvisende, da ventilationsanlægget kørte med forøget tryk for at kunne udtørre en vandskade i kælderen. Dette førte til et middelluftskifte i de tre lejligheder på mellem 0,59 og 0,77 l/m²s mod de anbefalede 0,3 l/m²s i bygningsreglementet.

Målingerne i de to lejligheder i Blok A er vist i Bilag B. Begge lejligheder bebos af to personer, men i den ene lejlighed opholder der sig også jævnligt to teenagere.

Som det ses af graferne i Bilag B, er der en ret høj rumtemperatur i begge lejligheder. I gennemsnit over perioden og for begge lejligheder var rumtemperaturen 23,9°C, - altså meget højere end standardværdien på 20°C (anvendt under projekteringen), som skal anvendes i beregningen af, om en bygning overholder en specifik energiramme. De mindre pålidelige målinger i de tre lejligheder i Blok B viser en gennemsnitlig rumtemperatur i stuerne på 22°C.

Luftskiftet var også højere i Blok A, end bygningsreglementet foreskriver. Gennemsnittet for de to lejligheder var 0,48 l/m²s mod 0,3 l/m²s i bygningsreglementet. På grund af det store luftskifte var der ingen fugtproblemer i de fem lejligheder. Luftfugtigheden var under 40 % uden de store fluktuationer. Nogle personer kan dog føle, at luften er for tør.

Den højere rumtemperatur og luftskifte vil forøge opvarmningsbehovet for bygningerne i forhold til det opvarmningsbehov, som anvendes til myndighedsgodkendelsen af bygningen – se kapitel 6.

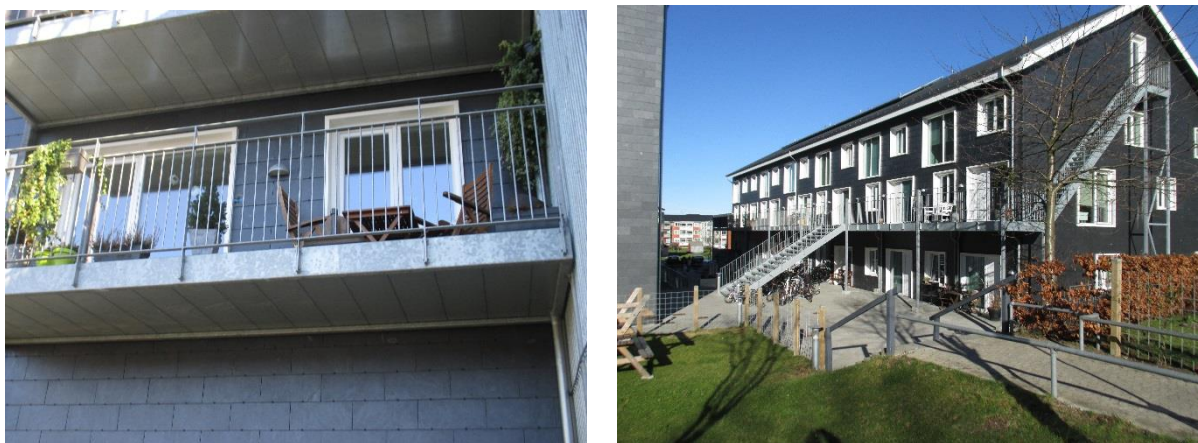
CO₂-niveauet kom i stuen i begge lejligheder sjældent op over den anbefalede grænse på 1000 ppm. I soveværelserne overskrides denne værdi dog næsten hver nat. Der er i den ene lejlighed målt CO₂-koncentrationer på over 2000 ppm, mens der i den anden lejlighed er målt CO₂-koncentrationer på op til ca. 1400 ppm. Forskellen i max CO₂ for de to soveværelser antages her at være, at der soves med lukket dør i lejligheden med den høje CO₂ jvf. (Jensen, 2015). Høje CO₂-koncentrationer i soveværelser er et kendt fænomen i boliger med balanceret mekanisk ventilation. Her er luftskiftet i de forskellige rum typisk indreguleret i forhold til rummenes størrelse. Da et soveværelse som regel er lille i forhold til stuen, vil to personer her lede til en CO₂-belastning der er større, end luftskiftet kan holde nede under 1000 ppm.

5.2.2 Generelle forbedringer

Bygningerne fremstår i dag pæne og tidssvarende, hvilket dog ikke er så underligt, da det næsten er nybyggeri, det drejer sig om. Lejlighederne er lette at leje ud, - der er i dag venteliste på at få en lejlighed i Sems Have.

Lejlighederne i Blok A har fået elevatorer – se figur 2.7 og 4.5. Det er et krav fra Roskilde Kommune, at der etableres elevatorer i byggerier på 3 etager og derover. Dette var ikke nødvendigt i Blok B, da 1. og 2. sal udgør én lejlighed med indvendig trappe.

Lejlighederne i Blok A har fået altaner – se figur 5.1 – bortset fra stuelejlighederne i hver ende af blokken, som i stedet har en lille have – se figur 5.2. Stuelejlighederne i Blok B har også fået små haver – figur 5.2. Lejlighederne, som indeholder både første og anden sal i Blok B, har fået en svalegang, som også kan fungere som altan – se figur 5.1.



Figur 5.1: Altan i Blok A til venstre og svalegang i Blok B til højre.



Figur 5.2: Små haver i stueetagen. Blok A til venstre og Blok B til højre.

Blok B har udvendige trapper til første sal. Dette øger den disponible plads i stuen og til dels på første sal.

Udenomsarealerne er rettet op med græsbelægning. "Gården" mellem de to blokke har fået ny belægning og fremstår i dag brugbar til udendørsaktiviteter – se figur 5.3.



Figur 5.3: "Gården" mellem de to blokke.

6 Energiforbrug/-produktion

Som nævnt i afsnit 1.1 var energimålet for renoveringen af Sems Have i første omgang Lavenergiklasse 2015, men da det kun betød en mindre udgift (se kapitel 7) at opgradere bygningerne fra Lavenergiklasse 2015 til Bygningsklasse 2020, blev det besluttet at gå hele vejen til Bygningsklasse 2020's energikrav på 20 kWh/m² (primær energi).

Med de besluttede tiltag (kapitel 3 og 4) beregnede den rådgivende ingeniør (Terkel Pedersen, 2013) med standardværdierne for beregning med beregningsprogrammet Be10 (rumtemperatur = 20°C, gratisvarme fra personer og udstyr = 5 W/m² og et varmtvandsforbrug på 250 l/m² pr. år opvarmet til 55°C, men med en andet luftskifte end standardværdien – se afsnit 4.2.2.1) et årligt primært energiforbrug på 16.2 kWh/m² (bruttoareal) for de to bygninger ekskl. kældre, da kældrene ikke direkte indgik i entreprisen. Det beregnede energiforbrug var således vel under kravet i Bygningsklasse 2020. Det skal dog nævnes, at der i energiberegningerne ikke blev regnet med et varmetab fra stueetagerne til kældrene, da kældrene var/er opvarmede. Tabel 6.1 viser en opsplitning af de gennemsnitlige energiforbrug.

Netto rumvarme kWh/m ²	11,4*
Netto brugsvandsopvarmning kWh/m ²	14,1*
Elforbrug til bygning kWh/m ²	6,1
Solceller kWh/m ²	3.8
Brutto energiforbrug kWh/m ²	16,2**

Tabel 6.1: Det beregnede (med Be10) gennemsnitlige, årlige energiforbrug beregnet ved projekteringen af energirenoveringen. * inkl. varmetab fra installationer. ** bygningernes primærenergiforbrug, efter at primær energifaktorerne er ganget på.

Det resulterende energiforbrug i bygningerne vil i drift selvfølgelig være anderledes end angivet i tabel 6.1, da rumtemperaturen i nybyggeri typisk er højere end 20°C, og der er et andet varmtvandsforbrug og en anden gratisvarme end forudsat i Be10-beregningen. Desuden må det forventes, at vejret i virkeligheden er forskellig fra det (standard)vejr, som blev anvendt i Be10.

I det følgende sammenlignes det virkelige forbrug/den virkelige produktion med det forventede forbrug/den forventede produktion. Dette gøres separat for:

- rumvarme og varmt brugsvand
- elforbrug til bygningernes drift
- elproduktion fra solcelleanlæggene

6.1 Rumvarme- og varmtvandsforbrug

I det følgende sammenlignes der med det målte varmebehov for 2014. Normalt anbefales det at anvende målinger fra andet år efter ibrugtagningen af en bygning, da der ofte er indreguleringsproblemer det første år (Jensen, 2015). 2014 er alligevel valgt, fordi indreguleringsproblemerne var minimale. Der var desuden usikkerhed om ventilationen af den ene kælder sidst i 2015 på grund af en vandskade, hvor bygningens ventilationsanlæg blev anvendt til udtørring, hvilket foregik et godt stykke ind i 2016. I 2016 begyndte kældrene desuden at blive anvendt til forskellige, formål som ledte til mere usikkerhed om ventilationen i kældrene.

Det samlede fjernvarmeforbrug i 2014 var 234,1 MWh.

Der er lavet individuelle målinger af rumvarmeforbruget med varmemålere og varmtvandsforbruget med vandmålere i de enkelte lejligheder. Den resterende del af fjernvarmeforbruget svarer derfor til det tab, der er i systemet (fordeling af varme, cirkulation af varmt brugsvand samt varmetab fra den øvrige installation). Det samlede forbrug af varmt vand for ejendommen i 2014 var 834,6 m³, hvilket svarer til ca. 230 l/m² – altså

en anelse lavere end de normale 250 l/m², der antages i energiberegninger for beboelse. Hvis det antages, at vandet skal opvarmes fra 10°C til 53°C (temperaturen i Sems Have), kan det målte forbrug i m³ omregnes til et omtrentligt fjernvarmeforbrug:

$$4186 \text{ J/kg} \cdot \text{K} \times (60 - 10) \text{ K} \times 834,64 \text{ m}^3 / 3600 \text{ s/h} = 41,7 \text{ MWh}$$

Det samlede rumvarmeforbrug for ejendommens lejligheder er målt til 89,1 MWh, og kælderenes varmebehov er målt til 39,2 MWh. Det samlede tab i systemet kan derfor fastlægges som:

$$234,1 \text{ MWh} - 41,7 \text{ MWh} - 89,1 \text{ MWh} - 39,2 \text{ MWh} = 64,1 \text{ MWh}$$

Tabet i systemet svarer altså til ca. 27 % af det samlede forbrug.

Ud fra varmfordelingsregnskabet kan det samlede tab i systemet fordeles i to kategorier: varmetab i forbindelse med fordelingen af rumvarme, som fordeles ud fra de enkelte lejligheds areal, og varmetab fra varmtvandsinstallation og cirkulation af varmt vand, som fordeles ud fra antallet af haneandele. I Sems Have er det antaget, at alle lejligheder har seks haneandele og dermed fordeles tabet i forbindelse med varmt vand ligeligt. Kælderen får ikke en andel af de fordelte varmeudgifter.

Tabel 6.2 sammenfatter resultaterne.

Delforbrug	MWh	%
Målt rumvarmeforbrug, lejligheder	89,1	38,1
Målt rumvarmeforbrug, kælder	39,2	16,7
Fordelt rumvarmeforbrug	43,3	18,5
Målt varmtvandsforbrug	41,7	17,8
Fordelt varmtvandsforbrug	20,8	8,9
Total	234,1	100,0

Tabel 6.2: Fordeling af samlet fjernvarmeforbrug for Sems Have for 2014 i MWh.

Det er vigtigt at bemærke, at størrelsen af det fordelte rumvarmeforbrug og det fordelte varmtvandsforbrug ikke er kendt, så der er anvendt en fordelingsnøgle for den del af det samlede varmeregnskab, der ikke er foretaget en egentlig individuel måling af. Så de fordelte forbrug kunne sagtens være anderledes end vist i tabel 6.2, f.eks. med et større tab til produktion og distribution af varmt vand og et tilsvarende mindre forbrug til fordeling af rumvarme.

Kælderen medtages ikke i første omgang i de efterfølgende beregninger, idet kælderen ikke var en del af den egentlige energirenovering af Sems Have og dermed ikke var med i rådgivernes oprindelige energiberegninger. I tabel 6.3 er vist det målte varmeforbrug for ejendommen pr. m² (ekskl. kælder).

Delforbrug	kWh/m ²	%
Målt rumvarmeforbrug, lejligheder	24,6	45,7
Fordelt rumvarmeforbrug	12,0	22,3
Målt varmtvandsforbrug, lejligheder	11,5	21,4
Fordelt varmtvandsforbrug	5,7	10,6
Total	53,8	100,0

Tabel 6.3: Fordeling af samlet målt fjernvarmeforbrug for Sems Have for 2014 i kWh/m².

Det målte rumvarmeforbrug bør naturligvis graddøgncorrigeres, før der kan foretages en sammenligning med det beregnede (forventede) varmeforbrug. Det normale (gennemsnitlige) antal graddøgn pr. år er 2906 Gd (graddage). 2014 var imidlertid et særdeles mildt/varmt år, så der var kun 2100 Gd svarende til ca. 27,7 % lavere end i normalåret.

Varmeudgiften til rumopvarmning i 2014 var derfor 27,7 % lavere end for normalåret, som er anvendt i beregningerne af varmebehovet.

Det graddøgnkorrigerede forbrug er vist i tabel 6.4. Bemærk, at der udelukkende graddøgnkorrigeres for energiforbruget til rumopvarmning - det såkaldt "graddøgnsafhængige forbrug" (GAF). De øvrige forbrug - dvs. varmtvandsforbruget, varmetabet fra cirkulationsledninger for varmt brugsvand, varmetab fra rørinstallationer samt tomgangstab fra tilslutningsanlæg til fjernvarme mv., kaldes "graddøgnsuafhængigt forbrug" (GUF), og graddøgnkorrigeres altså ikke.

Delforbrug	kWh/m ²	%
Målt rumvarmeforbrug, lejligheder	34,0	53,8
Fordelt rumvarmeforbrug	12,0	19,0
Målt varmtvandsforbrug, lejligheder	11,5	18,2
Fordelt varmtvandsforbrug	5,7	9,0
Total	63,2	100,0

Tabel 6.4: Graddøgnkorrigeret målt fjernvarmeforbrug for Sems Have for 2014 i kWh/m².

6.1.1 Beregnet varme- og varmtvandsforbrug

Ved sammenligning mellem tabel 6.1 og tabel 6.3 ses det, at det faktiske opvarmningsbehov i 2014 var $63,2/(11,3+14,1) \approx 2,5$ gange højere end beregnet med Be10 ved projekteringen af energiovereringen.

Det var forventet, at det virkelige opvarmningsbehov ville være højere end det forventede (beregnete) opvarmningsbehov, da beregningerne var udført til anvendelse i forbindelse med myndighedsgodkendelse af nybyggeri ift. opfyldelse af Bygningsreglementets energikrav. Her anvendes som nævnt i forrige afsnit en række standardforudsætninger om bygningens anvendelse og brugernes adfærd. De vigtigste parametre i denne forbindelse er (ud over værdier for konstruktioner og installationer): rumtemperaturen i bygningen, infiltrationen i bygningen (bygningens tæthed), luftskiftet via ventilationsanlægget, det interne varmetilskud (varmeafgivelsen fra personer og udstyr i bygningen) samt forbruget af varmt brugsvand.

I tabel 6.5 er angivet standardværdierne af disse parametre - dvs. de værdier som anvendes i forbindelse med myndighedsgodkendelse af en ny bygning.

Parameter	Standardværdi
Rumtemperatur	20°C
Infiltration	0,07 l/s pr. m ² *
Ventilationsrate	0,30 l/s pr. m ²
Internt varmetilskud	5 W/m ² (1,5 W/m ² fra personer og 3,5 W/m ² fra udstyr)
Varmtvandsforbrug	250 l/m ² opvarmet til 55°C

Tabel 6.5: Standardværdier anvendt i energiberegninger (Be10/Be15). * krav til Bygningsklasse 2020.

Sems Have består af to forskellige bygninger: Blok A og Blok B. Bygningerne er som beskrevet i de foregående kapitler ikke ens i forhold til størrelse, mens konstruktioner og installationer er rimeligt ens. Som inddata til beregningerne er anvendt værdierne fra afsnit 3.5 for konstruktionerne og fra kapitel 4 for installationerne. Det målte varmeforbrug er imidlertid ikke opdelt på de to ejendomme, og derfor bliver der i beregningerne brugt et gennemsnit for de to bygninger til sammenligning med det målte forbrug. Gennemsnittet er fremkommet ved en vægtning på baggrund af bygningernes opvarmede etageareal.

Da standardværdierne i tabel 6.5 sandsynligvis ikke er dækkende for Sems Have, er de følgende beregninger gennemført, hvor parametre i tabel 6.5 er justeret, for at opnå et mere realistisk resultat.

I det følgende gennemgås kort, hvordan standardparametrene er blevet ændre for bedre at beskrive de faktiske forhold.

Rumtemperaturen antages som nævnt normalt at være 20°C jvf. Bygningsreglementet. Denne antagelse kunne være en realistisk gennemsnitlig værdi i et gammelt hus, hvor primære værelser som køkken, badeværelser og stue måske er opvarmet til 21-23°C, og andre sekundære rum som entré, soveværelser eller bryggers måske kun opvarmes til 18-19°C. Sems Have har gennemgået en dybdegående energirenovering, og har en høj-isoleret klimaskærm, så derfor vil det være mere realistisk med en mere jævn rumtemperatur i lejlighederne. Der er foretaget målinger af indeklimaet i to lejligheder i Sems Have (se kapitel 5), og i forbindelse med disse målinger blev der fastlagt en gennemsnitlig rumtemperatur på ca. 23,9°C. Erfaringer viser, at danskerne typisk foretrækker en rumtemperatur på 22-23°C i fyringssæsonen - specielt i lavenergibyggeri, hvor varme-regningen er lav. De 23,9°C er nok i overkanten som en gennemsnitstemperatur, så i det følgende anvendes 23°C.

Det interne varmetilskud fra personer og udstyr (inklusive belysning) antages normalt at være henholdsvis 1,5 W/m² og 3,5 W/m² - jvf. Bygningsreglementet. I nye bygninger, eller i bygninger som har gennemgået en dybtgående energirenovering, vil dette bidrag til varmebalancen have en betydelig indflydelse på varmebehovet, da det svarer til (1,5 + 3,5) W/m² x 6000 h (fyringssæsonen) = 30 kWh/m².

Normalt regner man med, at én person afgiver 90 W. Hvis en lejlighed har fra 1-4 beboere, vil det interne varmetilskud fra personer ligge fra 0,75 til 3 W/m². Dermed er det formentlig realistisk at benytte de 1,5 W/m² som gennemsnit.

Ifølge Energistyrelsen er elforbruget for en lejlighed med hhv. 1 voksen, 2 voksne og 2 voksne og 2 børn ca. 2.400, 2.950 og 3.350 kWh om året - svarende til hhv. 2,3, 2,8 og 3,2 W/m². Dette er altså noget lavere end standardværdien, og hvis man samtidig tager højde for, at hårde hvidevarer og belysning er helt nye, kunne værdien meget vel være noget lavere. I det følgende anvendes 2,8 W/m².

Infiltrationen i en bygning (dvs. primært tætheden af klimaskærmen) må max være 0,07 l/s pr. m², for at bygningerne opfylder kravet til 2020-byggeri i Bygningsreglementet. Der er imidlertid ikke gennemført en tæthedsprøvning af bygningerne, og derfor bør det overvejes, om værdien i virkeligheden er lidt højere, f.eks. 0,10 l/s pr. m², svarende til kravet til 2015-byggeri.

Ventilationsraten for bygningen regnes normalt at være 0,30 l/s pr. m² for beboelse (der er krav om mindst 0,30 l/s pr. m² i Bygningsreglementet). Indeklimamålingerne har imidlertid vist, at det samlede luftskifte (ventilation + infiltration) gennemsnitligt ligger omkring 0,48 l/s pr. m², og hvis man antager, at infiltrationen højst er f.eks. 0,10 l/s pr. m², vil det medføre, at ventilationen via ventilationsanlægget er ca. 0,38 l/s pr. m².

Varmtvandsforbruget er målt til 230 l/m² pr. år mod standardværdien på 250 l/m² pr. år. Brugsvandstanken er opvarmet til 53°C mod standardværdien på 55°C. Det reelle forbrug af varmt brugsvand ligger således tæt på standardforbruget.

Sammenfattende indføres de ændringer i beregningsmodellen, som er vist i tabel 6.6.

I tabel 6.7 vises resultatet fra beregningen, både med standardparametre fra tabel 6.5 (dog med rådgivernes oprindelige bud på ventilation og infiltration – afsnit 4.2.2.1) og med ændrede parametre fra tabel 6.6. Til sammenligning er også vist de målte værdier.

Parameter	Antagede faktiske forhold
Rumtemperatur	23°C
Infiltration	0,10 l/s pr. m ²
Ventilationsrate	0,38 l/s pr. m ²
Internt varmetilskud	1,5 + 2,8 = 4,3 W/m ²
Varmtvandsbehov	230 l/m ² opvarmet til 60°C

Tabel 6.6: Mere realistiske inputparametre til beregningerne.

	Forbrug	Standard ¹ kWh/m ²	Tilpasset ⁴ kWh/m ²	Tilpasset ⁵ kWh/m ²	Målt kWh/m ²
Gennemsnit	Rumvarme - leveret	10,0 ²	28,4	32,9	34,0
	Rumvarme - fordelt	1,9	1,8	1,7	12,0
	Varmt vand - leveret	13,1 ³	11,5	11,5	11,5
	Varmt vand - fordelt	0,2 ³	0,3	0,3	5,7
	Total	25,2	41,9	46,4	63,2

Tabel 6.7: Det beregnet årlige varme- og varmtvandsforbrug for Sems Have i kWh/m² med standardværdier og tilpassede værdier samt målte værdier til sammenligning. ¹ rådgivernes inputdata men nu beregnet med Be15. ² en anden klimafil i Be15 øger rumopvarmningsbehovet i forhold til Be14 med ca. 0,5 kWh/m². ³ i Be10 beregningen var der en 1000 l varmtvandsbeholder i hver bygning, mens der her (som i virkeligheden) kun er en beholder i Blok B. ⁴ Be15-beregning med inddata fra tabel 6.6. ⁵ som ⁴, men med en rumtemperatur på 23,9°C.

Sammenlignes resultaterne af de tilpassede beregninger med de målte resultater, er det primært de fordelte forbrug, der afviger. En rumtemperatur på 23,9°C bringer den levede rumvarme meget tæt på den målte rumvarme til lejlighederne. Der fortsættes dog i det følgende med en rumtemperatur på 23,0°C.

I rådgivernes beregninger medregnes rør til varmetilførelserne i ventilationsanlæggene på de to lofter, men der er ikke taget hensyn til, at der er et varmetab fra ventilationsrummene og ventilationskanalerne på de to lofter. Se figurerne 3.6 og 4.3-4. I afsnit 4.2.2 er der beregnet et samlet overfladeareal for ventilationsrum og kanaler på 105 og 124 m² for henholdsvis Blok A og Blok B. Dette øger rumopvarmningsbehovet og dermed også det totale opvarmningsbehov med ca. 4 kWh/m². At det er rumopvarmningsbehovet, der øges, og ikke tabet i forbindelse med rumopvarmningen (Rumvarme – fordelt i tabel 6.7) skyldes måden, dette beregnes på i Be15.

Det totale opvarmningsbehov er nu 45,8 og 50,6 kWh/m² for en rumtemperatur på henholdsvis 23,0 og 23,9°C, - eller henholdsvis 28 og 20 % lavere end det målte forbrug.

I rådgivernes beregninger indgår kældrene ikke, da disse ikke var en del af entrepriserne. Og da kældrene er opvarmede, regnes der ikke med et varmetab mod kældrene. Men som det ses af figur 4.1, er der mange rør (til både rumvarme og varmt brugsvand) i kældrene. Varmetabet kommer kældrene til gode, men er et tab for etagerne med lejlighederne.

Der tilføjes derfor rør til både rumopvarmning og varmt brugsvand med varmetab til kældrene. Tabel 6.8 viser en beregning, hvor længden af 28 mm rør med 30/40 mm isolering er tilpasset sådan, at beregningsresultatet passer med de målte forbrug. For at opnå resultatet i tabel 6.8 har det været nødvendigt at tilføje 650 m rør til rumopvarmning og 500 m rør til varmt brugsvand.

Tabel 6.8 viser en fin overensstemmelse mellem beregninger og målinger ved introduktion af 1.150 m rør. Der er i beregningerne anvendt en varmetabskoefficient på 0,20 W/mK, som svarer til 30 mm isoleringen. Dette er gjort, fordi isoleringen nok ikke er helt perfekt alle steder. Bygningerne er 36 og 38 m lange, samt 13 m brede, og mellemgangen er 12 m lang mellem Blok A og Blok B. Det betyder, at 1.150 m rør er i overkanten, selvom der er mange rør i loftet – se figur 4.1. I det anvendte rørtab skjuler der sig der-

for nok også andre tab, f.eks. at kælderen nok er koldere end 23°C, hvilket dels øger tabet fra rørene, dels leder til et varmetab fra stueetagerne til kældrene.

	Forbrug	Standard kWh/m ²	Tilpasset* kWh/m ²	Målt kWh/m ²
Gennemsnit	Rumvarme - leveret	10,0	32,3	34,0
	Rumvarme - fordelt	1,9	13,2	12,0
	Varmt vand - leveret	13,1	11,5	11,5
	Varmt vand - fordelt	0,2	6,2	5,7
	Total	25,2	63,2	63,2

Tabel 6.8: Det beregnede årlige varme- og varmtvandsforbrug for Sems Have i kWh/m² (inkl. rør-
tab i kældrene) med standardværdier og tilpassede værdier samt målte værdier til sammenligning.
* rumtemperaturen er her 23°C.

På baggrund af ovenstående antages det, at det meget højere målte opvarmningsbehov i forhold til opvarmningsbehovet beregnet under projekteringen skyldes følgende:

- anden brug af bygningen end standardværdierne i Be10/Be15 inkl. en mere utæt bygning – forskel mellem tabel 6.5 og 6.6
- at der i de oprindelige beregninger ikke er medtaget varmetab fra ventilationsrum og kanaler på loftet og varmetab fra rør/måske andre tab i kældrene

6.1.2 Med kældre i beregningerne

For at vurdere, om værdierne i tabel 6.6 samt om varmetabet fra ventilationsrum og kanaler på loftet er plausible, gennemføres der i det følgende en beregning, hvor kældrene er medtaget i beregningerne. I disse beregninger er de ovennævnte 1.450 m rør i kældrene igen trukket ud af beregningerne.

Værdier for kældre og mellemgang er angivet i afsnit 3.5 og 4.2.

Kældrenes opvarmningsbehov er målt til 39,2 MWh, hvilket bliver 11,4 kWh/m², hvis det deles ud på det beboede etageareal. Det kan diskuteres, om dette opvarmningsbehov skal graddøgnkorrigeres, da størstedelen af varmetabet gennem vægge og gulv er til jord. Hvis det graddøgnkorrigeres, er opvarmningsbehovet 15,8 kWh/m². Tabel 6.9 viser beregnede og målte opvarmningsbehov for bygningerne, hvor kældrene er inkluderede, mens rørtab fra tabel 6.8 er fjernet.

Tabel 6.9 viser et ca. 10 % lavere opvarmningsbehov end målt, hvilket må siges at være en rimelig god overensstemmelse. Hvis kældrens opvarmningsbehov ikke graddøgnkorrigeres, er forskellen kun 5 %. Der er større forskel inden for de tre kategorier: rumvarme til lejligheder, varmt brugsvand og rumvarme til kældrene. Det skyldes, at kældrene i denne version af beregningerne ikke modtager varmetab fra varme rør i kældrene, hvilket betyder, at rumvarmebehovet i kældrene er højere, mens opvarmningsbehovet til rumvarme og varmt brugsvand i lejlighederne er lavere i Be15 end målt.

	Forbrug	Tilpasset* kWh/m ²	Målt kWh/m ²
Gennemsnit	Rumvarme – i alt	34,6	46,0
	Varmt vand – i alt	11,8	17,2
	Rumopvarme - kælder	24,4	15,8
	Total	70,8	79,0

Tabel 6.9: Det beregnede årlige varme- og varmtvandsforbrug for Sems Have i kWh/m² inkl. kælder-
re med tilpassede værdier samt målte værdier til sammenligning. * rumtemperaturen er her 23°C.

På baggrund af ovenstående vurderes det, at de tilpassede værdier i tabel 6.6 samt at varmetabet fra ventilationsrum og -kanaler til lofterne giver et rimeligt billede af forholdene i Sems Have. Derfor antages det også, at rørtabene til kældrene i tabel 6.8 også er rimeligt beskrivende for disse tab.

6.1.3 Konklusion

Det samlede opvarmningsbehov var i rådgivernes beregning $11,4 + 14,1 = 25,5$ kWh/m² med standardværdierne - bortset fra et højere luftskifte.

Ved at gå fra standardværdierne i Be10-/Be15-beregningerne til målte/skønnede værdier øges det beregnede opvarmningsbehov med 72 %. Det beregnede opvarmningsbehov bliver da 41,9 kWh/m² (tabel 6.7 ved en rumtemperatur på 23°C), hvilket er en forøgelse på $41,9 - 25,5$ kWh/m² = 16,4 kWh/m².

De målte/skønnede værdier er dog ikke nok til at nå op til det målte opvarmningsbehov på 63,2 kWh/m². Ved at tilføje varmetabet fra ventilationsanlæggene på lofterne samt introducere varmetab fra rør i kældrene opnås et opvarmningsbehov på 63,2 kWh/m² (tabel 6.8). Det er en stigning i opvarmningsbehovet på $63,2 - 41,9$ kWh/m² = 21,3 kWh/m², hvilket er 30 % højere end forøgelsen af opvarmningsbehovet som følge af anvendelse af målte/skønnede værdier.

På baggrund af ovenstående ser det ud til, at den store forskel mellem det målte og det (i projekteringsfasen) beregnede opvarmningsbehov skyldes i samme størrelsesorden anden brug af bygningen (inkl. mere utæt bygning) og varmetab, som ikke var medtaget i de oprindelige beregninger fra projekteringsfasen.

Det er svært på forhånd at spå om brugen af en bygning, men ovenstående viser, at det er vigtigt at sikre sig, at alle energitab er inkluderet i beregningerne i projekteringsfasen.

6.2 Elforbrug til bygningernes drift

Be15-beregningerne giver et elforbrug til bygningernes drift (ventilatorer og pumper) på 6,1 kWh/m². Elforbruget til bygningernes drift inkl. belysning er i 2014 målt til 22.640 kWh, hvilket giver 6,6 kWh/m². Dette stemmer godt overens med Be15-beregningerne, der ikke inkluderer belysning.

6.3 Elproduktion fra solcelleanlæggene

Be15-beregningerne for solcelleanlæggene leder til en årlig elproduktion på 3,8 kWh/m². I 2014 producerede solcelleanlæggene 17.907 kWh, hvilket giver 5,2 kWh/m² - eller 37 % mere end projekteret. Det skal dog nævnes, at 2014 var 5-10 % mere solrig end et normalår (Sol & Vind, 2014 og DMI, 2014). Det betyder, at elproduktionen skal nedskrives med ca. 10 %, for at kunne sammenlignes med Be15, til 4,7 kWh/m², hvilket stadig er langt bedre end forventet.

Solcellestrømmen anvendes kun til bygningernes drift.

6.4 Opfyldelse af Bygningsklasse 2020?

Da der er tilføjet nogle varmetab til den oprindelige Be10-beregning, og da solcelleanlægget producerer mere end forventet, undersøges det, om bygningerne (ekskl. kældre) i dag overholder energikravene til Bygningsklasse 2020.

Der tages udgangspunkt i Be15-filerne fra tabel 6.8, som inkluderer varmetab fra ventilationsrummene på lofterne og varmetab fra rør i kældrene. I den følgende beregning anvendes standardværdierne fra tabel 6.5, velvidende at bygningerne nok ikke er tætte nok til at opfylde kravet til en infiltration på 0,07 l/s pr. m².

Varmebehov kWh/m ²	44,7
Elforbrug til bygning kWh/m ²	5,2
Solceller kWh/m ²	4,7*
Brutto energiforbrug kWh/m ²	27,7

Tabel 6.10: Beregnede gennemsnitlige, årlige energiforbrug beregnet med filerne fra tabel 6.8 og standardværdierne fra tabel 6.5. * målt, vejrkorrigeret solcelleproduktion fra afsnit 6.3.

Som det ses, er bygningerne et stykke fra at kunne klassificeres som Bygningsklasse 2020. For at nå Bygningsklasse 2020-målet kunne solcellearealet forøges med 91 % fra de i dag 117 m² til 223 m².

Uden det ekstra varmetab fra ventilationsanlæggene på loftet og rørene i kælderen er bruttoenergiforbruget 15,3 kWh/m², hvilket er lavere end beregnet under projekteringen. Det lavere tal skyldes en højere solcelleproduktion end forventet. Det lavere bruttoenergiforbrug uden de ekstra varmetab giver plads til øget infiltration helt op til BR10-niveau på 0,13 l/s pr. m².

Da bygningerne er tæt på at overholde Bygningsklasse 2020-målet på 20 kWh/m², skulle man tro, at de sagtens kan overholde BR15-kravet på 30,5 kWh/m² for denne bebyggelse, men her skal man huske, at der anvendes forskellige primær-energifaktorer for BR15 og Bygningsklasse 2020:

	BR15	2020	Renoveringsklasse 1
fjernvarme:	0,8	0,6	1,0
el:	2,5	1,8	2,5

Dette betyder, at bruttoenergiforbruget beregnet efter BR15 bliver 37,0 kWh/m², hvorved bygningerne heller ikke overholder BR15-energikravet.

Bygningerne overholder dog energikravet til Renoveringsklasse 1 på 53,3 kWh/m², idet primærenergiforbruget her er beregnet til 45,9 kWh/m².

6.5 Sammenligning med energiforbruget for Ungdommens Hus

Anvendelsen af Sems Have er meget forskellig fra den tidligere anvendelse af Ungdommens Hus, så man skal være varsom med at sammenligne energiforbruget før og efter renoveringen af bygningerne. Resultatet af en sådan sammenligning må derfor kun anvendes indikativt, da der højst sandsynligt har været en anden rumtemperatur, et andet forbrug af varmt brugsvand, gratisvarme fra personer og udstyr samt et andet luftskifte.

I Energimærkningsrapporten fra 2009 (Danacon, 2009) er der oplyst et fjernvarme-forbrug på 508,2 MWh for 2008. Det oplyses samtidig, at dette forbrug er klimakorrigeret. Det oplyses ikke, hvordan forbruget er klimakorrigeret, men det antages her, at det er på samme måde, som det er gjort i afsnit 6.1.1. Dvs., at det målte rumopvarmningsbehov i tabel 6.2 skal graddøgnekorrigeres. Det korrigerede fjernvarme-/opvarmningsbehov bliver da for 2014: 282,4 MWh. Opvarmningsbehovet er da faldet med 44 %, hvilket måske er

lidt skuffende. Men bygningerne var før renoveringen ikke så dårlige grundet tidligere energirenoveringer. Bygningerne blev i Energimærkningsrapporten fra 2009 vurderet til at have energimærke C.

Elforbruget til ventilation i Ungdommens Hus er opgivet til at have været 57 MWh/år. I 2014 er energiforbruget til ventilation og belysning målt til 22,6 MWh/år. Elforbruget til bygningens drift er altså blevet mere end halveret. Desuden er der en elproduktion fra solcelleanlæggene på ca. 16 MWh/år (vejrkomponseret).

Hvis primærenergifaktorerne fra BR10 anvendes: fjernvarme: 1 og el: 2,5) var primærenergiforbruget før renoveringen:

$$508,2 + 57 \cdot 2,5 = 651 \text{ MWh/år}$$

mens det efter renoveringen er:

$$282,4 + (22,6 - 16) \cdot 2,5 = 299 \text{ MWh}$$

Det betyder en reduktion i det primære energiforbrug på 54 %.

6.6 Konklusion

Renoveringen af Sems Have indeholder mange gode intentioner og tiltag. Som forventet har bygningerne et højere energiforbrug end beregnet i projekteringsfasen, hvor beregningerne blev gennemført med standardværdier for anvendelsen af bygningerne. Specielt har rumtemperaturen og luftskiftet været højere end standardværdierne.

Ved hjælp af parameterstudier med beregningsprogrammet Be15 er det vist, at halvdel af det øgede opvarmningsforbrug skyldes ændringer i forhold til standardværdierne, mens den anden halvdel skyldes, at varmetab fra ventilationsanlæggene på lofterne og rørtab i kældrene ikke indgik i de oprindelige beregninger. Bygningerne når derfor desværre ikke ned på Bygningsklasse 2020-niveau.

Til gengæld er energiforbruget til drift af bygningerne som forventet, mens elproduktionen fra solcelleanlæggene er højere end forventet. Det sidste kan dog desværre ikke opveje det forøgede opvarmningsbehov, således at bygningerne har et ca. 39 % højere bruttoenergiforbrug end Bygningsklasse 2020, som var målet for renoveringen.

Det er derfor vigtigt i fremtidige projekter at sikre, at samtlige energiforbrug er medtaget i beregningerne i projekteringsfasen. Desuden er det vigtigt at forstå, at en Be15-beregning med standardværdierne for brugen af bygningen ikke giver et realistisk energiforbrug i drift. For at få et bedre skøn over bygningens reelle energiforbrug er det nødvendigt nøje at overveje den fremtidige brug af bygningen og derefter foretage de nødvendige justeringer af standardværdierne i Be15.

7 Økonomi

Bygningerne skulle som tidligere nævnt enten gennemgå en gennemgribende renovering eller rives ned, da de ikke længere kunne anvendes til de oprindelige formål, samt fordi bygningerne var meget medtagne.

Det blev valgt at gennemføre en gennemgribende renovering af bygningerne for at skabe 30 moderne lejligheder.

Boligselskabet Sjælland havde på daværende tidspunkt besluttet, at alt nybyggeri skulle opføres som minimum Lavenergiklasse 2015 (Bygningsreglement 2010 – 30,5 kWh/m²). Da bygningerne var i så dårlig stand, var det et ønske, at renoveringen skulle være så gennemgribende som muligt og energimæssigt lede til Lavenergiklasse 2015. På grund af bygningernes meget ringe stand var det muligt at opnå midler fra Landsbyggefonden. Men dette tager tid, og de tilførte midler herfra ville ikke kunne give en tilstrækkelig god økonomi i projektet. Hvis renoveringen i stedet reelt blev gennemført som nybyggeri, kunne Boligselskabet Sjælland opnå en grundkapital fra kommunen på 14 % af byggesummen (i dag kan der opnås 10 % af byggesummen). Boligselskabet gennemførte derfor beregninger for at eftervise, at det var økonomiske forsvarligt at fjerne stort set alt med undtagelse af de bærende betonkonstruktioner og de to gavle i Blok A på 1.-3. sal. Alle vandrør, varmerør, kloakrør, elinstallationer, varmeanlæg, ventilationsanlæg, mm. blev også foreslået udskiftet. Dels fordi de var ved at være modne til udskiftning, og dels fordi overgangen til større lejligheder og en væsentlig forbedring af energieffektiviteten alligevel krævede store ændringer i installationerne.

Da det ved projekteringen viste sig, at det kun ville betyde en beskedent merudgift at få bygningerne (minus kældre) klassificeret som Bygningsklasse 2020 (20 kWh/m² - BR10), blev dette besluttet. For at opnå Bygningsklasse 2020 blev solcellearealerne forøget, vinduerne blev optimeret, og der blev lagt yderligere 60 mm isolering på lofterne. Dette kostede 232.000 kr. eller 0,3 % af anlægssummen.

Anlægssummen for renoveringen ekskl. kældre kan opdeles som vist i tabel 7.1:

Udgift	mio. kr.	tkr./m ²
Entreprenør	44,31	12,20
Konsulenter	5,19	1,43
Andre omkostninger*	22,89	6,30
Opgradering fra 2015 til 2020	0,23	0,06
Total	72,62	20,00

Tabel 7.1. Udgifterne ved renoveringen af Sems Have.

* indfrielse af gamle lån (ca. 15 mio. kr.), byggesagshonorar til Boligselskabet Sjælland, bidrag til Byggeskadefonden, kommunen og staten, udgift ved ny opdeling af lejligheder, stempelafgift for nye lån, osv.

20.000 kr./m² er på samme niveau eller lidt lavere end for nybyggeri (lejligheder) i Roskilde.

Bygningernes kældre blev holdt ude af entreprisen (undtagen facaderne vendende mod lysgårdene), da det på det tidspunkt ikke var fastlagt, hvordan kældrene skulle anvendes. Dette har efterfølgende givet økonomiske udfordringer, som det beskrives i det efterfølgende kapitel.

Omkostningerne til renoveringen af Sems Have førte til en husleje på 897 kr./m² ekskl. forbrug. Dette er på linie med huslejen pr. m² i nyere byggeri i Roskilde, men lejlighederne fremstår dyrere end gennemsnittet, bl.a. fordi de er større end gennemsnittet.

7.1 Energibesparelser

Da anvendelsen af bygningerne før renoveringen var meget forskellig fra efter renoveringen, giver en sammenligning mellem energiforbruget før og efter ikke et helt realistisk billede af, hvad en tilsvarende renovering ville have betydet, hvis bygningerne også før renoveringen havde indeholdt 30 lejligheder.

For dog at give en fornemmelse af den opnåede besparelse er energiforbrug før og efter alligevel sammenlignet. Bygningerne havde før renoveringen Energimærke C, hvilket betyder, at de energimæssigt ikke var så dårlige.

Det graddøgnkorrigerede fjernvarmeforbrug var før renoveringen (afsnit 6.5) 508 MWh mod 282 MWh i 2014 (efter renoveringen) begge inkl. kældre, hvilket giver en besparelse på 226 MWh.

Elforbruget til bygningens drift var før 57 MWh mod 22,6 MWh efter renoveringen. Elproduktionen fra solcelleanlæggene er omkring 16 MWh, men en del af denne el sælges til nettet, fordi der ofte ikke er sammenfald mellem forbrug og produktion. Solcelleproduktionen udgør $16/22,6 \cdot 100 = 71\%$ af det årlige elforbrug til bygningernes drift. På baggrund af dette anslås det, at 40 % af solcelleproduktionen bliver produceret samtidig med, at der er et elforbrug. Den købte mængde el bliver derfor reduceret til $22,6 - 16 \cdot 0,4 = 16,2$ MWh, hvilket giver en besparelse på $57 - 16 = 41$ MWh.

Solcelleanlæggene er ikke på den lukrative tidligere nettomålerordning, men er på timeafregning. Boligselskabet Sjælland oplyser, at den solgte el fra solcelleanlægget kun indbringer omkring 2.000 kr. om året.

I 2014 var prisen for fjernvarme 0,65 kr./kWh, mens elprisen var 2,2 kr./kWh.

Den samlede besparelse var derfor:

fjernvarme:	147.000 kr.
købt el:	90.000 kr.
solgt el:	2.000 kr.

I alt: 235.000 kr. => 97 kr./kWh pr. år

Besparelsen udgør dermed lige over 10 % af huslejen.

8 Beslutningsproces

8.1 Baggrund

Som beskrevet i introduktionen opsigde Roskilde Kommune i 2011 deres lejemål i Ungdommens hus svarende til den del, der indeholdt vuggestue, børnehave og ungdomsklub, hvilket vil sige stueetagen i Blok A og i Blok B. Salene på første sal i Blok B var nedslidte og svære at leje ud. Kollegiet på 1.-3. sal i Blok A var ret uhumsk og vandaliseret.

Boligselskabet Sjælland stod derfor med nogle bygninger, der var nedslidte, og som ikke mere kunne lejes ud til deres oprindelige formål. Blok A mindede udvendigt meget om flere af de omkringliggende bygninger, mens Blok B mindede om en blanding mellem en idrætshal og en lagerbygning. Tilsammen gav de to bygninger et noget rodet udtryk.

Ungdommens Hus lå i et område med boligblokke med mindre lejligheder. Der var derfor et ønske fra Boligselskabet Sjællands side om at tilføje området et antal større lejligheder, hvilket der er stor efterspørgsel på i Roskilde. Dette kunne gøres ved at ændre status for Ungdommens Hus til beboelse, samtidig med, at der blev gennemført en gennemgribende renovering af bygningerne.

Boligselskabet Sjælland gik derfor i dialog med Roskilde Kommune, som skulle godkende skiftet i status for bebyggelsen.

Boligselskabet Sjælland havde på daværende tidspunkt besluttet, at alt nybyggeri skulle opføres som minimum Lavenergiklasse 2015 (Bygningsreglement 2010) svarende til BR15-energikravende. Da bygningerne var i så dårlig stand, var det et ønske, at renoveringen skulle være så gennemgribende som muligt og energimæssigt lede til Lavenergiklasse 2015. På grund af bygningernes meget ringe stand var det muligt at opnå midler fra Landsbyggefonden, men dette tager tid, og de tilførte midler herfra ville ikke kunne give en tilstrækkelig god økonomi i projektet. Hvis renoveringen i stedet reelt blev gennemført som nybyggeri, kunne Boligselskabet Sjælland opnå en grundkapital fra kommunen på 14 % af byggesummen (i dag kan der opnås 10 % af byggesummen). Boligselskabet gennemførte derfor beregninger for at eftervise, at det var økonomiske forsvarligt at fjerne stort set alt med undtagelse af de bærende betonkonstruktioner og de to gavle i Blok A på 1.-3. sal. Alle vandrør, varmerør, kloakrør, elinstallationer, varme anlæg, ventilationsanlæg, mm. blev også foreslået udskiftet, dels fordi de var ved at være modne til udskiftning, og dels fordi overgangen til større lejligheder og en væsentlig forbedring af energieffektiviteten alligevel krævede store ændringer i installationerne.

I forbindelse med ændringen af status for bygningerne til beboelse var navnet Ungdommens Hus ikke længere passende. Det blev i stedet foreslået og vedtaget, at bebyggelsen efter renoveringen skulle have navnet Sems Have, som er et ældre navn for det område, hvor bygningerne ligger.

8.2 Processen

Oprindeligt ønskede Boligselskabet Sjælland at bibeholde det forskellige udtryk for de to bygninger ved at bevare mansardtaget på Blok B, men hvor salene skulle indrettes med lejligheder i to plan som i det endelige design. Der blev udskrevet en konkurrence, som entreprenørvirksomheden Daurehøj Erhvervsbyg A/S og Kullegaard Arkitekter A/S vandt.

Kullegaard Arkitekter A/S foreslog at fjerne mansardtaget på Blok B. "Vi ønskede at give de to bygninger et mere ensartet præg og samtidig sikre, at de opfattes som et samlet

kompleks, der falder naturligt ind i hele området" (Nicolas Munkø fra Kullegaard Arkitekter A/S).

Renoveringen blev som sagt udført som nybyg og under EU's udbudsregler. Daurehøj Erhvervsbyg A/S var totalentreprenør. Der var et godt samarbejde med både totalentreprenør og rådgivere. Daurehøj Erhvervsbyg A/S tog et meget stort ansvar for byggeriet og muliggjorde bl.a., at bygningerne kunne tages i brug før tid. Oprindeligt skulle ibrugtagningen ske d. 1/1 2014, men lejerne kunne allerede rykke ind d. 18/12 2013, således at juleferien kunne anvendes til at indrette lejlighederne.

Sems Have blev opgraderet fra Lavenergiklasse 2015 til Bygningsklasse 2020, fordi beregninger viste, at dette kun ville betyde en beskedent merudgift.

Der har selvfølgelig været udfordringer, der skulle overkommes i forbindelse med renoveringen af bygningerne:

- der var blymaling, asbest og PCB i de gamle bygninger, som skulle fjernes og deponeres på sikker vis
- de oprindelige modulmål passer ikke med dagens modulmål. Det krævede derfor kreativitet at få indrettet de 30 nye topmoderne lejligheder i de oprindelige bærende konstruktioner. Den bærende konstruktion for mansardtaget i Blok B er blevet til et skulpturelt element i de øverste lejligheder i Blok B – se figur 2.6
- akustikken var et problem ved anvendelse af de oprindelige bærende konstruktioner. Det var f.eks. nødvendigt med en dispensation i stuen i Blok A på grund af den ekstra højde til loftet, - se f.eks. figur 2.6 og 3.1
- under byggeriet blev det opdaget, at der var nedgravet en transformer på grunden. Denne skulle lægges om, og Boligselskabet Sjælland blev nødt til at betale en del af regningen.

Et selvskabt problem var, at kældrene ikke var med i entreprisen, fordi der på entreprisetidspunktet ikke var klarhed over, hvad kældrene skulle anvendes til, når byggeriet stod færdigt. Dele af kældrene var på det tidspunkt udlejet til kommercielt formål. Dette har specielt efter ibrugtagningen af bygningerne givet anledning til problemer, da det er væsentligt dyrere at koble til/ændre eksisterende installationer i stedet for, at kældrenes installationer fra start blev samtænkt med resten af bygningernes installationer. Specielt har et fitnesscenter givet anledning til problemer pga. kravene i forbindelse med ventilationen af disse lokaler.

Renoveringen af Ungdommens Hus til Sems Have er lykkedes på flere måder:

- bygningerne fremstår nu pænere, mere harmoniske og giver et løft til området – specielt hvis der sammenlignes med situationen før renoveringen
- der er blevet tilført 30 lejligheder til området, som er større end de lejligheder, der ellers er i området, hvilket forventes at lede til en større beboerdiversitet i området
- lejlighederne er populære, og der er venteliste
- lejlighederne kan lejes ud til samme leje som tilsvarende lejligheder i Roskilde
- lejlighederne har et godt indeklima
- lejlighederne har et lavt energiforbrug

Med hensyn til lavt energiforbrug så efterlyser Boligselskabet Sjælland metoder til at kunne dokumentere, at bygninger rent faktisk overholder de energikrav, der bliver stillet

til bygninger i projekteringsfasen. Herunder hvad det er for målinger, der skal gennemføres for at kunne eftervise, at de lave energimål er opnået. Det er ikke let at sammenligne målt energiforbrug med beregnet energiforbrug. Det beregnede energiforbrug er typisk foretaget ud fra nogle standardforudsætninger og antagelser om brugen af bygningen som: rumtemperatur (typisk 20°C, hvor danskere typisk foretrækker 22°C), forbrug af varmt brugsvand, luftsifte, vejrforhold, mm. Kapitel 6 viser meget klart, hvor komplekst det er at sammenligne målt med beregnet forbrug.

8.3 Erfaringer

De tre bedste erfaringer ved renoveringsprocessen:

1. Meget lille ekstraudgift ved at gå fra 2015- til 2020-kravene ift. energi
2. Den gennemgribende renovering har resulteret i nogle meget attraktive lejligheder med en stor herlighedsværdi, og det er nemt at udleje lejlighederne
3. Godt samarbejde med Roskilde Kommune vedrørende ændring af bygningernes status samt at renoveringen kunne gennemføres som nybyggeri. Godt samarbejde med totalentreprenør og rådgivere

De tre største udfordringer ved renoveringsprocessen:

1. Størrelsesbegrænsningen på lejlighederne (for alment byggeri) skaber problemer. Der efterspørges generelt større lejligheder i området. Det ville være en stor fordel, hvis størrelsen i et konkret projekt kunne defineres ud fra områdets aktuelle behov
2. Kælderen blev ikke medtaget i det oprindelige projekt, og dette har siden skabt vanskeligheder i forbindelse med udgifter for byggeriet. Havde kælderen f.eks. været med i det oprindelige projekt, havde en del af udgifterne hertil kunnet være dækket af grundkapitalen. Ved ikke at medtage kælderen i det oprindelige projekt må boligselskabet dække alle udgifter til indretning og ændringer ift. installationer mv.
3. Der er ingen kontrol ift., at energikravene til 2020 er overholdt for bebyggelsen

9 Sammenfatning

Bebyggelsen Sems Have blev oprindeligt opført i 1970-72 under navnet Ungdommens Hus. Bygningerne husede dengang en vuggestue, en børnehave, en ungdomsklub, et kollegium og to sale. I kældrene var der bl.a. møderum til foreninger.

Allerede i 1980'erne begynder udlejningen til foreninger og af salene at svigte. I 2011 opsigde Roskilde Kommune lejemålet for vuggestue, børnehave og ungdomsklub. Boligselskabet Sjælland stod derfor med nogle meget specielt indrettede bygninger, der ikke mere kunne udlejes til deres oprindelige formål. Desuden var bygningerne nedslidte og renoveringsmodne, selvom der i 1995 var foretaget en facaderenovering med øget isole-ringstykkel og nye vinduer.

Spørgsmålet var så: skulle bygningerne rives ned og nye bygninger opføres, eller skulle bygningerne totalrenoveres? Efter økonomiske beregninger valgte Boligselskabet Sjælland at totalrenovere bygningerne og omdanne dem til 30 topmoderne lejligheder.

Da renoveringen blev besluttet, var Boligselskabet Sjællands krav, at alt nybyggeri skulle opføres som minimum Lavenergiklasse 2015 (i dag BR15). Dette blev derfor også i første omgang målet for renoveringen af Sems Have. Men da det viste sig, at en opgradering fra Lavenergiklasse 2015 til Bygningsklasse 2020 (beregningmæssigt) kun ville betyde en beskedent merinvestering, blev det besluttet at stræbe efter energikravet for Bygningsklasse 2020. På grund af usikkerhed vedr. den fremtidige brug af bygningernes kældre indgik kældrene ikke direkte i renoveringsentreprisen. Energiberegningerne blev derfor udført ekskl. kældre.

Sems Have ligger i et område med boligblokke med mindre lejligheder. Der var derfor et ønske fra Boligselskabet Sjællands side om at tilføre området et antal større lejligheder, hvilket der er stor efterspørgsel på i Roskilde. Desuden kunne en totalrenovering af de to bygninger være med til at give området et arkitektonisk løft.

Bygningerne og lejlighederne fremstår nu pæne og tidssvarende. Lejlighederne er lette at leje ud, - der er venteliste på at få en lejlighed i Sems Have. Huslejen ekskl. forbrug pr. m² er på linie med tilsvarende lejligheder i Roskilde. Samtidig er varmeregningen væsentligt lavere end i tilsvarende byggeri.

Renoveringen af bygningerne var meget gennemgribende, idet kun de bærende konstruktioner og gavlene i Blok A blev bibeholdt. De tekniske installationer blev også udskiftet, da rør- og kabelføringer ikke passede til de nye moderne lejligheder. Den gennemgribende renovering betød, at blymaling, asbest og PCB skulle fjernes og deponeres. Ligeledes var de gamle modulmål en udfordring for indretningen af de nye lejligheder. Det gav også udfordringer, at kældrene ikke var direkte med i entreprisen. Det skyldtes, at anvendelsen af kældrene ikke var kendt på tidspunktet for projekteringen af renoveringen. Dette har medført merudgifter, fordi de tekniske installationer i kældrene efterfølgende skulle tilrettes.

Et godt samarbejde mellem Boligselskabet Sjælland, totalentreprenøren og rådgivere sikrede ikke blot overholdelse af tidsfrister, men betød også, at lejerne kunne rykke ind to uger før beregnet.

Det energimæssige mål med renoveringen var at opfylde kravene til Bygningsklasse 2020 i BR10. Dette krav svarer til et årligt bruttoenergiforbrug på 20 kWh/m² med standardværdier for anvendelse og primærfaktorer for el og fjernvarme.

Det målte elforbrug til bygningernes drift er meget lig det beregnede elforbrug for den aktuelle brug af bygningerne. Elproduktionen for solcellerne er lidt højere end forventet, mens opvarmningsbehovet er 150 % højere end beregnet med Be15-forudsætningerne.

Et øget opvarmningsbehov var forventet, da de fleste gerne vil have en højere rumtemperatur end de 20°C, der forudsættes i Be15-beregningerne. Det aktuelle varmtvandsforbrug stemmer nogenlunde overens med Be15-standardforudsætninger, idet det er ca. 12 % lavere. Ventilationsbehovet er højere i bygningerne end de oprindeligt forventede 0,3 l/s pr. m², hvilket sandsynligvis skyldes brugen af emhætter og øget udsug fra badeværelset.

En anden årsag til det øgede opvarmningsbehov er, at der i de oprindelige beregninger ikke er medtaget varmetab fra de to ventilationsanlæg og ventilationskanalerne på de to lofter, samt varmetab fra rør til rumvarme og varmt brugsvand i kældrene. Kældrene var udenfor entreprisen og er desuden opvarmede. Der blev derfor ikke regnet med et varmetab fra stueetagerne til kældrene. Men da rørene til rumvarme og varmt brugsvand er ført i kældrene, er der et varmetab fra disse til kældrene.

Parametervariationer med Be15 viser, at det øgede opvarmningsbehov dels skyldes anden brug af bygningen inkl. større infiltrationstab, og dels at varmetab fra ventilationsanlæg og kanaler på loft og varme rør i kældrene ikke var medtaget i de oprindelige energiberegninger.

På grund af varmetabene fra ventilationsanlæg og kanaler på loftet og de varme rør i kældre overholder byggeriet (ekskl. kældre) ikke Bygningsklasse 2020. Bruttoenergiforbruget er ca. 39 % højere end energikravet i Bygningsklasse 2020. Man skulle så tro, at bygningerne overholder BR15-kravene, men på grund af andre primær energifaktorer for denne energiklasse overholdes BR15's energikrav heller ikke. Dette energikrav overskrides med ca. 21 %. Bygningerne overholder dog energikravene til Renoveringsklasse 1, som svarer til BR10-kravene eller et A2010-energimærke.

Det er derfor vigtigt i fremtidige projekter at sikre, at samtlige energiforbrug er medtaget i beregningerne i projekteringsfasen. Desuden er det vigtigt at forstå, at en Be15-beregning med standardværdier for brugen af bygningen typisk ikke giver det rigtige energiforbrug i drift. For at få et bedre skøn over bygningens reelle energiforbrug er det nødvendigt nøje at overveje den fremtidige brug af bygningen og derefter foretage de nødvendige justeringer af standardværdierne i Be15.

Parametervariationerne med Be15 og sammenligning mellem målt og beregnet opvarmningsbehov viser, at det er en kompliceret og tidskrævende proces at opnå overensstemmelse mellem målt og beregnet energiforbrug. Opnåelse af en sådan overensstemmelse er vigtig for at kunne forstå, om en bygning overholder et specifikt energikrav, - og hvis ikke: hvad er det så, der gør, at energikravet ikke overholdes.

Da anvendelsen af Ungdommens Hus og Sems Have er meget forskellig, er det ikke muligt direkte at vurdere, hvilken besparelse i energiforbruget renoveringen har ført til. Men hvis før- og eftermålinger sammenlignes direkte, er energiforbruget blevet reduceret med omkring 50 %.

Selvom målet om at nå ned på Bygningsklasse 2020's energikrav ikke blev nået, er der stadig tale om en betydelig reduktion af energiforbruget set i forhold til både før renoveringen og i forhold til andre danske boligblokke.

10 Referencer

- Aggerholm, S. og Grau, K., 2014. Bygningers energibehov – brugervejledning. SBI-anvisning 213. Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Danacon, 2009. Energimærkning af Ungdommens Hus dateret 3. september 2009.
- EPBD, 2010. Recast EPBD (Directive 2010/31/EU).
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:en:PDF>
- Jensen, S.Ø., 2015. Natural ventilation in single-family houses during the summer. Teknologisk Institut.
- Jensen, S.Ø., 2015. Dokumentation af bygningers energiforbrug. Teknologisk Institut.
- Roskilde Avis, 2011a. Festival startede Ungdommens Hus, 19. januar 2011.
<http://roskilde.lokalavisen.dk/festival-startede-ungdommens-hus-/20110119/artikler/701199885/1027>
- Roskilde Avis, 2011b. Ungdommens Hus lever endnu, 28. januar 2011. <http://www.e-pages.dk/roskildeweekend/116/72>
- Terkel Pedersen, 2013. Energiberegninger – Familieboliger i Ungdommens Hus.
- Vind & Sol, 2014. Solindstråling i Danmark 2008 – 2014.
<http://www.solcellecarport.dk/assets/solindstr%C3%A5ling-i-danmark-2008-2014.pdf>
- DMI, 2014. Vejr- og klimadata Danmark. Årsoversigt 2014.
http://www.dmi.dk/uploads/tx_dmidatastore/webservice/1/ /1/3/2/20141231_1.pdf

Bilag A

U-værdiberegninger

U-værdier for Ungdommens Hus/Sems Have

A.1 Før reovering i 1995: Ungdommens Hus

A.1.1 Loft

Blok A: 100 mm isolering i saddeltag: $0,38 \text{ W/m}^2\text{K}$ ifølge [1] s. 10

Blok B: næsten fladt tag: 80 mm glass foam, $\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$
120 mm Lecaplader, $\lambda = 0,16 \text{ W/mK}$
 $\Rightarrow U = 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$

mansard tag: 100 mm: 75 % batts og 25 % lægter
25 mm forskalling
9+12 mm gips
 $\Rightarrow U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$

A.1.2 Facader og gavle

Blok A facader + gavle stuen og Blok B facader + gavle over jord: 75 mm batts i facadeelement

$U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1] side 14 – se rød oval i tabel A.1 nedenfor.

Lette ydervægge og kvistflunke

nr.	Beskrivelse	u-værdi	Note
1	Let uisoleret	1,63	10 cm let væg med beklædning ud- og indvendigt, uisoleret
2	Let 50 mm	0,59	10 cm let væg med beklædning ud- og indvendigt, ca. 50 mm isolering
3	Let BR 61 - 72 (70 mm)	0,45	Ydervæg med ca. 100 mm stolpeskeret og ca. 75 mm isolering Let ydervæg med 120-145 mm isolering. Ydervæggens isolering er skønnet at svare til kravene i bygningsreglement på opførelsestidspunktet
4	Let 1.2.79 - 15.98	0,33	
5	Skalmur-200 mm + bekl.	0,21	Skalmur med 2x95 mm isolering, indvendig beklædt med gipsplade
6	Skalmur + 300 mm isolering	0,15	Skalmur med 3x95 mm isolering, indvendig beklædt med gipsplade

Tabel A.1: [1] side 44.

Blok A gavle 1.-3. sal: 50 mm batts i facadeelement foran 150 mm beton.

$U = 0,44 \text{ W/m}^2\text{K}$ for 50 mm isolering foran 300 mm beton [1] side 14 – se rød oval i tabel A.2 næste side.

Fraregnes 150 mm beton er $U = 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Kældervægge mod lysgårde: her angives 5 mm isolering.

$U = 0,59 \text{ W/m}^2\text{K}$ [1] side 14 – blå oval i tabel A.1.

Kældervægge mod jord: 300 mm beton mod jord.

Den grønne oval i tabel A.2 giver en U-værdi på 0,88 W/m²K, mens en beregning leder til en højere U-værdi:

300 mm beton, $\lambda = 2,1$ W/mK
indvendig overgangsisolans: 0,13 m²K/W
udvendig overgangsisolans: $0,2 + 0,3 \cdot 1,55 = 0,665$ m²K/W
 $\Rightarrow U = 1,07$ W/m²K

Der anvendes her den højeste U-værdi på 1,07 W/m²K

Kælderydervægge mod jord, hvor kældergulv er mere end 2 m under terræn

nr.	Beskrivelse	U-værdi	Note
1	30 cm beton*	0,88	30 cm betonkælderydervægge. Hele ydervæggen er mod jord*
2	30 cm beton + 50 mm	0,44	30 cm betonkælderydervægge efterisoleret med 50 mm isolering, afsluttende med pladebeklædning

Tabel 2. [1] side 44.

A.1.3 Terrændæk

Terrændæk:

140 mm cement/beton, $\lambda = 2,1$ W/mK
200 mm Leca, vægtet $\lambda = 0,091$ W/mK
overgangsisolanser: 0,13 og 2 m²K/W
 $\Rightarrow U = 0,23$ W/m²K

A.2 Efter reoveringen: Sems Have

A.2.1 Loft

Blok A saddeltag med 400 mm mineraluldsgranulat.

$U = 0,09$ W/m²K [2] side 46.

Blok B har desuden de oprindelige Lecaplader på 120 mm, indregnes det i ovenstående U-værdi på 0,09 W/m²K, bliver:

$U = 0,085$ W/m²K

A.2.2 Facader og gavle

Facader i begge blokke inkl. vægge mod lysgårdene samt gavle i stuen i Blok B:

Præfabrikerede elementer med 195+45 mm isolering i træskelet. Tabel 3 viser skema fra [2] side 44. Det antages, at λ for isoleringen er 0,037 W/m²K, mens træprocenten ikke kendes. Derfor er der vist fire værdier med røde cirkler. U-værdien er mellem 0,17 og 0,18 W/m²K. Her vælges den høje værdi:

$$U = 0,18 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Kældervæggene mod jord blev ikke ændret.

Stolpeskeletvægge med krydsende lægter

T1			T2 + T3																	
stolper bredde og afstand mm/mm	λ dekl	tykkelse mm	Lægter 45/600, træ 7,5 %								Lægter 45/450, træ 10 %									
			λ dekl								λ dekl									
			34				37				34				37					
			Tykkelse mm				Tykkelse mm				Tykkelse mm				Tykkelse mm					
			0	45	70	90	140	45	70	90	140	45	70	90	140	45	70	90	140	
45/600 træ 7,5%	34	95	0,37	0,26	0,23	0,20	0,16	0,27	0,23	0,21	0,17	0,27	0,23	0,21	0,17	0,27	0,24	0,22	0,17	
		145	0,25	0,20	0,18	0,16	0,14	0,20	0,18	0,17	0,14	0,20	0,18	0,17	0,14	0,20	0,18	0,17	0,14	
		195	0,19	0,16	0,14	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	0,12	0,16	0,15	0,14	0,12	
		245	0,16	0,13	0,12	0,12	0,10	0,13	0,12	0,12	0,10	0,13	0,12	0,12	0,10	0,14	0,13	0,12	0,11	
	295	0,13	0,11	0,11	0,10	0,09	0,12	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,09	0,11	0,10	0,09	0,12	0,11	0,10	0,09
	37	95	0,39	0,27	0,23	0,21	0,17	0,28	0,24	0,22	0,17	0,28	0,24	0,21	0,17	0,28	0,24	0,22	0,18	
		145	0,27	0,21	0,18	0,17	0,14	0,21	0,19	0,17	0,14	0,21	0,19	0,17	0,14	0,21	0,19	0,18	0,15	
		195	0,21	0,17	0,15	0,14	0,12	0,17	0,15	0,14	0,12	0,17	0,15	0,14	0,12	0,17	0,16	0,15	0,13	
245		0,17	0,14	0,13	0,12	0,11	0,14	0,13	0,12	0,11	0,14	0,13	0,12	0,11	0,14	0,13	0,12	0,11		
70/600 træ 12 %	34	95	0,40	0,28	0,24	0,21	0,17	0,28	0,24	0,22	0,17	0,28	0,24	0,22	0,17	0,29	0,25	0,22	0,18	
		145	0,28	0,21	0,19	0,17	0,14	0,21	0,19	0,18	0,15	0,21	0,19	0,17	0,14	0,22	0,19	0,18	0,15	
		195	0,21	0,17	0,15	0,14	0,12	0,17	0,16	0,15	0,13	0,17	0,16	0,15	0,12	0,17	0,16	0,15	0,13	
		245	0,17	0,14	0,13	0,12	0,11	0,14	0,13	0,13	0,11	0,14	0,13	0,13	0,11	0,15	0,13	0,13	0,11	
	295	0,14	0,12	0,11	0,11	0,10	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,12	0,11	0,10	0,12	0,12	0,11	0,11	0,10	
	37	95	0,42	0,29	0,24	0,22	0,17	0,29	0,25	0,22	0,18	0,29	0,25	0,22	0,18	0,30	0,26	0,23	0,18	
		145	0,29	0,22	0,19	0,18	0,14	0,22	0,20	0,18	0,15	0,22	0,20	0,18	0,15	0,23	0,20	0,18	0,15	
		195	0,22	0,18	0,16	0,15	0,13	0,18	0,16	0,15	0,13	0,18	0,16	0,15	0,13	0,18	0,17	0,15	0,13	
		245	0,18	0,15	0,14	0,13	0,11	0,15	0,14	0,13	0,11	0,15	0,14	0,13	0,11	0,15	0,14	0,13	0,12	
		295	0,15	0,13	0,12	0,11	0,10	0,13	0,12	0,11	0,10	0,13	0,12	0,11	0,10	0,13	0,12	0,12	0,10	

Tabel 3. [2] side 44.

Gavle i stuen Blok A:

Præfabrikerede elementer med 240+45 mm isolering i træskelet. Tabel 3 viser skema fra [2] side 44. Det antages, at λ for isoleringen er $0,037 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens træprocenten ikke kendes. Derfor er der vist fire værdier med grønne cirkler. U-værdien er mellem $0,14$ og $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Her vælges den høje værdi:

$$U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Gavle på 1.-2. sal i Blok B:

Præfabrikerede elementer med 267+45 mm isolering i træskelet. Tabel 3 viser skema fra [2] side 44. Det antages, at λ for isoleringen er $0,037 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens træprocenten ikke kendes. Derfor er der vist fire værdier med blå cirkler. U-værdien er mellem $0,13$ og $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Her vælges den høje værdi:

$$U = 0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Gavle på 1.-3. sal Blok A.

- 10 mm puds, $\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$
- 100 mm trykfast isolering, $\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$
- 100 mm trykfast isolering, $\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$
- 75 mm facadeelement, $\lambda = 0,416 \text{ W/mK}$
- 50 mm isolering, $\lambda = 0,047 \text{ W/mK}$
- 150 mm beton, $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$
- overgangm., m., msisolanser: $0,13$ og $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

$$\Rightarrow U = 0,286 \text{ W/m}^2\text{K}$$

På figur 3.4 er vist et hulrum med bindere mellem den oprindelige gavl og efterisoleringen på 100 mm. Da hulrummet ser ud til at være åbent i hele højden fra 1- til 3. sal og der måske har været sprækker til det fri, antages det her, at hulrummet nok har øget U-værdien lidt. Der regnes derfor med en U-værdi på: 0,3 W/m²K.

Kældervægge mod jord er ikke ændret.

A.2.3 Terrændæk

Terrændækkene er ikke blevet ændret i forhold til før reoveringen.

A.3. Mellemgang efter reovering

Væggen mod jord regnes som identisk med de tilsvarende vægge i kældre, hvilket betyder en U-værdi på 1,07 W/m²K.

Terrændækket regnes også som identisk med de tilsvarende terrændæk i kældrene, hvilket betyder en U-værdi på 0,23 W/m²K.

Væg mod lysgården:

250 mm beton, $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$
100 mm isolering, $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$
beklædning, $R = 0,26$
 $\Rightarrow U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$

Loft:

200 mm beton, $\lambda = 2,1 \text{ W/mK}$
200-50 mm kileformet EPS, $\lambda = 0,038 \text{ W/mK}$
100 mm sand, $\lambda = 1,2 \text{ W/mK}$
 $\Rightarrow U = 0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$

A.4 Referencer

- [1] Håndbog for energikonsulenter – flerfamiliehuse - version 2012.
- [2] U-værdi 2009. VarmeisoleringsForeningen.

Bilag B

Indeklimamålinger i to lejligheder i Blok A

Measurements in two flats in Sems Have, Parkvej 5, Roskilde

Sems Have

Sems Have is a residential area close to the city of Roskilde located just west of Greater Copenhagen. Sems Have consists of two building blocks – block A and block B.

Scope

The present study includes measurements in two flats in block A. The study covers measurements of room air temperature, relative humidity and CO₂-concentration. In each flat measurements were done in the living room and in the bedroom. Also, the average ventilation conditions in the flats were measured together with two-way air flow between the bedroom and the rest of the flat.

ENERGY AND ENVIROMENT
 A.C. MEYERS VÆNGE 15
 2450 KØBENHAVN SV
 SBI.DK
 CVR 29 10 23 84

+45 9940 2525
 NIELS CHRISTIAN BERGSØE
 NCB@SBI.AAU.DK

DATE 17.03.2016
 REFERENCE

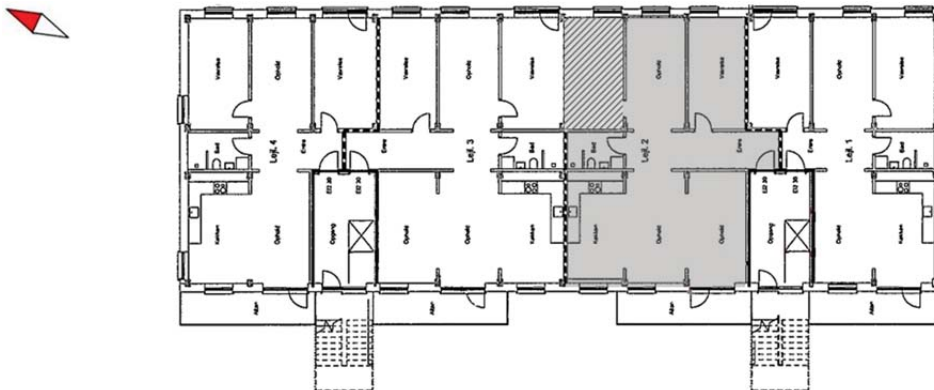


Figure 1. Block A. Investigated flats (two different floors) are shaded grey and bedroom is hatched.

Methods

Measurements of room air temperature, relative humidity and CO₂-concentration were performed using dataloggers type IC-meter GSM with logging intervals of 5 minutes. The accuracy is typically ± 0.3 °C for room air temperature, $\pm 2\%$ RH for relative humidity and ± 30 ppm $\pm 3\%$ of measured value for CO₂-concentration.

Measurements of ventilation conditions were performed using a passive tracer gas technique, the so-called PFT-technique. The PFT-technique allows simultaneous use of two different tracer gas types. Thereby, the measured space can be divided into two different zones each tagged with a unique tracer gas type. This makes it possible to determine not only the average outdoor air supply to each of the zones but also the average air exchange between the zones together with the total average outdoor air supply to the combined zones.

In this study the measurements have been conducted as 2-zone measurements with the bedroom as one zone and the rest of the flat as another zone.

Measurements using the PFT-technique are performed over a period (from less than a day to several weeks or even months), and the result of a measurement is the average ventilation conditions during the measurement period. In this study the measurement period was 168 hours equalling 7 days. The uncertainty of the measurements is stated in terms of the standard deviation (SD).

The measurements were conducted from March 8th to 15th 2016.



Flats

Two flats were selected for the study, flat 1 and flat 2. The living area of each flat is 124 m² and it consists of a combined living room and kitchen, three bedrooms, corridor and toilet/bathroom. Flat 1 is occupied by two adults of whom one is present in the flat most of the day on most days. Flat 2 is occupied by two adults and occasionally also two teenagers. During this study the teenagers were living in the flat most of the measurement period.

Comments to the results

In flat 1 the room air temperature in the living room may be regarded as high – on average during one week just below 26 °C. In the bedroom and also in both the living room and the bedroom in flat 2 the room air temperature is lower, but still definitely to the high side; around 23 °C.

The CO₂-concentration is 500-1000 ppm in the living room in both flats except for a few brief peaks around 2000 ppm in flat 2. In the bedrooms, the CO₂-level clearly reflects patterns of use. In flat 1 the CO₂-concentration peaks at about 1400 ppm during night, whereas in flat 2 the concentration peaks at more than 2000 ppm just before morning. During daytime the CO₂-concentration is around 500 ppm.

The results of the measurements of the ventilation conditions show that the flats on average are ventilated identically – generally 0.5 l/s per m². This applies to both the total outdoor air supply and the outdoor air supply to each of the zones, i.e. the bedroom and the rest of the flat. This is about 50 % above the requirement in Danish Building Code. The figure, however, includes the occupant's use of the flats. Also the average exchange of air between bedroom and living room is alike.

Summary of measurement results

Table 1. Average room air temperature, relative humidity and CO₂-concentration.

	Living room			Bedroom		
	Temp. [°C]	Rel. Hum. [%]	CO ₂ -conc. [ppm]	Temp. [°C]	Rel. Hum. [%]	CO ₂ -conc. [ppm]
Flat 1	25.8	29	709	23.3	31	736
Flat 2	23.8	34	745	22.7	37	958

Table 2. Average outdoor air supply.

	Whole flat	Whole flat excl. bedroom	Bedroom
	Outdoor air supply [l/s per m ²] ± SD (SD%) ¹⁾	Outdoor air supply [l/s per m ²] ± SD (SD%) ¹⁾	Outdoor air supply [l/s per m ²] ± SD (SD%) ¹⁾
Flat 1	0.46 ± 0.07 (15%)	0.46 ± 0.08 (17%)	0.49 ± 0.11 (22%)
Flat 2	0.49 ± 0.09 (18%)	0.48 ± 0.10 (22%)	0.58 ± 0.13 (22%)

¹⁾ SD: Standard Deviation

Table 3. Exchange of air between bedroom and living room.

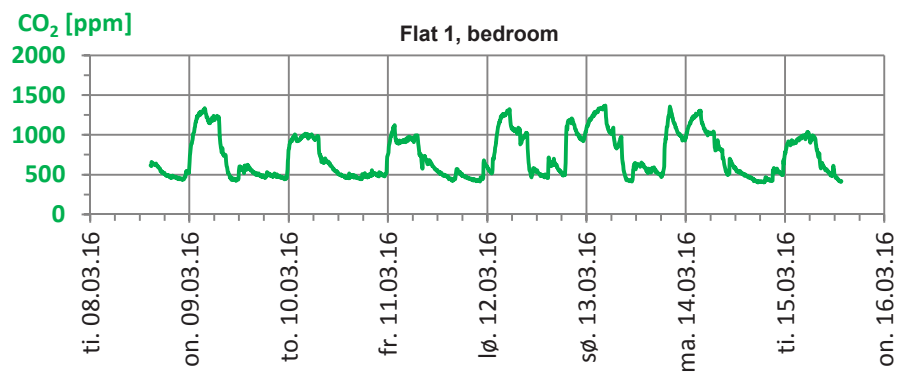
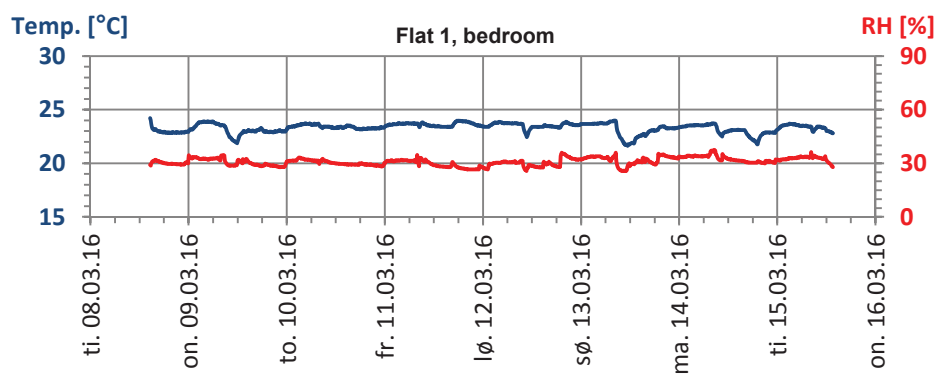
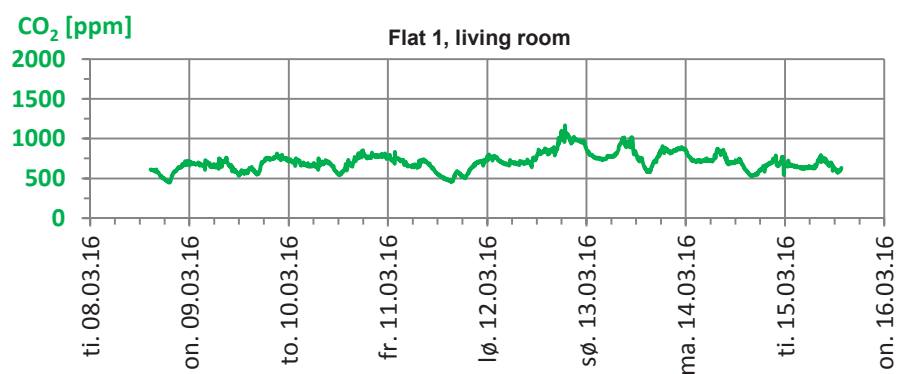
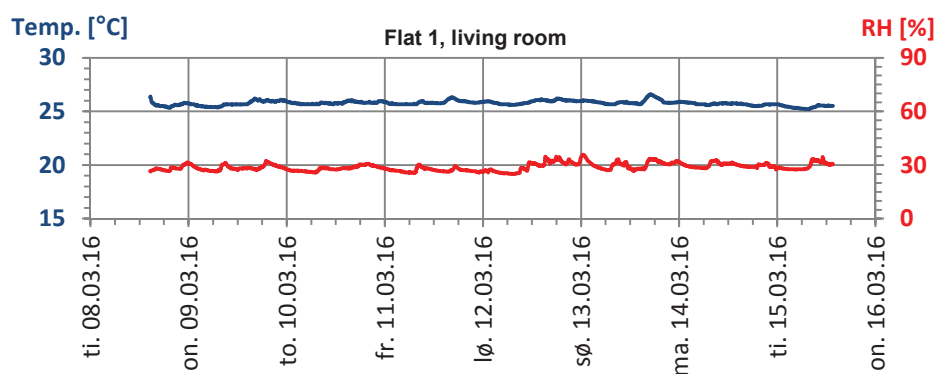
	Air transfer: From bedroom to living room	Air transfer: From living room to bedroom
	[l/s] ± SD (SD%) ¹⁾	[l/s] ± SD (SD%) ¹⁾
Flat 1	21.7 ± 6.1 (28%)	6.1 ± 1.5 (25%)
Flat 2	15.8 ± 7.4 (47%)	5.9 ± 1.7 (28%)

¹⁾ SD: Standard Deviation



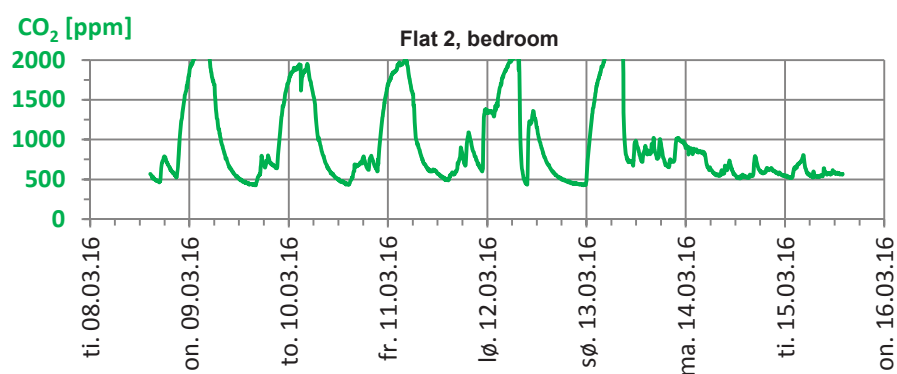
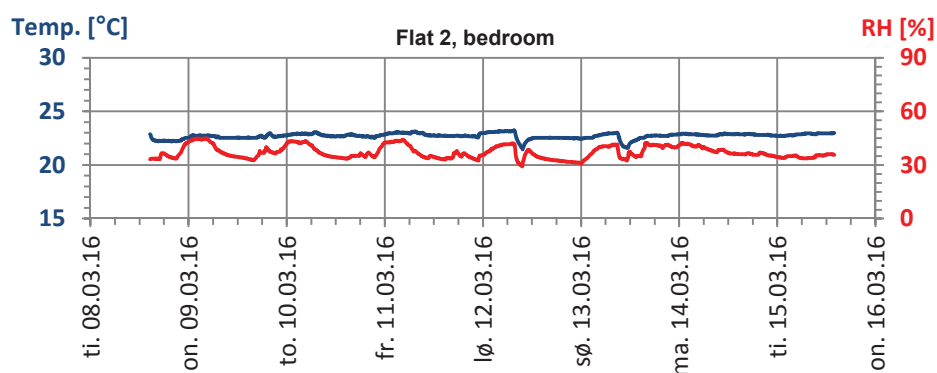
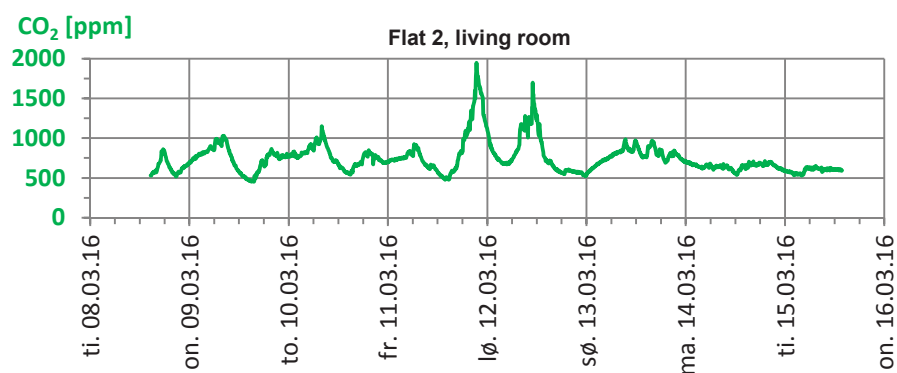
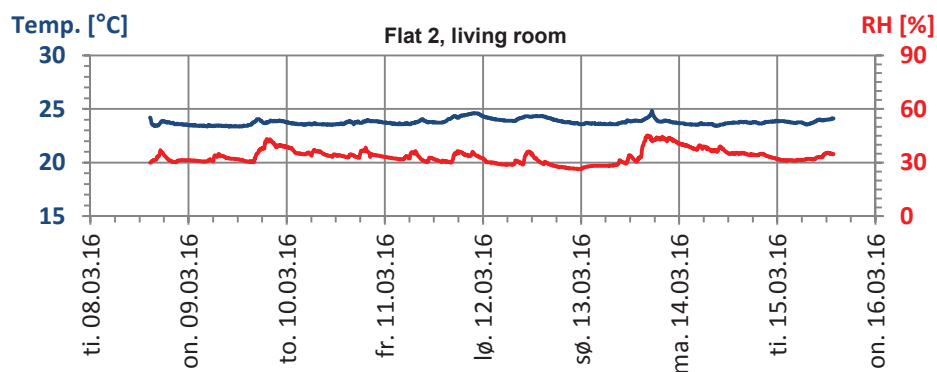
Appendix – Results of measurements of room air temperature, relative humidity and CO₂-concentration

Flat 1



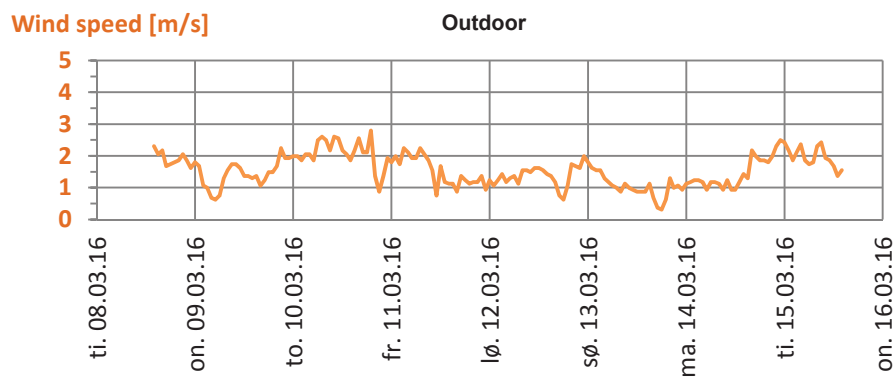
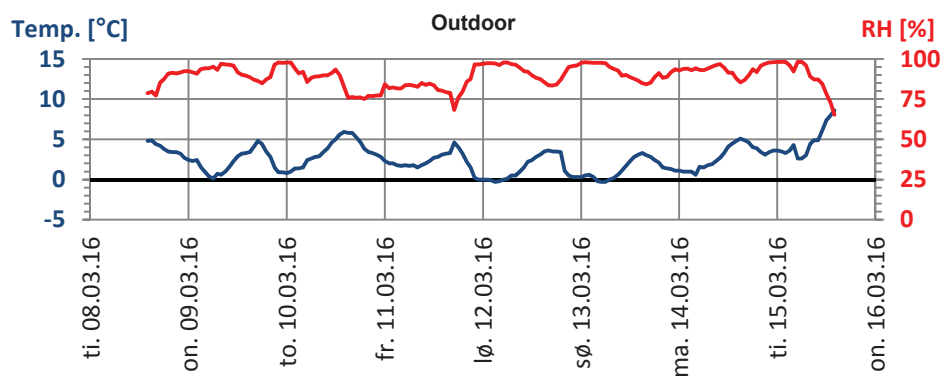


Flat 2

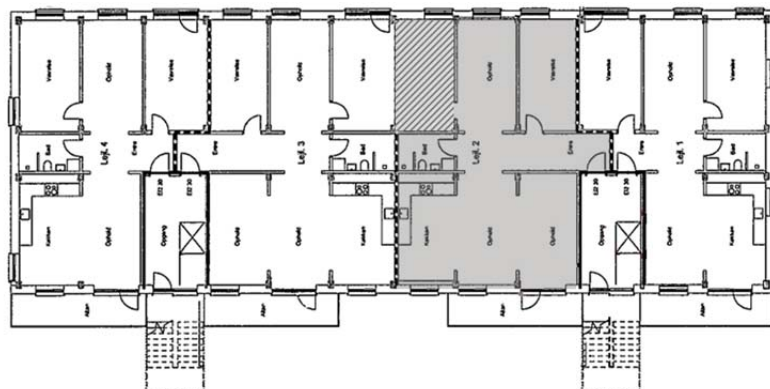




Outdoor



Photos



Block A. Investigated flats (two different floors) are shaded grey and bedroom is hatched.



Block A. Facade east and house end north.



Block A. Facade west.



Følgende otte fotos er taget ved den første målerunde i blok B, men indblæsnings-terminaler, udsugningsventiler og emhætter er ens i de to blokke.



Air supply terminal, example



Air supply terminal, example



Air supply terminal, example



Air extract terminal, example



Air extract terminal, example



Air extract terminal, example



Cooker hood, example



Cooker hood, example



Appendix – PFT-results

Flat 1

PFT-measurement

v. 51

Building	: Flat 1	Date:	17.03.2016
Project	: Sems Have, Parkvej 5	Enclosure:	1
Measurement Start:	08.03.16 at 13:30	Duration:	168,0 hours
Measurement End:	15.03.16 at 13:30		

Results

Total infiltration rate:	205,7 m ³ /h	(30,0)	[15%]
Total air change rate:	0,66 h ⁻¹	(0,10)	
Outdoor air supply:	0,46 l/s per m ²	(Gross floor area: 124 m ²)	

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	21,3	4,6	[22]	-35,0	18,6	[-53]	43,1	7,4	[17]
2	184,5	32,1	[17]	240,8	42,2	[18]	262,6	45,0	[17]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	78,2	21,5	[28]	2 → 1	21,9	5,5	[25]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Bedroom	41,8	[2]	24,5	[2]
2	Flat excl. bedroom	12,5	[10]	48,3	[3]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bedroom	30,0	PMCH	1	1655	23,3	1532
2	Flat excl. bedroom	282,0	PMCP	4	10400	25,8	10781
3	Not defined						

Rackfactor(s):	PMCH: 1,000	Uncertainty GC:	10 %	Uncertainty concentration matrix:	0,11
	PMCP: 1,000	Uncertainty mixing:	5 %	Uncertainty air flow matrix:	0,18
		Uncertainty samplers:	2 %	Condition number of conc. matrix:	1,38
		Uncertainty emitters:	10 %		

Samplers

	Measured Volume [µl]										
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers	
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4250	58,2	37,3	4138	19,0	72,2					
2	4169	59,5	36,1	4218	17,4	73,3					
3				4082	16,8	68,6					
4				4217	17,9	72,6					
5				4224	19,7	72,0					
6				4299	19,3	70,8					
7				4108	15,3	76,3					
8				3971	14,8	73,4					



Flat 2

PAGE 12 OF 12

PFT-measurement

v. 51

Building : Flat 2 Date: 17.03.2016
Project : Sems Have, Parkvej 5 Enclosure: 2
Measurement Start: 08.03.16 at 14:00 | Duration: 168,0 hours Analysis: 15.03.2016
Measurement End : 15.03.16 at 14:00

Results

Total infiltration rate: 217,2 m³/h (39,6) [18%]
Total air change rate: 0,70 h⁻¹ (0,13)
Outdoor air supply: 0,49 l/s per m² (Gross floor area: 124 m²)

Zone	Infiltration			Exfiltration			Total		
	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%	[m ³ /h]	SD	SD%
1	25,2	5,6	[22]	-10,2	23,9	[-235]	46,6	7,8	[17]
2	191,9	42,6	[22]	227,4	50,1	[22]	248,7	53,8	[22]
3									

Zone	Interzone			Zone	Interzone		
	[m ³ /h]	SD	SD%		[m ³ /h]	SD	SD%
1 → 2	56,8	26,5	[47]	2 → 1	21,3	6,0	[28]
2 → 3				3 → 2			
1 → 3				3 → 1			

Analysis

Zone		Average Zone Concentration [µl/l]			
		PMCH	SD%	PMCP	SD%
1	Bedroom	35,7	[2]	20,3	[6]
2	Flat excl. bedroom	8,2	[34]	44,2	[13]
3	Not defined				

Zone		Zone and emitter data					
		Volume [m ³]	Type	Number	Ref. rate [nl/h]	Temp. [°C]	Est. rate [nl/h]
1	Bedroom	30,0	PMCH	1	1655	22,7	1491
2	Flat excl. bedroom	282,0	PMCP	4	10400	23,8	9851
3	Not defined						

Rackfactor(s): PMCH: 1,000 Uncertainty GC: 10 % Uncertainty concentration matrix: 0,15
PMCP: 1,000 Uncertainty mixing: 5 % Uncertainty air flow matrix: 0,22
Uncertainty samplers: 2 % Condition number of conc. matrix: 1,26
Uncertainty emitters: 10 %

Samplers

	Measured Volume [µl]											
	Zone 1			Zone 2			Zone 3			Excluded samplers		
	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler	PMCH	PMCP	Sampler		Sampler	PMCP	PMCH	PDCH
1	4270	49,1	30,1	4189	13,4	61,8			4288	131,3	15,0	0,0
2	3983	50,8	28,7	4117	12,9	59,8						
3	4344	51,0	32,2	4167	12,4	60,1						
4				4349	12,6	61,8						
5				4282	5,5	77,6						
6				4183	5,4	82,6						
7				4327	13,1	63,0						
8				4051	16,4	63,3						