



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

Aalborg Universitet København
Statens Byggeforskningsinstitut
A. C. Meyers Vænge 15
2450 København SV
Danmark

Studiesekretær: Silpa Stella Rondón Pinto
Telefon: 9940 2285
master@sbi.aau.dk

Studenterrapport

Uddannelse:

Master i Bygningsfysik

Semester:

4. semester 2019-1

Titel på masterprojekt:

Styringsstrategi af tekniske installationer

Projektperiode:

1. februar – 1. juni 2019

Vejleder:

Professor Lars Gunnarsen

Senior forsker Kim B. Wittchen

Studerende:

Henrik H. Olsen

Patrick O. Pater

Antal normalsider: 80

Vedlagt kvittering fra Digital Eksamen

Afleveringsdato:

28. maj 2019

Resume:

Boliggårdens afdeling 10 Hamlets Vænge består af boligblokke med et til fire lejemål. Der er foretaget en helhedsplan på ca. DKK 250 millioner, som alle Hamlets Vænges lejemål er med til at betale. Helhedsplanen er en differentieret renovering, for de 4 områder, bestående af område A som renoveres 50 %, område B som ikke renoveres, område C som renoveres 100 % samt område D som renoveres 50 %. Rapporten tager udgangspunkt i to blokke som er geografisk forskellige. Disse blokke forventes at have reference til resten af boligblokkene.

Rapporten afdækker bygningernes energibehov før og efter renoveringen. Der analyseres på sommerkomfort i form af overtemperaturer. Til disse beregninger anvendes beregningsprogrammet Bel8. Energibehovet for naturlig ventilation samt mekanisk balanceret ventilation er beregnet i Bel8.

Rapporten omhandler styringsstrategier for den tekniske infrastruktur. Varmeforsyningen skildres som henholdsvis fjernvarme fra forsyningen, eller blokvarme fra egen kedeldrift. Til blokvarme for egen kedeldrift er der foretaget beregninger af det dimensionerede varmetab i forskellige udgaver. Der er i rapporten beskrevet forhold som centrale og decentrale styringer.

Rapporten beskriver forskelligheder i varmeforbrug og varmeregnskaber. Der er i rapporten beskrevet en ny metode til afregning af varmeregnskab, i form af dynamisk varmeregnskab.

Der er med simuleringsprogrammet BSim foretaget simuleringer af termisk indeklime. Simuleringerne indeholder forskellige scenarier for at analysere det termiske indeklime.

Rapporten afsluttes med et perspektiveringsafsnit, hvor der ses på paralleller mellem Hamlets Vænges renovering og Boliggårdens andre afdelinger. På baggrund af de berørte emner i rapporten er der foretaget anbefalinger for både Hamlets Vænge og Boliggården generelt.



Styringsstrategi af tekniske installationer

INDEKLIMA I BOLIGER EFTER RENOVERING
HENRIK HESSELLUND OLSEN OG PATRICK OSCAR PATER

Indholdsfortegnelse

1 Resumé	4
1.1 Dansk resumé	4
1.2 English summary	5
2 Indledning	6
2.1 Problemfelt	6
2.2 Formål	7
2.3 Problemformulering	9
2.4 Afgræsning	9
3 Teori	11
3.1 Ventilation	11
3.2 Indeklima	17
3.3 Varmeteori	19
3.4 Dimensionerende varmetab	21
3.5 Graddage	22
3.6 Vedvarende energi	22
3.7 Legionella	23
4 Metode	24
4.1 Oversigt over Hamlets Vænge	24
4.2 Oversigt over Be18 og BSim versioner	25
4.3 Be18	25
4.4 BSim	28
4.5 Ventilationsrate	29
5 Hamlets Vænge	33
5.1 Beregning af U-værdier	33
5.2 Tekniske installationer	45
5.3 Strategisk styring Hamlets Vænge	53
6 Forbrug, varme og varmtvand	56
6.1 Forbrug, varme og varmtvand i område A, B, C	56
6.2 Varmeforbrug i område B	56
6.3 Energiindhold i brændsler	57
6.4 Varmeregningsprincipper i Hamlets Vænge	59
6.5 Dynamisk varmeregnskab	60

7 Interview Hamlets Vænge	66
7.1 Spørgeskema	66
7.2 Driftspersonalet	67
7.3 Projektleder	68
8 Resultater	70
8.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation	70
8.2 Dimensionerende varmetab	71
8.3 Energibehov	74
8.4 Indeklima	75
8.5 Tekniske installationer	87
8.6 Strategisk styring	93
8.7 Forbrug, varme og varmtvand	94
8.8 Dynamisk varmeregnskab	99
8.9 Interview Output	100
8.10 Ventilationsrate	101
9 Diskussion	107
9.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation	107
9.2 Dimensionerende varmetab	111
9.3 Energibehov	114
9.4 Indeklima	116
9.5 Tekniske installationer	119
9.6 Strategisk styring	126
9.7 Forbrug, varme og varmtvand	129
9.8 Dynamisk varmeregnskab	130
9.9 Interview	130
9.10 Ventilationsrate	132
10 Konklusion	133
10.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation	133
10.2 Dimensionerende varmetab	133
10.3 Energibehov	133
10.4 Termisk indeklima blok Hamlets Vænge 2/Esrumsvej 54 og Hamlets Vænge 3	133
10.5 Tekniske installationer	133
10.6 Strategisk styring	134
10.7 Forbrug, varme og varmtvand	134

10.8 Dynamisk varmeregnskab	134
10.9 Interview	134
10.10 Ventilationsrate	135
11 Perspektivering	136
11.1 Energibehov	136
11.2 Ventilation	136
11.3 Dynamisk varmeregnskab	137
11.4 Byggehåndbog	137
11.5 Vedvarende energi	137
11.6 Indeklima	137
12 Anbefaling	138
12.1 Hamlets Vænge	138
12.2 Boliggården	139
13 Bilag	140
14 Bibliografi	140

1 Resumé

1.1 Dansk resumé

Boliggårdens afdeling 10 Hamlets Vænge består af boligblokke med et til fire lejemål. Der er foretaget en helhedsplan på ca. DKK 250 millioner, som alle Hamlets Vænges lejemål er med til at betale. Helhedsplanen er en differentieret renovering, for de 4 områder, bestående af område A som renoveres 50 %, område B som ikke renoveres, område C som renoveres 100 % samt område D som renoveres 50 %. Rapporten tager udgangspunkt i to blokke som er geografisk forskellige. Disse blokke forventes at have reference til resten af boligblokkene.

Rapporten afdækker bygningernes energibehov før og efter renoveringen. Der analyseres på sommerkomfort i form af overtemperaturer. Til disse beregninger anvendes beregningsprogrammet Be18. Energiforbruget for naturlig ventilation samt mekanisk balanceret ventilation er beregnet i Be18.

Rapporten omhandler styringsstrategier for den tekniske infrastruktur. Varmeforsyningen skildres som henholdsvis fjernvarme fra forsyningen, eller blokvarme fra egen kedeldrift. Til blokvarme for egen kedeldrift er der foretaget beregninger af det dimensionerede varmetab i forskellige udgaver. Der er i rapporten beskrevet forhold som centrale og decentrale styringer.

Rapporten beskriver forskelligheder i varmeforbrug og varmeregnskaber. Der er i rapporten beskrevet en ny metode til afregning af varmeregnskab, i form af dynamisk varmeregnskab.

Der er med simuleringsprogrammet BSim foretaget simuleringer af termisk indeklima. Simuleringerne indeholder forskellige scenarier for at analysere det termiske indeklima.

Rapporten afsluttes med et perspektiveringsafsnit, hvor der ses på paralleller mellem Hamlets Vænges renovering og Boliggårdens andre afdelinger. På baggrund af de berørte emner i rapporten er der foretaget anbefalinger for både Hamlets Vænge og Boliggården generelt.

1.2 English summary

Boliggården's department 10 Hamlets Vænge consists of apartment buildings with one to four apartments in each. An overall plan of approx. DKK 250 mill. which all the Hamlets Vænges tenants are paying. The overall plan is a differentiated renovation, for the four areas consisting of area A that is renovated 50%, area B that is not renovated, area C that is renovated 100% and area D that is renovated 50%. The report is based on two blocks that are geographically different. These apartment blocks are expected to have reference to the rest of the areas in Hamlets Vænge.

The report reveals the energy needs of the buildings before and after the renovation. Summer comfort is analyzed in the form of over temperatures. For these calculations, the Be18 calculation program is used. The energy requirement for natural ventilation and mechanically balanced ventilation is calculated in Be18.

The report describes management strategies for the technical infrastructure. The heat supply is depicted as district heating or block heating from own boiler operation. Calculations of design heat loss have been made for own boiler operation in different scenarios. Central and decentralized controls are described in the report.

The report describes differences in heat consumption and heating bills. The report describes a new method for settling heating bills as dynamic heat distribution.

With the simulation program BSim, simulations have been made of thermal indoor climate. The simulations contain different scenarios for analyzing the thermal indoor climate.

The report concludes with a perspective section, which looks at parallels between Hamlet's Vænges renovation and the other branches of Boliggården. Recommendations have been made based on the issues in the report for both Hamlets Vænge and Boliggården in general.

2 Indledning

2.1 Problemfelt

Boliggården er et alment boligselskab i Helsingør med ca. 6.000 lejemål. Der er 46 afdelinger i Boliggården. Boliggården består af en beboervalgt hovedbestyrelse og denne vælges på det årlige repræsentantskabsmøde. På repræsentantskabsmødet vælges ligeledes en formand for hovedbestyrelsen. Det er hovedbestyrelsen der ansætter direktøren i Boliggården. Boliggårdens administration består af 4 afdelinger, som fordeler sig på henholdsvis, økonomi, udlejning, sekretariat samt en bygge- og driftsafdeling. Generelt er de almene boliger meget demokratiske, da lovgivningen sikre medindflydelse. Således er der i de almene boligselskabers afdelinger demokratisk selvbestemmelse. Boliggårdens afdelinger har det årlige beboermøde som øverste myndighed. Der kan være ekstraordinære beboermøder af forskellige årsager. Her er det ligeledes beboerne der ved afstemning, beslutter et eller flere emner. Alle Boliggårdens afdelinger har afdelingsbestyrelser.

Når en byggesag eller helhedsplan opstartes i Boliggården, er det byggeafdelingen som påtager byggeherrerådgivningen. Der bør være en sammenhængskraft mellem byggeafdelingen og driften på stedet, for at få den optimale byggesag. Det er et forhold som ikke altid realiseres, hvilket ofte medfører en problematisk byggesag. Boliggården har dog en vision i bygge- og driftsafdelingen om et tættere samarbejde mellem parterne.

Boliggården, er lige som cirka 530 andre almene boligselskaber, medlem af Boligselskabernes Landsforening. Her samarbejdes der om beboernes og medlemmernes interesser til økonomiske, tekniske og sociale forhold. Der indgås overenskomster for ansatte i den almene sektor mellem fagforeningerne, selskaberne og Boligselskabernes Landsforening. Der afholdes af Boligselskabernes Landsforening, opdateringskurser for såvel beboerdemokrater som ansatte i den almene boligsektor. Boligselskabernes Landsforening er delt i 11 kredse¹. De forskellige boligselskaber, som Boliggården, er tilknyttet en lokal kreds. I kredsene udveksles der erfaringer mellem Boligselskaberne.

I det daglige, arbejder repræsentanterne for de 11 kredse på at udbrede Boligselskabernes Landsforenings målsætningsprogrammer og handlingsplaner. Boligselskabernes Landsforening er en vigtig samarbejdspartner for Boliggården.

Når Boliggården og andre almene boligselskaber står over for helhedsplaner i form af moderniseringer, kan der søges midler i Landsbyggefonden. Landsbyggefonden blev stiftet den 6. april 1967 som en udløber af boligforliget i 1966². Landsbyggefonden er oprettet ved lov som en selvejnet institution, som har til formål at fremme selvfinansieringen i den almene sektor.

Landsbyggefonden har således til formål at støtte udviklingen i den almene sektors boligafdelinger. Støtten sker ved modeller for finansiering af renoveringsopgaver med tilskud og låneordninger³. Det er i den almene sektor, selskabernes afdelinger som betaler ind til Landsbyggefonden.

Boliggårdens afdeling 10 Hamlets Vænge ligger i Helsingør. Hamlets Vænge er bygget i årene fra 1917 til 1925. Bebyggelsen blev overtaget af Det Sociale Boligselskab, som Helsingør Boligselskab hed i 1940. Helsingør Boligselskab er i dag det nuværende Boliggården.

¹ (Boligselskabernes Landsforening, 2019)

² (www.lbf.dk, 2019)

³ (www.lbf.dk, 2019)

Afdeling 10 Hamlets Vænge består af 4 områder A, B, C og D. Der er i alt 43 blokke med henholdsvis 1, 2, 3 og 4 lejemål. Område C med 22 blokke er under gennemgribende 100 procent renovering. På grund af besparelser bliver områderne A og D ikke renoveret i samme omfang som område C. I områderne A og D foretages der en 50 procent renovering. I område B foretages kun sporadisk renovering. Der er 3 boligblokke i område B som renoveres som i område A.

Første egentlige energirenovering af afdeling 10 Hamlets Vænge, var isolering af ydervægge hvor det var muligt. Samtidigt blev tagkonstruktionerne efterisoleret. Renoveringen forløb op gennem 1980erne. Der var en del af boligerne som i denne renoveringsperiode fik moderniseret badeværelser samt køkkener. Fra ca. 2012 og til forventet 2019, er der foretaget en renovering i samarbejde med Landsbygge Fonden på ca. DKK 250 millioner. Renoveringen er udført efter Bygningsreglementet 2010 (BR10). Renoveringen opstod på grund af skimmelsvamp i kældrene. Renoveringen har i samarbejdet med Landsbyggefonden et større indhold end kældrene alene. Således indeholder renoveringen, modernisering af bad og køkkener for de boligblokke der ikke blev moderniseret i 1980erne. Derudover er der efterisolering af lofter, udskiftning af vinduer, samt efterisolering af kælderydervægge.

Der er foretaget ændringer, og ny installering af tekniske installationer heriblandt mekanisk balanceret ventilation i område C. Der er centralt mekanisk udsugning i område A og D. I område B, er der mekanisk udsugning, det er dog ikke centralt. Der er kun skiftet tekniske installationer over alt i område C. I områderne A, B og D er der kun sporadisk renovering af de tekniske installationer. Der er nye varmecentraler i alle blokkene i område C som ikke er taget i brug. Varmecentralerne blev udført med en forventning om at afdelingen hurtigt ville blive tilknyttet fjernvarme med indføring i hver blok. Dette er ikke udført endnu og har for nuværende længere udsigter. Der er derfor i områderne A, C og D fire fælles varmecentraler. De dækker et opland i område D på 8 boligblokke, område C et opland på 12 boligblokke for en varmecentral, og 10 boligblokke for en anden varmecentral. I område A er der en fælles varmecentral til 7 boligblokke og i område B er der 6 mindre interne varmecentraler. En i hver boligblok. Område B har 3 boligblokke som overlapper område A. Disse 3 boligblokke er derfor forsynet, fra fællesvarmecentralen i område A. Således er område B uden jordledninger. Områderne A, C og D har jordledninger mellem blokkene. Der føres både varme og varmt brugsvand mellem boligblokkene, og igennem boligblokkene. Der er konstant flow på det varmebrugsvand.

Der er ikke i de nye forhold og moderniseringer taget stilling til energimæssige fordele og eventuelle begrænsninger. Der er ikke en egentlig plan for hvordan den tekniske infrastruktur skal driftes. Der er ikke foretaget simuleringer som ser på indeklimaet.

Der er ikke tidligere foretaget analyse af varmemeforbrug imellem de forskellige blokke. Således er der ikke kendskab til om eventuelle forskelle i forbrug, er på grund af den tekniske infrastruktur, adfærd eller en kombination. Det er dog muligt at se på varmemeforbrugene mellem boligerne i område A, B og C. De områder er meget ens i opbygningen. Der er dog den forskel, at der er fælles varmecentral med jordledninger i område A og C og individuelle varmecentralerne i blokkene i område B.

2.2 Formål

Rapportens hovedformål er at konkludere på den renovering som område C i Hamlets Vænge har været igennem samt at lave nogle sammenligninger til områderne A, B og D. DKK 250 millioner er en meget stor investering i en afdeling med ældre bygningsmasse. Dette især taget i betragtning af at det ikke er alle

boligblokke der vil blive renoveret fuldstændigt. Alle beboere er med til at betale for den del af renoveringen som afdelingen skal finansiere. Selve renoveringen er en totalentreprise, hvor entreprenøren styrer rådgiversiden. Dette foretages sammen med et arkitektfirma og et ingeniørfirma. Boliggården har den overordnede bygherrestyring.

Formålet med rapporten er gennemgået med Boliggårdens tekniske personale, samt byggeledelse. Der er her et ønske om at kende energibehovet i boligblokkene, i de renoverede blokke. Der er ikke i renoveringsprojektet foretaget energiberegninger som er fremkommet til Boliggården. Rapporten tager udgangspunkt i to boligblokke med forskellig geografisk orientering. Formålet med at tage de to blokke er en forventning om, at de kan danne reference for resten af området.

Der foretages beregninger på energibehovet i de to boligblokkene før og efter renovering. Således bliver der mulighed for at konkludere på besparelspotentialet. Der foretages beregninger af sommerkomfort efter BR18, for at sammenligne resultater af luftskifte udført i Be18 og BSim.

Der foretages i Be18 ligeledes beregninger for at sammenligne naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation. Der konkluderes her på forskellen i energibehovet.

Der er ikke på nuværende tidspunkt set på indeklimaet i de renoverede boligblokke. Der er beboere som har klaget over problemer med overtemperaturer før renoveringen. Denne rapport skal afdække og konkludere om de nye ventilationsprincipper samt renoveringen medfører et godt termisk indeklima.

Det er en udfordrende teknisk infrastruktur med gamle og dårligt isolerede jordledninger. Der er rørinstallationer gennem boligblokkene af samme alder som jordledningerne.

Gaskedlerne i afdelingen skal skiftes inden for de næste 5-10 år. Dette er en forventet investering på DKK 2 millioner. Der vil over tid komme reparationer i forhold til rørinstallationer over og under jorden. Der konkluderes på besparelspotentialet med fjernvarme samt anden brug af installationerne.

Alle tekniske installationer er nye i område C. Der er energiafmåling på varmen med energimåler, og vandmålere på vandinstallationerne. I områderne A, B og D afregnes der stadig efter varmefordelingsprincippet. Der er i Boliggården mange klager når varmeregnskaberne præsenteres for beboerne. Der er i denne dialog ofte fokus på varmeregnskabernes konstruktion i forhold til de skimmelsager der opstår i Boliggården. Rapporten undersøger om der er andre og bedre muligheder for afregning af varmeregnskaber.

Der er mekanisk balanceret ventilation i område C. Der kommer mekanisk udsugning i område A og D. Der arbejdes i område D frem til udgangen af 2019.

Der er præsenteret indreguleringsrapporter fra byggesagen hvor resultaterne er urealistisk ens. Der er foretaget kontrol fra anden ventilationsrådgiver, samt rapportens forfattere. Der konkluderes på eventuelle forskelle og betydningen af disse.

Der er i område C udført varmecentraler i hver blok med udgangspunkt i at alle blokke vil få fjernvarme. Rapporten behandler muligheden for at bruge de eksisterende varmeinstallationer som fjernvarme, og fjerne varmtvandsinstallationerne.

Der er ikke fjernvarme i afdelingen, men der er i afdeling C gjort klar til fjernvarme i blokkene. Rapporten undersøger mulighederne for fjernvarme og om omkostningerne kan finansieres over besparelserne.

Tilslutning af fjernvarme gælder samtlige afdelinger af Hamlets Vænge.

Der er ikke nogen egentlig oversigt af styringen af de tekniske installationer. Rapporten skal derfor gennemgå de udfordringer og muligheder der er for den tekniske infrastruktur. Rapporten skal afdække muligheder for styring af den nye infrastruktur i område C.

Der er mulighed for at få et års varmeafregning af område C, så der kan foretages en sammenligning af varmekonsum mellem områderne A, B og C. Der konkluderes på eventuelle forskelle i forbrug.

For at se på muligheden for fjernvarme og eller ændring af installationsinfrastrukturen i område C, beregnes det dimensionerende varmetab. Her fremkommer der en indikation om forskellen i ventilationstab, og dermed om radiatoreffekten er overdimensioneret. Det betragtes ud fra at der er beregnet med ventilationstab for -12 til $+20^{\circ}\text{C}$ med naturlig ventilation.

Renoveringen er foretaget efter BR10. Der drages dog sammenligninger i nogle forhold mellem BR10 og BR18 og de faktiske forhold. Da renoveringen er i gang inden for tiden med BR18, er det interessant at se de forskelle eller ligheder der er mellem reglementerne.

Der har været udtrykt bekymring fra beboerne i Hamlets Vænge på informationsmøder, i forhold til varmekonsum, når der er mekanisk balanceret ventilation. Rapporten konkluderer på forholdet mellem Hamlets Vænge før renovering med naturlig ventilation og efter renovering med mekanisk balanceret ventilation.

Der foretages en generel perspektivering for at vurdere om denne rapports indhold og konklusioner kan bruges i andre af Boliggårdens afdelinger.

2.3 Problemformulering

Har renoveringen sikret en styringsstrategi af de tekniske installationer, som sikre et sundt indeklima ved et varmekonsum som ligger tæt på bygningernes energibehov?

2.4 Afgrænsning

Der er i hele område C en fuldstændig ens renovering.

Da opgaven skal verificere energibehov og indeklima, er der størst interesse i de fuldstændigt renoverede huse i område C.

Der beregnes på to huse i område C. De to huse er ens, men har forskellig geografisk placering. De to typer kan realiseres til bebyggelsens generelle placering af boligblokkene. De to huse har hver fire lejemål. Der beregnes energibehov efter Be18 samt indeklimasimuleres i BSIm.

Ved beregninger af de to huse, kan det udledes forhold som kan verificere indeklimaet i Hamlets Vænge område C generelt, og de andre områder perifert.

Installationer og strategisk styring sammenlignes imellem de forskellige områder i Hamlets Vænge. Dette gøres for at se forskelle i ventilationssystemer samt forskelle i varmeregnskaber.

Der ses ikke på fugtrelaterede udfordringer i denne rapport.

Der er på trods af renoveringen konstruktionssammenhænge som ikke kendes fuldstændigt. Derfor vil nogle U-værdier beregnes efter forventninger om konstruktionernes sammensætning.

Der er taget udgangspunkt i bygningsreglementet 2010 (BR10) som er gældende for renoveringen. Der foretages dog sammenligninger med bygningsreglementet 2018 (BR18) da renoveringen stadig er i gang.

3 Teori

3.1 Ventilation

3.1.1 Luftsifte

Luftskiftet i et lokale er et udtryk for hvor mange gange luften skiftes over en given tidsperiode. Det er ikke et udtryk for at alt luften skiftes inden for det pågældende tidsrum. Gennemskylningen af rummet kan være udfordret af et givent rums geometri. Luftskiftet er en nødvendighed for at skabe et godt indeklima i boliger eller andre opholdsrum. Der er i boligsammenhæng stillet krav til udelufttilførelse i bygningsreglementet. Kravet er $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ i BR18⁴. Som oftest passer det med $0,5 h^{-1}$, således at halvdelen af rummets luftvolumen skiftes en gang i timen. Denne rapport tager udgangspunkt i BR10. Kravet til udelufttilførelse på $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ er ligeledes kravet i BR10⁵. Luftskiftet beregnes i et givent rum som forholdet mellem tilført luftmængde og rummets volumen.

$$n = \frac{q_v * 3600}{V} \left[\frac{\frac{m^3}{s} * \frac{s}{h}}{m^3} = h^{-1} \right]$$

Ligning 1 - Antal luftsifte pr. time

Der er foretaget undersøgelser for hvornår mennesker føler utilfredshed ved en given ventilationsrate. Arbejdstilsynet foreskriver, at hvis der tages udgangspunkt i udeluftens indhold af CO₂ på 350 ppm, så er kravet til ventilationsbehovet på $7 \frac{l}{s \cdot person}$ i møderum, klasseværelser, biografer etc.⁶. I boliger bør man udover de $7 \frac{l}{s \cdot person}$ ventilere yderligere om nødvendigt i forhold til fugtbelastning⁷. Det er i boliger oftest fugtbelastningen der er styrende for ventilationsbehovet. Dog skal gældende bygningsreglements krav som et minimum altid overholdes.

Der stilles samme krav i BR10 og BR18 om luftmængder i forskellige brugsrum. Der skal ved køkkener fjernes $20 \frac{l}{s}$, ved bad $15 \frac{l}{s}$ og ved særlige rum som bryggers og kælder $10 \frac{l}{s}$ ⁸. Der er normalt en lavere lufrate på tilluften end fraluften, da et lille undertryk i et givent rum, forhindre vanddamp i at trænge ud i konstruktionerne. Der skal i bygninger med mekanisk udsugning være muligheder for udeluft via åbninger i klimaskærmen. Dette kan f.eks. være riste i ydervægge eller riste i vinduer.

3.1.2 Ventilationstyper

Der er forskellige typer af ventilationsopbygninger. Ventilation kan generelt set karakteriseres som naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation. Så er der nogle bygninger hvor der er mulighed for en kombination af mekanisk balanceret ventilation og naturlig ventilation, kaldet hybridventilation.

⁴ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 420 punkt 1,6 ventilation i beboelsesbygninger)

⁵ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. afsnit 6.3.1.2 stk. 1)

⁶ (Professor Lars Gunnarsen, 2014, s. side 1)

⁷ (Professor Lars Gunnarsen, 2014, s. side 2)

⁸ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 443)

Der umiddelbart to måder at drive ventilationsanlæg. Det er enten med termiske opdriftsforhold og vind, som naturlig ventilation, eller med eldrevne ventilatorer, som mekanisk ventilation.

Ved naturlig ventilation er der tre forhold som driver luften fra et sted til et andet. Det er henholdsvis tværv ventilation, ensidig ventilation og opdriftsventilation. Derudover kan tværv ventilation og opdriftsventilation kombineres.

Tværv ventilation er en ventilationstype som ventilerer på tværs af rummet. Det er trykforhold der flytter luften. Således kan en trykforskel mellem tilluftens åbning og fraluftens åbning flytte en given luftmængde. Afhængigt af trykforhold kan luften bevæge sig begge veje.

Der er umiddelbart en tommelfingerregel at der med tværv ventilation kan anvendes en rumdybde på op til fem gange rumhøjden⁹.

Ved ensidet ventilation er der tale om en åbning i et givent rum. Dette kunne f.eks. være et vindue. Det er kun muligt at der kommer luft ind og ud af en ensidet luftspalte som f.eks. et vindue ved forskellige trykforhold. Ved ensidet ventilation er der en tommelfingerregel hvor det antages at rumdybden ikke må overstige 2 - 2,5 gange rumhøjden¹⁰.

Opdriftsventilation virker ved lodret kanalføring som giver en trykforskel mellem tilluften og fraluften. Der vil ske en opdrift via trykforskellen som optræder på grund af temperaturforskelle. Opdriftsventilation optræder oftest i boligsammenhæng i den ældre bygningsmasse med en kanal for hver bolig i henholdsvis køkken og bad.

Mekanisk ventilation som udsugning samt mekanisk balanceret ventilation drives med eldrevne ventilatorer. Ved mekanisk udsugning skal erstatningsluften komme fra ventiler eller riste i facader eller vinduer. Det betyder at luften der kommer ind i rummet, har den temperatur som udeluften har. Den mekaniske udsugning skal overholde de krav der er til ventilering af køkkener samt bade/wc rum. Ved mekanisk balanceret ventilation er der udeluft og fraluft som modstrømsveksles i en varmeveksler. Der er to ventilatorer som styrer tilluften og fraluften. Mekanisk balanceret ventilation bør som regel drives med et mindre undertryk i bygningen. Det vil betyde at der ikke trykkes indeluft ud i konstruktionerne.

Der er muligheder for at kombinerer mekanisk balancerede ventilation med naturlig ventilation. De beskrevne ventilationstyper kan alle bruges i boligsammenhæng afhængigt af geometrien i bygningen.

Ofte vil luftfordelingsprincipperne være enten opblandings- eller fortrængningsventilation¹¹.

I forhold til kravene i BR18 er det vægtet, at ventilationsanlæg skal være effektive i forhold til minimering af brandsmitte. Der må ikke opstå unødigt energiforbrug. Ventilationssystemer skal projekteres så de ikke skader sundheden og ligeledes ikke skader andre installationer og bygningsdele¹².

⁹ (By og Byg , 2002, s. side 12)

¹⁰ (By og Byg , 2002, s. side 11)

¹¹ (Ole B. Stampe, 2013, s. 206)

¹² (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. Paragraf 420)

3.1.3 Luftens tilstand

Når der ventileres, fortyndes der med udeluft. Det betyder, at udeluftens temperatur og relative luftfugtighed har indflydelse for indeluften. Udeluften fortynder ved indblæsning i et givent rum mængden af CO₂ og fugt i den rumluft som er tilstede. Fortyndingen sker med $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ som er kravet i BR18¹³.

Indeluften i et rum forurenes i forskellig grad afhængigt af den adfærd der er i rummet. Da det er vigtigt at kende processen i samspillet mellem udeluften, ventilationsaggregatet og indeluften kan der anvendes Mollier diagrammer.

Mollier diagrammer kan udrede forskellige forhold som beskrevet i nedstående skema med et barometrisk lufttryk på 101,3 kPa:

Specifik luftfugtighed i $\frac{kg}{kg}$
Temperatur i °C
Relativ luftfugtighed i %
Entalpi i $\frac{kJ}{kg}$

Tabel 1 – De fire parametre i Mollier diagrammet

Den specifikke luftfugtighed måles i $\frac{kg}{kg}$. Det er et udtryk for hvor meget vanddamp der er i et kilogram luft¹⁴.

Entalpien beskriver hvor meget energiindholdet er i et kilogram luft. Det sammenlignes som oftest med 0°C som referencepunkt¹⁵. Entalpi måles i $\frac{kJ}{kg}$.

Den relative luftfugtighed er forholdet det aktuelle vanddampindhold og det maximale vanddampindhold¹⁶.

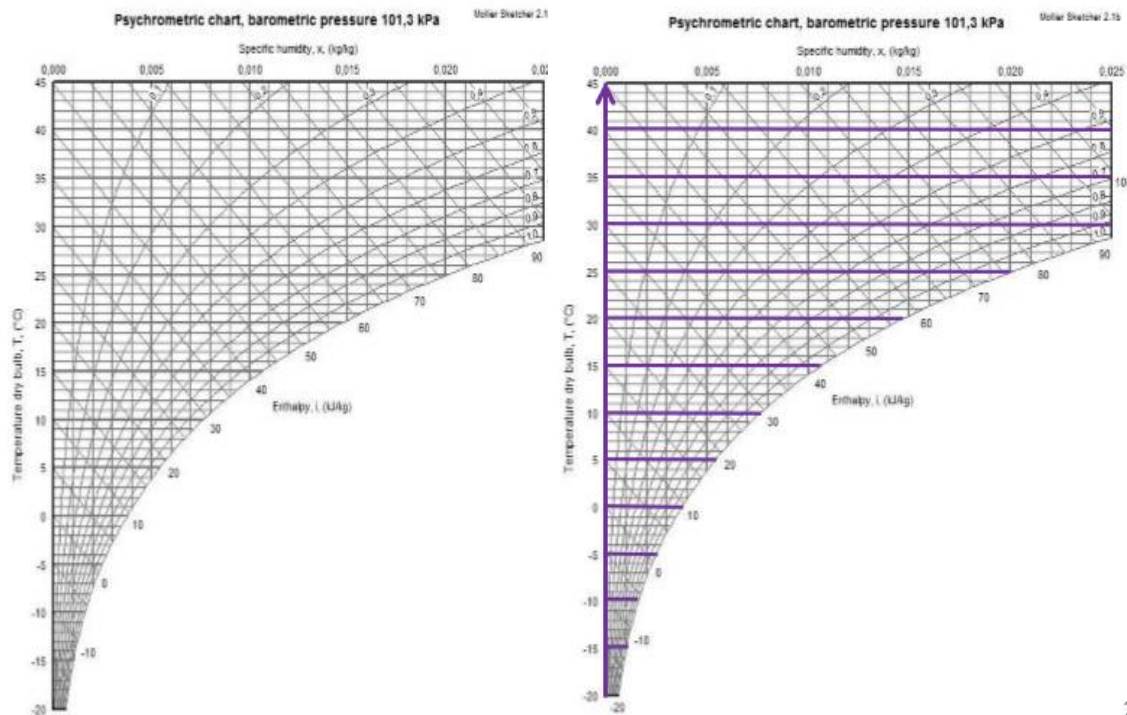
¹³ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. Paragraf 443)

¹⁴ (Climate Consult, s. 16)

¹⁵ (Climate Consult, s. 16)

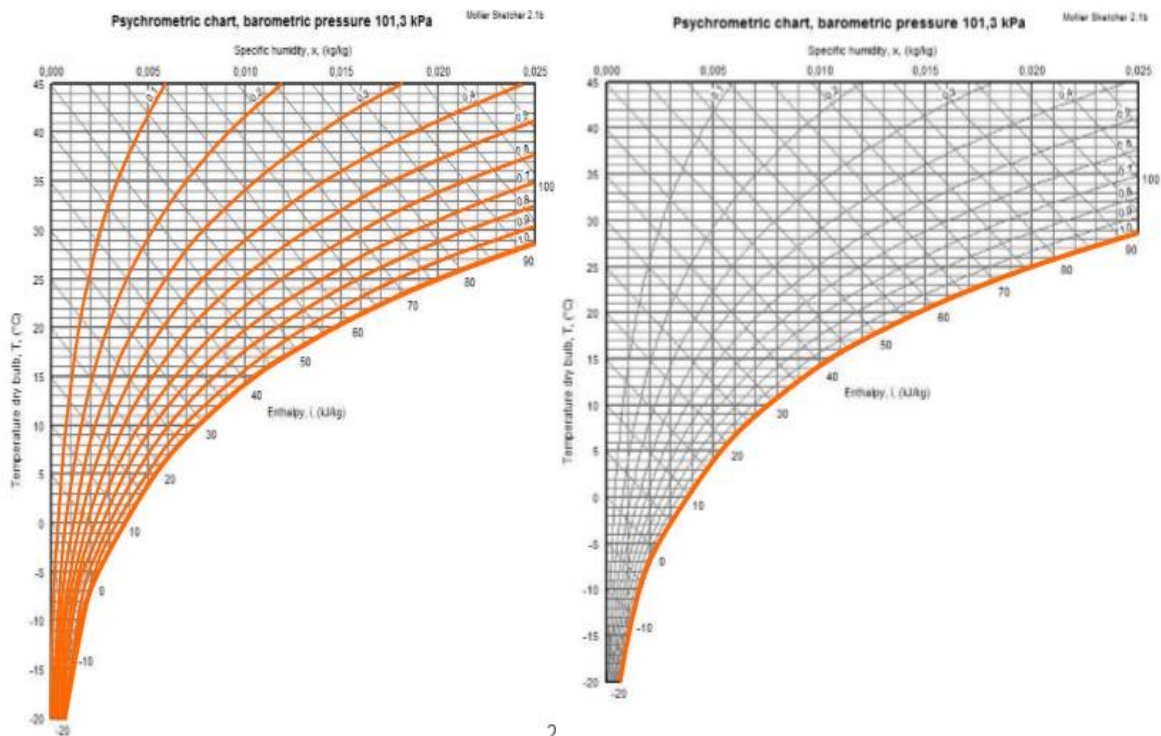
¹⁶ (SBI 224, Erik Brandt m. fl., 2013, s. 18)

Nedenfor vises de fire parametre der afbildes i mollier diagrammer. Det illustreres i mollier diagrammerne hvilke linjer som der aflæses, og hvad de aflæses i.



Figur 1- viser et Mollierdiagram til venstre, samt et Mollierdiagram med fokus på temperatur til højre¹⁷

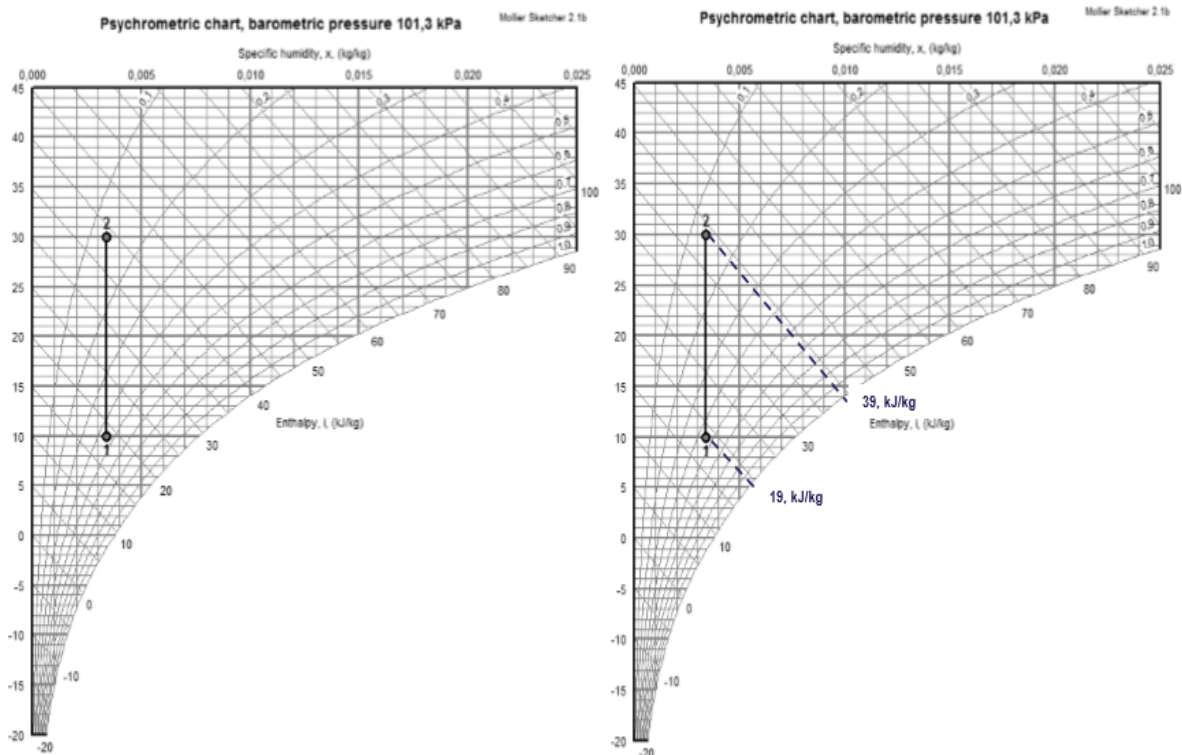
¹⁷ (Polak, 2017, s. 20 og 21)



Figur 2- viser den relative luftfugtighed til venstre samt linjen for 100 procent relativ luftfugtighed til højre¹⁸

Der er i Mollier diagrammer muligheder for at vurdere hvad der sker i den udeluft der kommer ind i boligen. Der vil være et startpunkt i diagrammet som kendetegner udeluftens tilstand på baggrund af de fire førnævnte parametre. Der kan herefter f.eks. ses på en temperaturstigning i indeluften. Når indetemperaturen kendes, kan den nye relative luftfugtighed aflæses. Det vil så være muligt at aflæse det absolutte vanddampindhold i $\frac{kg}{kg}$ i målepunktet. Ligeledes kan der aflæses hvor stor energimængden i $\frac{kJ}{kg}$ er i luften.

¹⁸ (Polak, 2017, s. 24 og 25)



Figur 3 - Entalpiforskellen som resultat af opvarmning af luften fra 10 til 30°C ¹⁹

Eksemplet i Figur 3 viser hvad der skal tilføres af energi for at hæve temperaturen fra 10 til 30°C ved en givet tilstand. Det ses at entalpiforskellen er 20 kJ/kg. Den nødvendige effekt på varmeveksleren beregnes efter nedenstående Ligning 2.

$$\Phi = q_v * \rho * c * (\Delta T)$$

Ligning 2 - Varmeeffekt tilført til luften

Forudsat at $\rho = 1,2 \frac{kg}{m^3}$ og $c = 1 \frac{kJ}{kg \cdot K}$.

Hvis ventilationsraten er $0,1 \frac{m^3}{s}$ og $\Delta T = 20 K$, så bliver den nødvendige varmeeffekt

$$\Phi = 0,1 * 1,2 * 1 * 20 = 2,4 kW$$

¹⁹ (Polak, 2017, s. 41 og 42)

3.1.4 Coandaeffekt

Ved indblæsningsaggregater i loft kan der opstå sorte støvringer. Det sker på grund af coandaeffekten. Når der indblæses tilluft i et rum i nærheden af loftet, kan der opstå et undertryk i forhold til omgivelserne²⁰. Dette skyldes at der indblæses over et stort loftareal som dækker det meste af rumbreddens. Det bevirker, at luften ikke kan erstattes i mellemrummet mellem tilluftsstrålen og loftet, og derved opstår et undertryk i forhold til omgivelserne²¹. Der kan i denne sammenhæng trækkes støv med op fra rummet som sætter sig som en sort ring rundt om indblæsningsventilen.

3.1.5 BR10 krav til ventilation

Den generelle beskrivelse af ventilation i BR10 er at bygninger skal ventileres. Ventilationsanlæggene skal projekteres og driftes og vedligeholdes, så de mindst yder det der tilsigtes²².

Der er som tidligere beskrevet mulighed for at ventilere med naturlig ventilation, med mekanisk balanceret ventilation og med en hybrid af de to. Da der ikke må opstå træk i personers opholdszone, er det vigtigt, at lufthastigheden ikke overstiger $0,15 \frac{m}{s}$ ved personers stillesiddende aktivitet²³.

Der stilles krav til boliger om et udelufttilførelse på $0,3 \frac{l}{s}$ pr. m^2 opvarmet etageareal²⁴. Ventilationsraten for udsugning skal være $10 \frac{l}{s}$ for bryggers og $20 \frac{l}{s}$ fra køkkener samt $15 \frac{l}{s}$ fra bade- og toiletrum²⁵. I forhold til dimensionering samt drift og vedligehold henvises til DS 447 norm for mekaniske ventilationsanlæg²⁶.

3.1.6 BR18 krav til ventilation

Der beskrives i BR18, at ventilationssystemer skal projekteres og udføres fagligt i forhold til DS 447 - Ventilation i bygninger - mekaniske, naturlige og hybride, DS 428 - Norm for brandtekniske foranstaltninger i ventilationsanlæg samt DS 452 - Termisk isolering af tekniske installationer²⁷. For BR18 gælder de samme krav til udelufttilførelse på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Det er ligeledes de samme krav til udsugning fra bryggers, køkken og bad²⁸. Der stilles i paragraf 430 til 442 energikrav til ventilationssystemer.

3.2 Indeklima

3.2.1 Indeklima i boliger

Hvad godt indeklima er kan være svært at definere. Der er som oftest forskellige meninger om indeklimaet afhængig af modtageren. Indeklimaet har indflydelse for sundheden. Der kan i værste fald være påvirkninger som kan medføre alvorligere sygdomme som hjertekar sygdomme samt kræftsygdomme. Ligeledes kan astma og allergier få forværrede symptomer når indeklimaet er dårligt²⁹.

²⁰ (Ole B. Stampe, 2000, s. 83)

²¹ (Ole B. Stampe, 2000, s. 83)

²² (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. 6.3.1.1 stk. 1)

²³ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. 6.3.1.1 stk. 3, vejledning)

²⁴ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. 6.3.1.2 stk 1)

²⁵ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. 6.3.1.2 stk 5)

²⁶ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. 6.3.1.1 stk 1, vejledning)

²⁷ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 421)

²⁸ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 43)

²⁹ (Gunnarsen, 2014, s. 1 Indledning)

Boligers indeklimate kan frivilligt opdeles og klassificeres i forhold til DS 3033. Der er her syv forhold som der arbejdes med i boliger. DS 3033 er en frivillig certificeringsordning, som bruges til at vurdere indeklimaet i boliger efter nedenstående tabel³⁰.

• Termiske forhold
• Ventilationsrater
• Radon
• Formaldehyd
• Partikler
• Dagslys
• Fugt og skimmelsvamp

Tabel 2 - Ovenstående er de forhold som er tilknyttet boliger i DS 3033

Der klassificeres i DS 3033 efter klasser som går fra klasse C som det ringeste og klasse A⁺⁺ som det bedste. Der er opstillede skemaer som viser hvilke klassificering de forskellige forhold ligger i. Der er klasser for henholdsvis boliger samt skoler, institutioner og kontorer³¹.

De termiske forhold i boliger vurderes ud fra forskellige forhold som vinduers stand, placering og størrelse, samt varmekilder, deres placering, og styring af disse. Der er ved ventilationsrater lagt vægt på overholdelse af bygningsreglementets krav på $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ ³².

Niveauerne for radon og formaldehyd er $100 \frac{Bg}{m^3}$ for radon og $0,1 \frac{mg}{m^3}$ for formaldehyd. I forhold til partikler er det et spørgsmål om emhætter over komfur, brændeovne i opholdsrum samt forurening af udeluft. I forhold til dagslys er det forhold som glasarealet i forhold til gulvarealet samt udsyn og rudernes lystransmittans. Ved Fugt og skimmelsvamp er det fokus på tegn på skimmelsvamp samt indhold af svampesporer i luften. Der måles træfugt i procent i trækonstruktioner for vinter og sommerhalvåret. Så for at opnå det der karakteriseres som et godt indeklimate af DS 3033, skal der foretages målinger i boligen.

Der er mange andre forhold som påvirker indeklimaet. Oftest er der fokus på tobaksrøg. Dette område berøres en del i etagebyggeri. Dette er blandt andet begrundet i forskning som peger på at passiv rygning giver risiko for hjertekar sygdomme³³. Der er i sammenhængende boliger store problemer med, at der som oftest er utætheder mellem boligerne, hvor tobaksrøg kan slippe igennem. Der kan udføres tiltag som f.eks. tætning af bygningsdele mellem boligerne, samt sikre korrekt luftmængde i boligerne³⁴.

Der er mange forhold som gør sig gældende i forhold til indeklimate. Der er en del af disse forhold som i nogen grad kan hæftes op på beboeradfærd. Det er f.eks. forhold som udluftning tre gange i døgnet³⁵ som ikke overholdes. Der er oftest problemer med skimmelsvamp når der produceres meget vanddamp i boligen og det ikke ventileres væk. Det kan løses med mekaniske balancerede ventilationsanlæg i en vis udstrækning. Rengøring af boligen generelt samt husdyrhold har ligeledes en påvirkning af indeklimaet.

³⁰ (Dansk Standard, 2011, s. side 9 uden CO₂ samtakustiske forhold)

³¹ (Dansk Standard, 2011, s. side 15-16 for boliger)

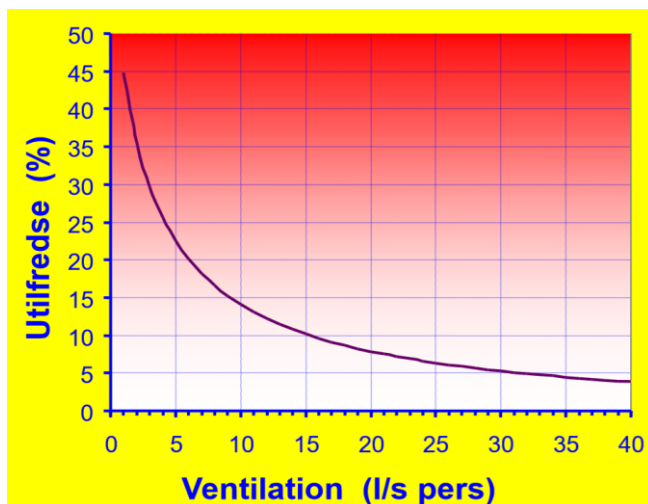
³² (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 420-452)

³³ (Professor Lars Gunnarsen, 2014, s. side 4)

³⁴ (Professor Lars Gunnarsen, 2014, s. side 4)

³⁵ (Professor Lars Gunnarsen, 2014, s. side 8)

Der er sammenhæng mellem den generelle utilfredshed med indeklimaet i forhold til ventilationsraten.



Figur 4 - Ventilationsrater i forhold til utilfredshed

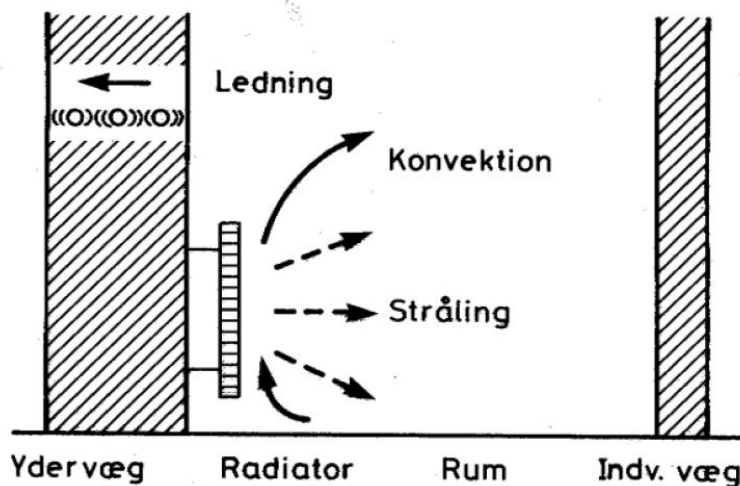
Som Figur 4 viser, er der en sammenhæng imellem ventilering i forhold til brugers utilfredshed³⁶. Som eksempel kan der ventileres med $5 \frac{l}{s}$ pr. person, så vil der være ca. 22 % utilfredse. Hæves ventilationsraten til $15 \frac{l}{s}$ pr. person, så er der 10 % der er utilfredse. Så der er en klar bedring i tilfredsheden når ventilationsraten hæves.

Der er i de fleste boliger og især ældre boliger mange kuldebroer og utætheder i klimaskærmen. Så kommer der skimmelsvamp i en bolig, skal der foretages en vurdering af adfærden sammenholdt med klimaskærmens sammensætning.

3.3 Varmeteori

I forbindelse med transport af varme er det tre forhold som flytter energi fra et område til et andet. Det gælder såvel over en konstruktion som i et rum med en radiator som skitseret nedenfor i Figur 5. De tre forhold er varmeledning – varmestråling samt konvektion. De tre former kan sammen eller hver for sig flytte varmestrømme fra varme til kolde områder.

³⁶ (Professor Lars Gunnarsen, s. undervisningsmateriale Master i Bygningsfysik, indeklimaets påvirkninger)



Figur 5 - Principper for varmetransport

På Figur 5 er det illustreret hvordan varme transporteres fra et radiatorsystem til et rum³⁷. Der er en ydervæg hvorpå radiatoren er monteret, samt en indervæg. Der er varmeledning gennem ydervæggen, som forgår med molekylers hastigheder som er større ved varme flader og mindre ved kolde flader. Disse hastigheder vil forsøge at etablere ligevægt. Ved denne funktion vil der ske en varmeledning fra den varme side af ydervæggen til den kolde side. Varmeledning symboliseres på ovenstående Figur 5 med pilen gennem ydervæggen.

Varmestråling kan som det anvises i figuren foregå mellem to flader. Der sker derfor en varmeveksling via stråling mellem radiatoren og indervæggen i ovenstående tilfælde. Det er på figuren vist med de stiplede pile. Varmestråling forekommer kun, hvis der er temperaturforskel mellem to modstående flader.

Ved konvektion er det, som illustreret i figuren, radiatoren som opvarmer luften henover radiatoren. Dette skaber en opdrift fordi den varme luft er lettere end den kolde luft. Denne opdrift skaber opblanding i rummet.

Konvektion samt stråling kan på samme måde som varmeledning forekomme i konstruktioner. Er der i en konstruktion parralle sider over for hinanden kan der forekomme stråling mellem fladerne hvis der er en temperaturforskel mellem fladerne. I konstruktioner med hulrum kan der opstå konvektion ved enten temperaturforskelle i konstruktionen eller ved vindstød mod eller i konstruktionen.

Når der foretages beregninger af U-værdier, regnes der kun med varmeledning.

Når varmetransport sker i en konstruktion, er det principielt en procesform, som indeholder alle tre mekanismer³⁸.

³⁷ (Cecilie vej-hansen Carsten Rode , 2010)

³⁸ (Ole B. Stampe, 2013, s. 78)

3.4 Dimensionerende varmetab

Det dimensionerende varmetab er summen af transmissionstabene inklusive vinduer og døre, samt ventilationstab. Ventilationstabet kan beregnes med enten naturlig ventilation eller med mekanisk balanceret ventilation med varmegenvinding. Det dimensionerende varmetab bruges til beregning af radiatorstørrelser eller til beregning af effekten af andre varmegivere. Varmetabene beregnes generelt efter naturlig ventilation. Det betyder at der er stor effekt på ventilationstabet med mekanisk balanceret ventilation.

Der beregnes dimensionerende varmetab efter nedenstående formler³⁹

$$\Phi = \sum_{\text{konstruktion}} U * A * \Delta\theta + \sum_{\text{kuldebro}} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{\text{ventilationstab}} \rho * c * q * \Delta\theta$$

Ligning 3 - Dimensionerende varmetab med naturlig ventilation

$$\Phi = \sum_{\text{konstr}} U * A * \Delta\theta + \sum_{\text{kuld}} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{\text{vent}} \rho * c * (q_2 + q_3) * \Delta\theta - \rho * c * q_1 * (\theta_l - \theta_e)$$

Ligning 4 - Dimensionerende varmetab med mekanisk ventilation

Symboler og enheder

Σ er Sum af tab i W

U er U værdi i $\frac{W}{m^2 * K}$

A er Areal i m^2

$\Delta\theta$ er temperaturforskel mellem dimensionerende inde- og udetemperatur i $^{\circ}C$

Ψ er værdier for linjetab i $\frac{W}{m * K}$

L er længde i meter

ρ er luftens massefylde i $\frac{kg}{m^3}$

c er luftens varmekapacitet i $\frac{J}{kg * K}$

q er tilført udeluft i $\frac{m^3}{s}$

q_1 er luftstrøm af udeluft tilført gennem anlæg i $\frac{m^3}{s}$

q_2 er luftstrøm af afkastningsluft i $\frac{m^3}{s}$

q_3 er luftstrøm af exfiltration i $\frac{m^3}{s}$

q_4 er luftstrøm af infiltration i $\frac{m^3}{s}$

θ_l er udeluftens temperatur efter varmegenvindingsaggregatet i $^{\circ}C$

θ_e er dimensionerende udetemperatur i $^{\circ}C$

Tabel 3 - Symboler og enheder

³⁹ (Dansk Standard, 2015, s. side 14, 19 og 20)

3.5 Graddage

Graddage er et system hvor det er muligt at sammenligne forbrug inden for samme rammer. År med mange graddage er koldere end år med færre graddage. Der er i graddagesystemer altid et normalt år som bruges til reference for at korrigere. Således kan der sammenlignes forbrug år for år. Når der skal korrigeres i forhold til graddage, er der to forhold som er gennemgående. Der korrigeres kun for det graddageafhængige forbrug, kaldet GAF. Restforbruget er til varmtvandsproduktion og derfor graddage uafhængigt og kaldes GUF⁴⁰.

GUF kan beregnes ved summen af de 3 sommermåneder som divideres med 3 og ganges med 12. GUF fratrækkes så GAF som korrigeres for graddage.

Med denne metode, er det muligt at udlede, om det beregnede år er bedre eller dårligere i forhold til normalt årets graddage.

Udgangspunktet for beregning af graddøgn er 17°C hvorfra der fratrækkes det pågældende døgns middeltemperatur.

Er der en døgnmiddeltemperatur på minus 2°C er resultatet $17 - (-2) = 19$ graddøgn⁴¹.

Da energiforbrug oftest omsættes til $\frac{kWh}{m^2}$ kan det sammenlignes. Der skal dog være en vis sammenligning i bygningernes klimaskærmsopbygning hvis sammenligningen skal være autentisk.

Beregning af det graddageafhængige forbrug (GAF):

$$GAF' = GAF * \frac{\text{Graddage normalår}}{\text{Graddage aktuelt år}}$$

3.6 Vedvarende energi

Vedvarende energi er en betegnelse for energiformer som ikke har begrænsede reserver. I boliger er det oftest VE fra solen og varmepumper. Der findes følgende VE former⁴²:

- Solenergi
- Varmepumper
- Bioenergi
- Vindenergi (Spar Energi dk, u.d.)
- Bølge og vandkraft
- Geotermisk

I de ovenstående forhold er de sidste fire punkter som oftest mere centrale VE produkter. Således produceres de ofte i større skala. Der er derimod meget gode muligheder på boligplan med de to øverste punkter. Her er varmepumper, solvarme og solceller mulighederne for at oprette VE anlæg mere lokalt. Der kan i forbindelse med at få bygninger kvalificeret som energirigtige bygninger som f.eks. bygningsklasse 2020 (BK20) eller lavenergiklasse 2020 (LE20) suppleres med VE.

⁴⁰ (Teknologisk Institut, 1999, s. Energistyring ELO uddannelsen)

⁴¹ (Teknologisk Institut Graddage, u.d., s. <https://www.teknologisk.dk/graddage/hvad-er-graddage>))

⁴² (Spar Energi dk, u.d.)

I forhold til varmepumper kan det udføres som vand/vand eller luft/vand. Der er ved solenergi mulighed for at få solceller på taget eller facaderne af bygningen. Solvarme er mest anvendeligt til brugsvandsopvarmning.

3.7 Legionella

Der er risiko i alle vandsystemer i et givent temperainterval for at der udvikles legionellabakterier. Der er umiddelbart størst risiko ved temperaturintervallet mellem 32 - 37°C.



Legionellabakterie og bioslim (biofilm)

Figur 6 - Legionellabakterie i biofilm⁴³

Legionellabakterien er en bakterie som i vandsystemer smitter ved aerosoler og derfor smittes mennesker oftest i brusebade hjemme eller på hoteller og svømmehaller. Legionellabakterien er årsag til sygdommen Pontiac feber⁴⁴ som mest af alt minder om influenza. I nogle tilfælde kan sygdommen ende i en meget alvorlig lungebetændelse. Der er registreret mellem 100 og 200 legionella tilfælde på mennesker om året⁴⁵. I de tilfælde der påvises, er der en dødelighed på 10 – 15 %⁴⁶. Legionella er oftest et problem i større varmtvandssystemer.

⁴³ (Guldager A/S, 2010, s. side 20)

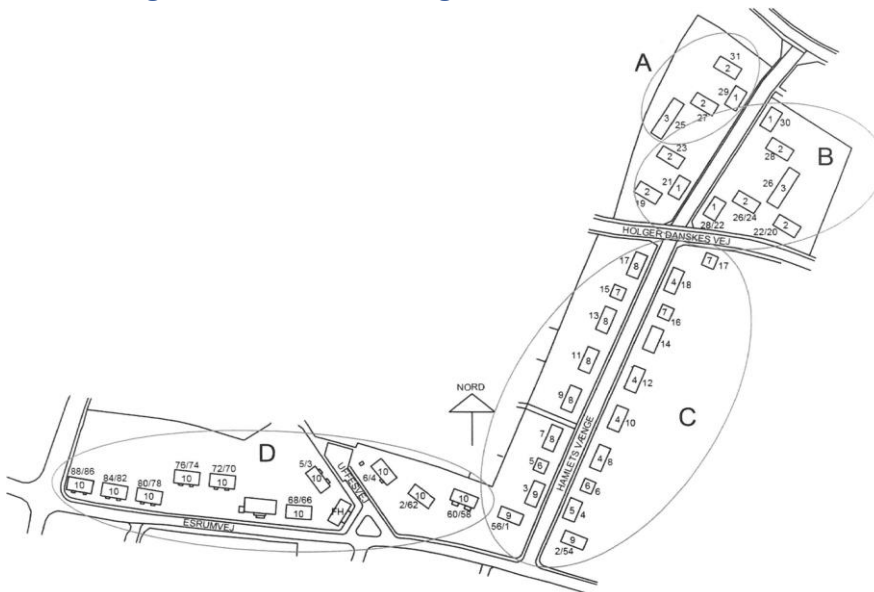
⁴⁴ (Guldager A/S, 2010, s. side 21)

⁴⁵ (Statens Serums Institut, 2017, s. <https://www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsleksikon/l/legionaersygdом>)

⁴⁶ (Statens Serums Institut, 2017, s. <https://www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsleksikon/l/legionaersygdом>)

4 Metode

4.1 Oversigt over Hamlets Vænge



Figur 7 - Hamlets Vænge består af områderne A, B, C og D

Rapporten omhandler i nogle sammenhænge alle blokke i Hamlets Vænge. Rapportens beregningsmodeller udføres på 2 ens blokke med forskellig geografisk orientering. Det er blokken Hamlets Vænge 3 A / B samt Hamlets Vænge 2 B / Esumvej 54. Blokkene har den samme udformning og opbygning. Det er derfor muligt at sammenligne blokkene i forhold til indeklimaet. Rapporten behandler forskellige scenarier med henholdsvis BSim og Be18. Der er 4 lejemål i hver blok.

4.2 Oversigt over Be18 og BSim versioner

Versionerne A, B, C og D viser Hamlets Vænge 2B / Esrumvej 54.

Versionerne E, F, G og H viser Hamlets Vænge 3 A / B.

4.2.1. Version A, Be18

Før der blev renoveret. Der er derfor medregnet U-værdier fra de gamle vinduer, samt med kælderydervægge uden isolering. Der er ligeledes regnet med en loftskonstruktion med 150 mm mindre isolering. Der regnes med naturlig ventilation. Der regnes med Blokvarmecentral i denne version.

4.2.2 Version B, Be18

Efter renoveringen. Der er regnet med nye vinduer med forbedrede U-værdier samt udvendig isolering af kælderydervægge. Der er regnet med 150 mm mere isolering i konstruktionen mod loft. Der regnes med mekanisk balanceret ventilation. Der varmeveksles mellem fraluften, fra bad og køkkener, og udeluften til opholdsrum. Der regnes med en temperaturvirkningsgrad på 85%. Ventilationsanlægget er et fælles centralt anlæg til fire lejemål. Der regnes med blokvarmecentral i denne version.

4.2.3 Version C, Be18

Denne version tager udgangspunkt i version A, men med mekanisk balanceret ventilation med en temperaturvirkningsgrad på 85%. Det er herefter muligt at sammenligne effekten på ventilationstabt mellem naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation.

4.2.4 Version D, Be18

Denne version tager udgangspunkt i version B hvor der regnes med fjernvarme.

4.2.5 Version E, Be18

Før der blev renoveret. Der er derfor medregnet U-værdier fra de gamle vinduer, samt med kælderydervægge uden isolering. Der er ligeledes regnet med en loftskonstruktion med 150 mm mindre isolering. Der regnes med naturlig ventilation. Der regnes med Blokvarmecentral i denne version.

4.2.6 Version F, Be18

Efter renoveringen. Der er regnet med nye vinduer med forbedrede U-værdier samt udvendig isolering af kælderydervægge. Der er regnet med 150 mm mere isolering i konstruktionen mod loft. Der regnes med mekanisk balanceret ventilation. Der varmeveksles mellem fraluften, fra bad og køkkener, og udeluften, til opholdsrum. Der regnes med en temperaturvirkningsgrad på 85%. Ventilationsanlægget er et fælles centralt anlæg til fire lejemål. Der regnes med blokvarmecentral i denne version.

4.2.7 Version G, Be18

Denne version tager udgangspunkt i version E, men med mekanisk balanceret ventilation med en temperaturvirkningsgrad på 85%. Det er herefter muligt at sammenligne effekten på ventilationstabt mellem naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation.

4.2.8 Version H, Be18

Denne version tager udgangspunkt i version F hvor der regnes med fjernvarme.

4.3 Be18

I beregningsprogrammet Be18 beregnes og defineres en given bygnings energibehov i $\frac{kWh}{m^2}$ pr. år.

Energi behovet beregnes efter bygningens klimaskærm og de tekniske installationers ydeevne. Det resulterer i at en velisoleret bygning med gode materialer samt energirigtige tekniske installationer giver et lavt energibehov.

Energirammen er et beregningsmæssigt forhold som har hjemmel i bygningsreglementet 2018. Energirammen tager udgangspunkt i den energi der maksimalt må bruges i bygningen. Energiforbruget er forskelligt afhængigt af bygningens primære energikilde som bruges til bygningens primærforsyning⁴⁷.

Bygningens energibehov kan bruges i forbindelse med en bygnings energimærkning. På den måde kan bygninger sammenlignes med energibehovet som udgangspunkt. Energiforbruget kan sammenlignes med energiforbruget i bygningen. Denne sammenligning kan give indikationer om driften er fornuftig i forhold til energibehovet.

Hvis energiforbruget er en del større end det beregnede energibehov, er der en anledning til at se på forskellige driftsparametre og beboeradfærd i bygningen.

Be18 beregner også sommerkomfort for det kritiske rum. BR18 stiller krav til antallet af timer, over 27°C og 28°C. Timerne over de givne temperaturer afhænger af vinduesarealerne i den kritiske rum. Der må i følge BR18 maksimalt være 100 timer om året over 27°C og maksimalt 25 timer om året over 28°C⁴⁸. Programmet er nærmere specificeret i SBI anvisning 213.

• Ydervægge
• Fundamenter
• Vinduer og døre
• Varmefordelingsanlæg
• Ventilation
• Vandvarmere
• Varmt brugsvand
• Kedler og varmevekslere
• Pumper
• Interne varmetilskud
• Sommerkomfort
• Solceller
• Solfangere
• Varmepumper
• Vindmøller
• El varme
• El vandvarmere
• Gas vandvarmere
• Brændeovne mv.

Tabel 4 - Parametre til beregning i Be18

⁴⁷ (Aggerholm, Søren & Grau, Karl. - SBI 213 4-udgave bygningers energibehov, 2016)

⁴⁸ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. Paragraf 385-392 1.0. generelt for termisk indeklima)

Der regnes med infiltration i Be18 med følgende formler efter SBI 213.

$$q_{inf} = 0,04 \frac{l}{s} + 0,06 * q_{50} \frac{l}{s} \text{ pr. m}^2 \text{ opvarmet etageareal}$$

Ligning 5 - Infiltration

Hvis klimaskærmens tæthed ikke er eftervist, bruges $q_{50} = 1,5 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Så i denne rapport beregnes infiltrationen med $q_{50} = 1,5 \frac{l}{s \cdot m^2}$.

Beregningen for infiltration er:

$$q_{inf} = 0,04 \frac{l}{s} + 0,06 * 1,5 \frac{l}{s} = 0,13 \frac{l}{s} \text{ pr. m}^2 \text{ opvarmet etageareal}$$

4.4 BSim

BSim er et simuleringsprogram som kan kortlægge et givent rum eller flere rum ud fra en indeklimamæssig synsvinkel. Der kan fortages mange forskellige simuleringsscenarier afhængigt af hvad der ønskes belyst. Således er der med BSim mulighed for at få en bredere forventning om et givent indeklima før og efter en bygning opføres. I denne rapport bruges BSim til at se forskellen mellem to ens boligblokke med forskellig geografisk placering.

Følgende oplysninger er anvendt for de termiske zoner.

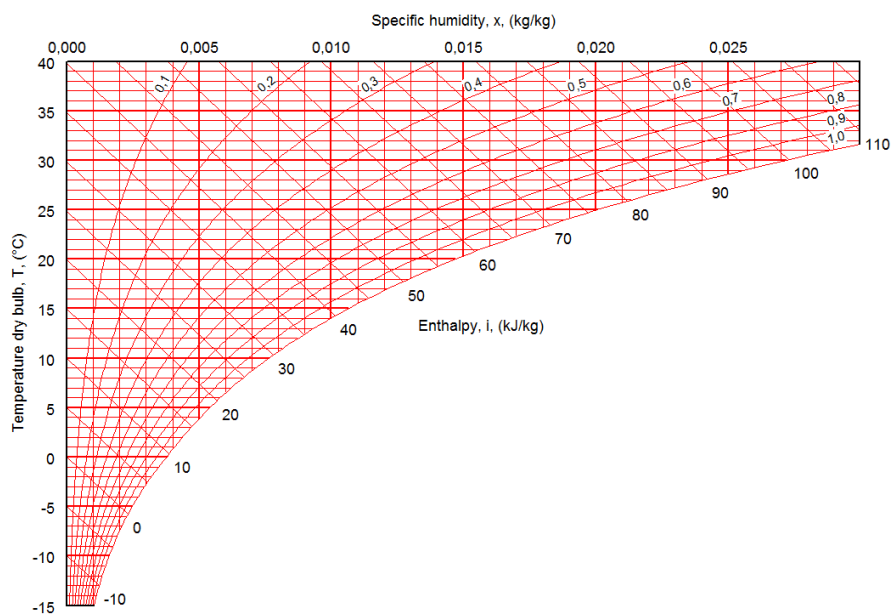
System	Beskrivelse	Tidsplaner (Schedule)	
		Regulering	Tidsangivelse
Personbelastning (People)	$1,5 \frac{W}{m^2}$ (Be18) 2 pers = 0,2 kW (BSim)	100 %	7-8, 17-22 – Stue 7, 20 – Bad 23-6 - Værelse
Udstyr (Equipment)	$3,5 \frac{W}{m^2}$ (Be18) 0,105 kW (BSim) – Stue 0,03 kW – Bad 0,046 kW - Værelse	100 %	Always
Infiltration	$0,13 \frac{L}{s \cdot m^2}$ (BR18) 0,171 hr ⁻¹ (BSim) – Stue 0,129 hr ⁻¹ – Bad 0,17 hr ⁻¹ - Værelse	100 %	Always
Ventilation	$0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ (Be18) $0,009 \frac{m^3}{s}$ (BSim) – Stue $0,007 \frac{m^3}{s}$ – Bad/værelse	100 %	Always
Venting	$2,9 \frac{L}{s \cdot m^2}$ (Be18) Max 5,0 hr ⁻¹ (BSim)	SetPoint 23 °C	17-8
Opvarmning (Heating)	MaxPow 1 kW (BSim) Fixed Part 0 (BSim) Part To Air 0,6 (BSim)	HeatCtrl Set Point 22 °C	Always
Solafskærmning (SolarShading)	Gardiner inaktive om vinteren 1,0 (Be18) 0,8 (BSim)	Shading Coeff 0,8 Max Sun 0 W/m ² Internal On/Off	May - September

Tabel 5 - Indgangsparametre til BSim

4.5 Ventilationsrate

Bygningsreglementet foreskriver en udelufttilførelse på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. Hensigten med at ventilere er at fjerne den personafhængige fugt fra boligen.

Beboerne i Hamlets Vænge har på informationsmøder, givet udtryk for at de oplever tør luft i perioder. Dette afsnit vil belyse om en halvering af ventilationsraten kan opretholde en RF der ikke opleves tør. Til beregning af luftens tilstand i ventilationsanlæg og bolig anvendes Mollier diagrammet.



Figur 8 - Mollier diagram

4.5.1 Fugtproduktion af 2 personer pr. døgn.

2 personer producerer ca. 4,25 kg fugt i døgn⁴⁹.

$$24 \text{ t} * 3600 \frac{s}{t} = 86400 \text{ s}$$

$$x_{prod} = \frac{4,25 \text{ kg}}{86400 \text{ s}} = 0,049 \frac{g}{s}$$

$$x_{prod} = 0,05 \frac{g}{s}$$

Ligning 6 - Fugtproduktion af 2 personer

⁴⁹ (SBI (AAU) Eva B. Møller, 2017, s. 12)

Beregningsparametre	Forklaring
$\rho_{luft} = 1,2 \frac{kg}{m^3}$	Massefylde af luft
$q_{bolig} = 0,021 \frac{m^3}{s}$	Ventilationsrate

Tabel 6 - Beregningsparametre for beregning af luftmasse

$$m_{luft} = q_{bolig} * \rho_{luft}$$

$$m_{luft} = 0,021 * 1,2 = 0,025 \frac{kg}{s}$$

Ligning 7 - Beregning af luftmasse

Fugttilførelse til rumluften ved en udeluftstilførelse svarende til $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$.

$$\Delta x_{rum} = \frac{x_{prod}}{m_{luft}}$$

$$\Delta x_{rum} = \frac{0,05}{0,025} = 2,0 \frac{g}{kg}$$

Ligning 8 - Fugttilførelse til rumluften

Ved halv ventilationsrate optages den dobbelte fugtmængde i rumluften.

4.5.2 De tre scenarier

Scenarie	Forklaring
0 °C og 100 % RF	Vinter
10 °C og 100 % RF	Forår og efterår
15 °C og 100 % RF	Sommer
Ventilationsrater	
$q = 0,3 \frac{l}{s * m^2}$	Høj ventilationsrate
$q = 0,15 \frac{l}{s * m^2}$	Lav ventilationsrate

Tabel 7 - Beregningsscenarier og ventilationsrater

Størrelse	Værdi	Kommentar
T_1 [°C]	0, 10, 15	Udetemperatur.
ϕ_1 (RF) [%]	100	Relativ fugtighed i udeluften.
T_3 [°C]	18	Indblæsningstemperatur på 18 °C ønskes.
T_4 [°C]	22	Udsugningstemperatur er fastsat til 22 °C.
Q_{rum} [kW]	0,2	Konvektive effekt af to personer og udstyr ⁵⁰ .
Δx_{rum} [g/kg]	2,0	Værdi baseret på fugtproduktion af 2 personer pr. døgn.
η_{temp}	0,85	Temperaturvirkningsgrad af modstrømsveksler.

Tabel 8 - Forudsætninger for beregning af RF i boligen

$$\eta_{tk} = 0,85$$

$$T_2 = \eta_{tk} * (T_4 - T_1) + T_1$$

$$T_2 = 0,85 * (22 - 0) + 0 = 18,7 \text{ °C}$$

Ligning 9 - Beregning af temperatur efter modstrømsveksler

Symbol	Forklaring
T_1	Udeluft
T_2	Tilluft – efter veksler på kold side
T_4	Fraluft – før veksler på varm side

Tabel 9 - Symboler

⁵⁰ (Ole B. Stampe, 2000, s. 97)

Beregningsparametre	Forklaring
$m_{luft} = 0,025 \frac{kg}{s}$	Luftrate
$c_{luft} = 1 \frac{kJ}{kg * K}$	Specifik varmekapacitet
$T_3 = 18,7 ^\circ C$	Temperatur på tilluften
$h_3 = 28,4 \frac{kJ}{kg}$	Entalpien i tilluften
$Q = 0,2 kW$	Konvektive varmeeffekt fra rum

Tabel 10 - Parametre for beregning af temperaturforøgelse i rum

$$T_4 = \frac{Q}{m_{luft} * c_{luft}} + T_3$$

$$T_4 = \frac{0,2}{0,025 * 1} + 18,7 = 26,8 ^\circ C$$

Ligning 10 - Temperaturforøgelse i rum

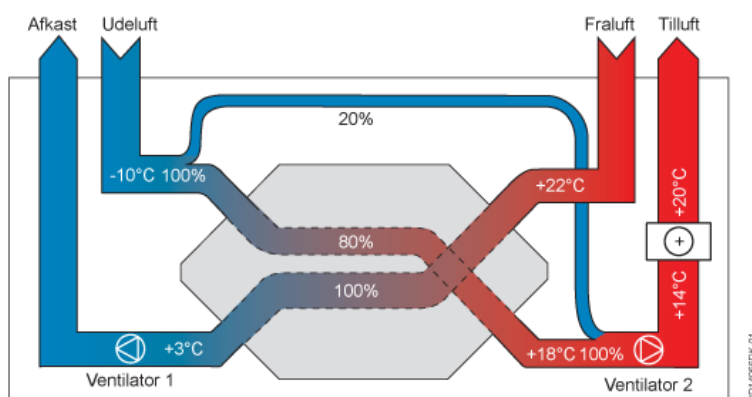
$$h_4 = \frac{Q}{m_{luft}} + h_3$$

$$T_4 = \frac{0,2}{0,025} + 28,4 = 36,5 \frac{kJ}{kg}$$

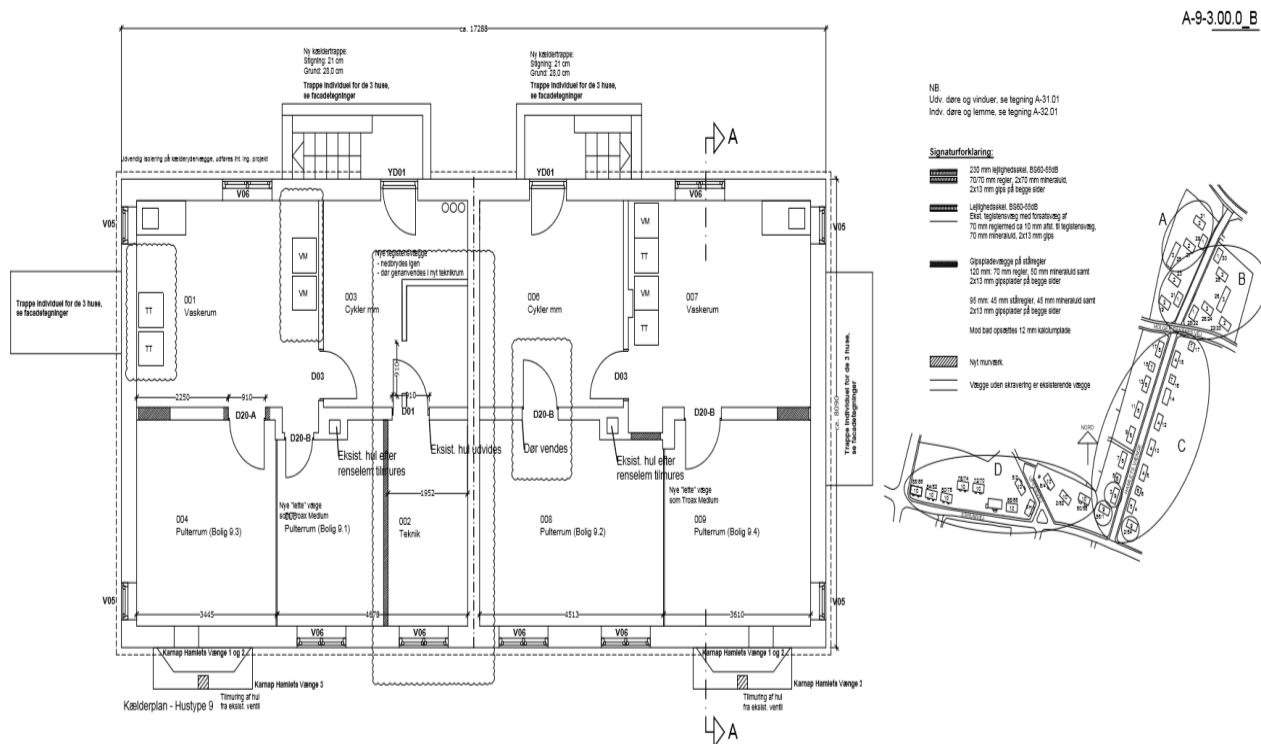
Ligning 11 - Entalpiforøgelse i rum

4.5.3 By-pass på varmeveksler

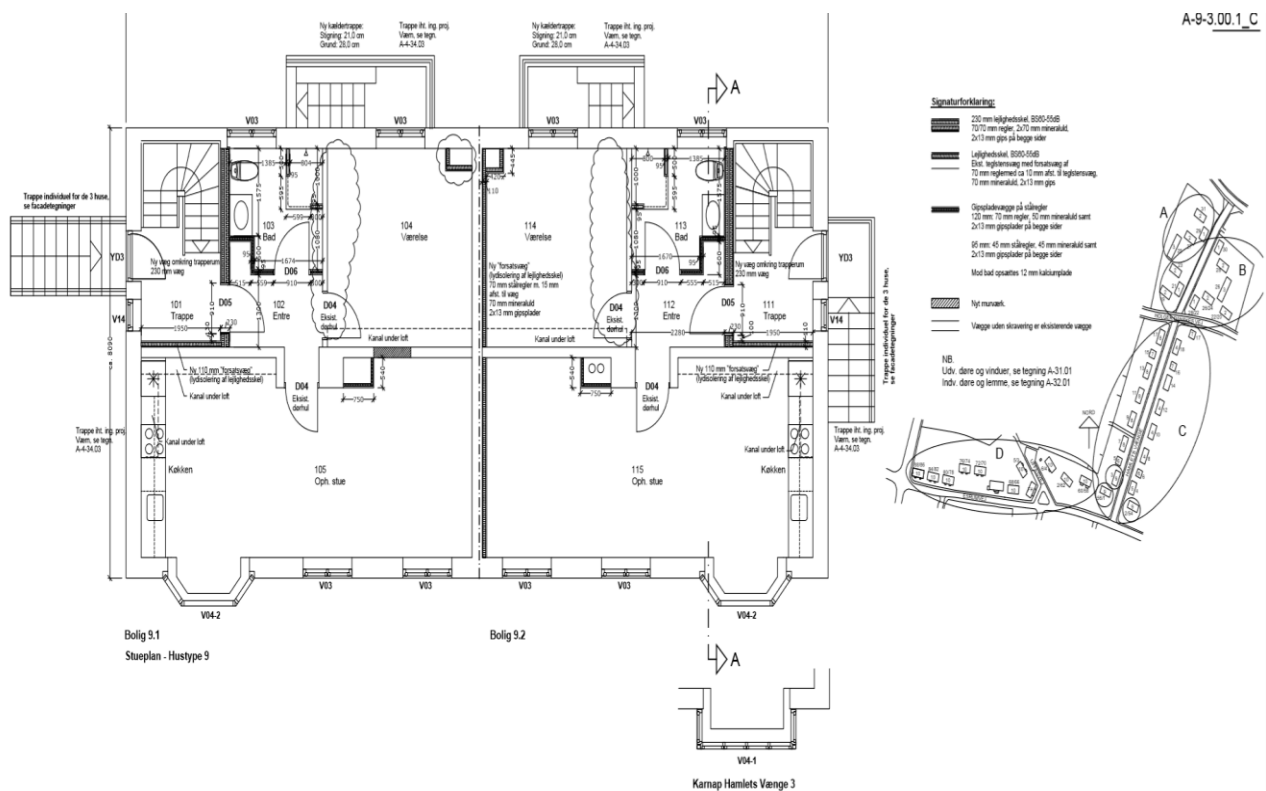
Beregningerne viser at det er nødvendigt at by-passe en mindre andel udeluft for at kunne holde tilluften på 18 °C når udeluften er over 0 °C.



Figur 9 – Illustration af modstrømsveksler fra Exhausto

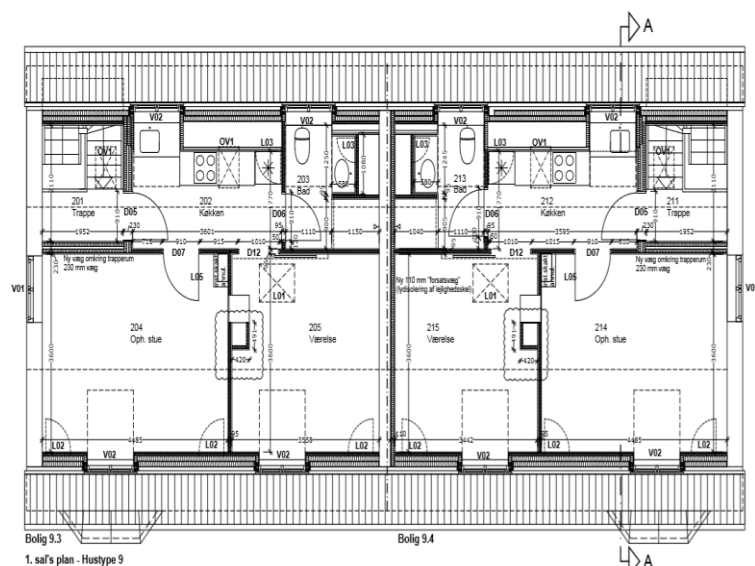


Figur 11 - kælderplan i de 2 boligblokke der foretages beregninger på



Figur 12 - Figur 17 - Viser stueplan i de 2 boligblokke der foretages beregninger på

A-9-3.00.2_A



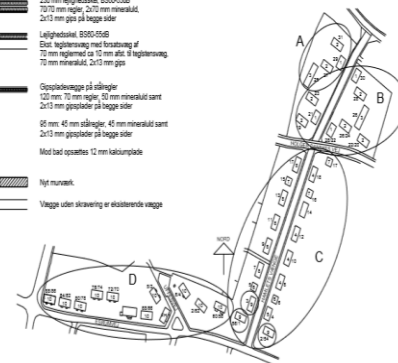
Figur 13 - Viser første sal i de 2 boligblokke der foretages beregninger på

NE.
Udv. døre og vinduer, se tegning A-31.01
Indv. døre og lemme, se tegning A-32.01

Signaturforklaring:

- 200 mm løjghedsul, S950-056
- 100 mm isolering, 2x10 mm mineraluld, 2x10 mm glas på begge sider
- Løjghedsul, S950-056
- Ekst. teglflise med forstribning af 10 mm teglflise på 10 mm glas, 10 mm mineraluld, 2x10 mm glas
- Gipspladevæg på skråninger
- 100 mm 10 mm tegl, 50 mm mineraluld samt 2x10 mm gipsplade på begge sider
- 85 mm 45 mm skråning, 45 mm mineraluld samt 2x10 mm gipsplade på begge sider
- Mod bød opvaskes 12 mm kalkplade

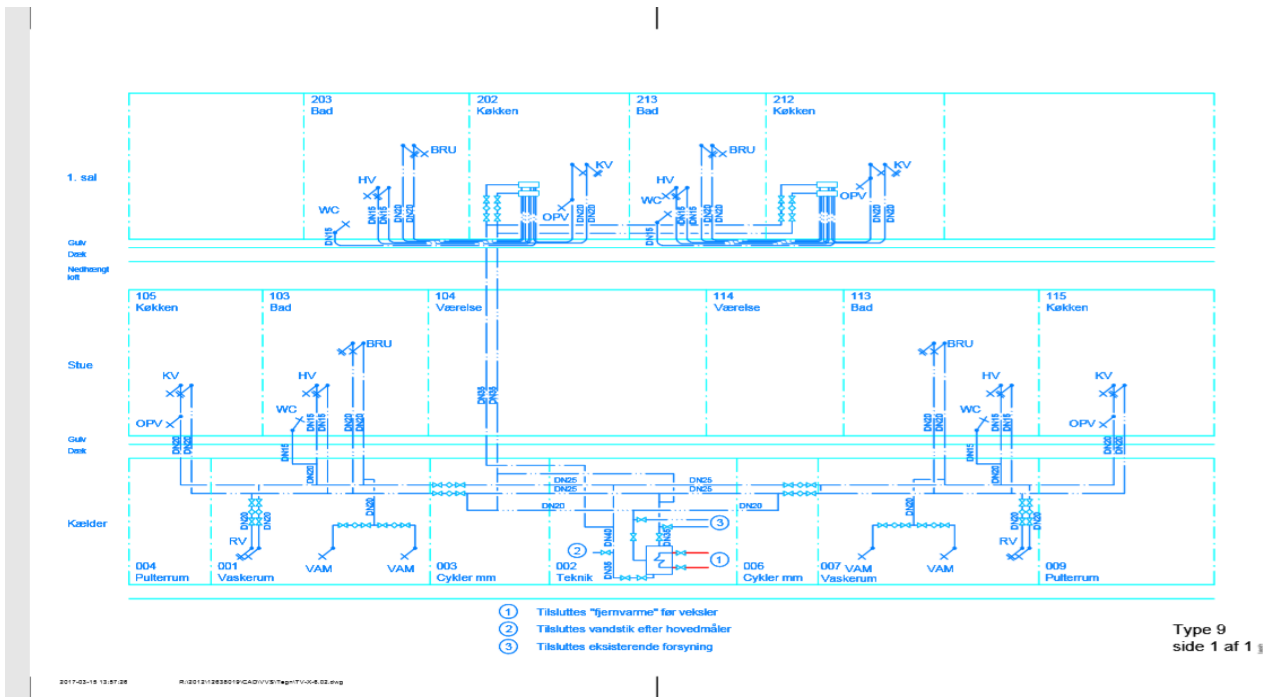
- Nyt mureværk
- Vægge uden skråning er eksisterende vægge



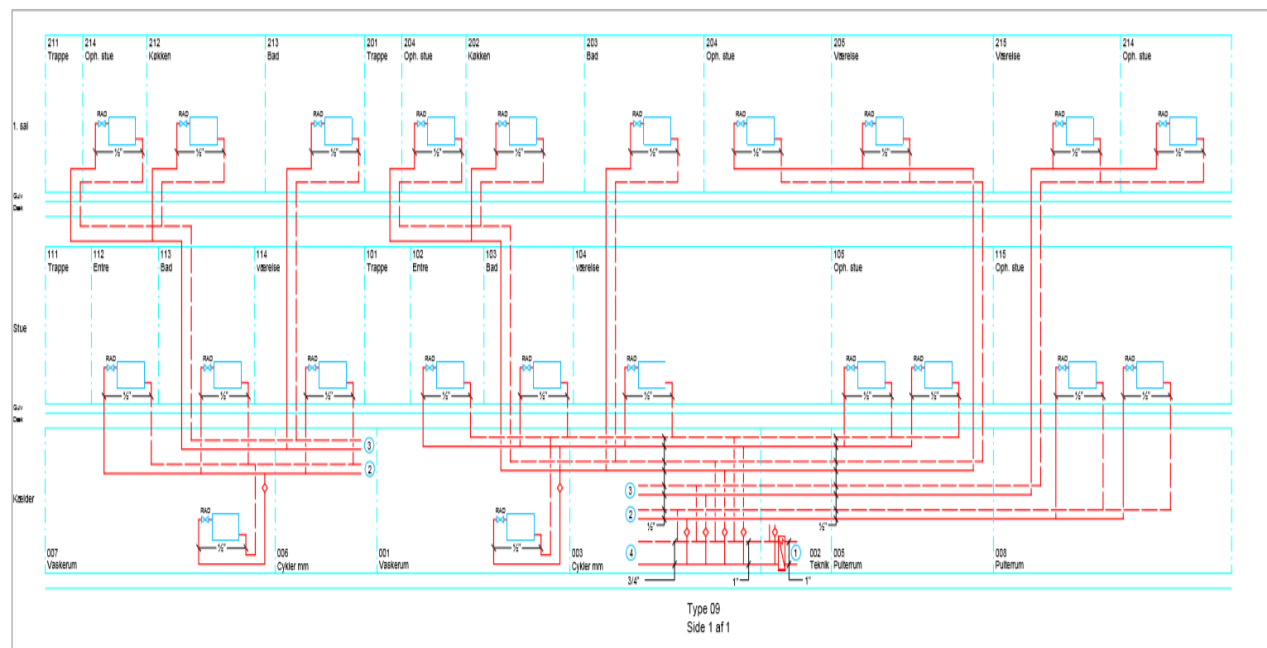
A-9-3.00.2_F



Figur 14 - Viser facader og gavle i Hamlets Vænge 2 og 3



Figur 15 - viser vanddiagrammet i de to blokke der foretages beregninger på



Figur 16 - Varmediagrammet i de to blokke der foretages beregninger på



Tagkonstruktionens flader er isoleret mellem indeklimaet og udeklimaet. Det er ikke fastsat på tegningsmaterialet, men det forventes og beregnes med 150mm mineraluld. Kvistene er nye og isoleret med 200mm mineraluld på tagene. Kvistenes sider, flunker og skunke er isoleret med gennemsnitlig 150mm mineraluld. Hanebåndene er isoleret med yderligere 150mm mineraluld i denne renovering. Der var isoleret med 200mm mineraluld i 1980'erne. Således er isoleringstykkelsen over hanebåndene 350mm mineraluld. Der er forskallet og opsat gipslofter tilbage i 1980'erne. Etageadskillelserne og skillevægge er brand og lydisolerede. Der er nye vinduer overalt i blokkene. Der er skiftet kælderdøre og entredøre.

37

5.1.3 Transmissionskoefficienter

Nedenstående tabel for U-værdier er taget fra henholdsvis designværdier samt beregnede U-værdier. Det er ikke muligt at undersøge konstruktionernes sammensætning uden destruktive indgreb. Det har ikke været muligt at lave disse indgreb. De beregnede U-værdier er beregnet efter kendskab til konstruktionerne. Alle U-værdier samt Ψ -værdier er beregnet og hentet i DS 418.

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

Ligning 12 - Beregning af isolansen

$$\frac{1}{U'} = R_{si} + R_{se} + \sum_{i=1}^n R_i$$

Ligning 13 - Formel til beregning af U-værdi og er fra DS 418⁵¹

Symboler og enheder
U' er den ukorrigerede transmissionskoefficient i W/m ² K
R _{si} er overgangsisolans ved den indvendige overflade i m ² K/W
R _{se} er overgangsisolans ved den udvendige overflade i m ² K/W
R _i er isolans for de enkelte lag i m ² K/W
n er antallet af lag
d er tykkelsen af lag i m
λ er varmeledningsevne i W/mK

Tabel 11 - Symboler og enheder

Der er mulighed for at beregne U-værdien for konstruktioner med kuldebroer samt reduceret isoleringstykkelser i dele af konstruktionen. Disse beregnes ligeledes efter DS 418. I denne opgave bliver alle værdier i forhold til kuldebroer opslåede Ψ -værdier. U-værdierne er beregnet som de forbedrede. De U-værdier der var før renoveringen er beregnet efter samme U-værdier med ændringer. Der er U-værdier som er estimeret i det eksisterende før nuværende renovering.

⁵¹ (Dansk Standard, 2015, s. side 23)

Nedenstående Tabel 12 er foretaget i forhold til de skråvægge som danner klimaskærm, for lejlighederne på første sal. Den fuldstændige konstruktion kendes ikke. Der er ikke umiddelbart sikkerhed for konstruktionen i forhold til tegningerne. Det skyldes at tegningsmaterialet der er tilgængeligt, er optegnet efter forventning om konstruktionens udseende og derfor kun vejledende. Derfor er der i beregningerne foretaget skøn og der er brugt isolans værdier i forhold til DS 418.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 s. 23
Lag 1	Tagsten/forskalling			0,30	DS 418 s. 25
Lag 2	Isolering/spær	0,100	0,050	2,00	Beregnet/skøn
Lag 3	Isolering	0,05	0,040	1,25	Beregnet/skøn
Lag 4	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s. 26
Lag 5	Folie	0,0002	0,17	0,00	Beregnet
Lag 6	Gips	0,026	0,25	0,10	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				3,58	
U-værdi					0,28 W/m²K

Tabel 12 - Beregning af U-værdi for den skrå tagkonstruktion for lejlighederne på 1 sal

Nedenstående ydervæg Tabel 13 er beregnet efter mursten af tegl som har en densitet på $1.800 \frac{kg}{m^3}$.

Varmeledningsevnen er taget efter SBI 224⁵². Der er isoleret med ca. 100 mm mineraluld. Der har været en enkelt mulighed for at inspicere isoleringen. Ved denne inspektion kunne det konstateres, at isoleringen så ud til at være i orden. Varmeledningsevnen sættes til $0,05 \frac{W}{m \cdot K}$ ifølge håndbog fra Icopal⁵³.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 s.23
Lag 1	Teglsten	0,108	0,84	0,13	Beregnet
Lag 2	Isolering	0,100	0,04	2,50	Beregnet
Lag 3	Teglsten	0,108	0,71	0,15	Beregnet
Lag 4	Puds	0,002	0,75	0,00	
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				2,95	
U-værdi					0,33 W/m²K

Tabel 13 - Beregning af U-værdi for ydervægskonstruktionen

⁵² (SBI 224, Erik Brandt m. fl., 2013, s. side 243, tabel 25)

⁵³ (Icopal, 2012, s. tabel 4)

Terrændækket Tabel 14 forventes ifølge tegningerne at være et betondæk støbt på stedet over et slaggelag. Der er brugt varmeledningsevne på $2,2 \frac{W}{m \cdot K}$ for en beton med en densitet på $2400 \frac{kg}{m^3}$ ⁵⁴. Der er regnet med slaggelag på 300 mm med en varmeledningsevne på $0,4 \frac{W}{m \cdot K}$ ⁵⁵.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				2,00	DS 418 s. 37
Lag 1	Slagger	0,3	0,4	0,75	Beregnet
Lag 2	Beton	0,1	2,2	0,045	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s. 23
Σ isolans				2,93	
U-Værdi					0,34 W/m²K

Tabel 14 - Beregning af U-værdi for terrændæk i kælderen

Kælderydervæggen Tabel 15 som beregnes nedenstående, er en 1½ stens mur. Den er massiv og isoleret udvendigt. Det er teglsten med en densitet på $2.000 \frac{kg}{m^3}$. Isoleringen er af ny dato og regnes med en varmeledningsevne på $0,034 \frac{W}{m \cdot K}$.

Væggen er ikke pudset på den indvendige side. Det vides ikke om der er puds mellem isolering og ydervæg udvendigt.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,5	DS 418 s.37
Lag 1	Teglsten	0,35	0,84	0,42	Beregnet
Lag 2	Isolering	0,10	0,034	2,94	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				3,99	
U-værdi					0,25 W/m²K

Tabel 15 - Beregning af U-værdi på kælderydervæg

⁵⁴ (SBI 224, Erik Brandt m. fl., 2013, s. side 243, tabel 25)

⁵⁵ (Icopal, 2012, s. tabel 4)

Loftkonstruktionen Tabel 16 er beregnet med isolering på 300 mm. Der er spredt forskalling afsluttet med dampspærre og to lag gips.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentar
R _{se}				0,04	DS 418 s.23
Lag 1	Tagsten mv.			0,30	DS 418 s.25
Lag 2	Isolering/hanebånd	0,10	0,050	2,00	Beregnet/skøn
Lag 3	Isolering	0,20	0,040	5,26	Beregnet/skøn
Lag 4	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s.26
Lag 5	Folie	0,0002	0,17	0,00	Beregnet
Lag 6	Gips	0,026	0,25	0,10	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				7,95	
U-værdi					0,13 W/m²K

Tabel 16 - Beregning af U-værdi på loftskonstruktionen

Kvisttagene Tabel 17 består af zinkafslutning med stående fals. Der er 200 mm isolering og forventet en spredt forskalling som er påført dampspærre og afsluttet med 2 lag gips.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 s.23
Lag 1	Tag mv.			0,10	DS 418 s.25
Lag 2	Isolering	0,2	0,038	5,26	Beregnet
Lag 3	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s.26
Lag 4	Folie	0,0002	0,17	0,00	Beregnet
Lag 5	Gips	0,026	0,25	0,10	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				5,79	
U-værdi					0,17 W/m²K

Tabel 17 - Beregning af U-værdi for kvisttaget på kvistene

Kviste og skunke Tabel 18 er opbygget med forskalling som afsluttes med flunker i zink. Der er indvendigt forskallet og afsluttet med gips.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 s.23
Lag 1	Flunker/forskalling			0,10	DS 418 s.25
Lag 2	Isolering	0,15	0,040	3,75	Beregnet
Lag 3	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s.26
Lag 4	Folie	0,0002	0,17	0,00	Beregnet
Lag 5	Gips	0,026	0,25	0,10	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				4,28	
U-værdi					0,23 W/m²K

Tabel 18 - Beregning af U-værdi på kviste – skunke

Tage på karnapperne Tabel 19 er opbygget med forskalling som afsluttes med færdigt tag af zink. Der er isoleret med 100 mm isolering. Der er afsluttet inde med forskalling og gips.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 s.23
Lag 1	Tag mv.			0,30	DS 418 s.25
Lag 2	Isolering	0,1	0,038	2,63	Beregnet
Lag 3	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s.26
Lag 4	Folie	0,0002	0,17	0,00	Beregnet
Lag 5	Gips	0,026	0,25	0,10	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				3,36	
U-værdi					0,30 W/m²K

Tabel 19 - Beregning af U-værdi for tagene på karnapperne

Karnapfacaden Tabel 20 er opbygget som facade af tegl med 50 mm isolering. Der er afsat varmeledningsevne efter SBI 224. Indvendigt er der afsluttet med forskalling og beklædning.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				0,04	DS 418 c.23
Lag 1	Teglsten	0,35	0,84	0,42	Beregnet
Lag 2	Isolering	0,05	0,038	1,32	Beregnet
Lag 3	Spredt forskalling			0,16	DS 418 s.26
Lag 4	Beklædning	0,021	0,25	0,084	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ isolans				2,07	
U-værdi					0,48 W/m²K

Tabel 20 - Beregning af U-værdi for facaderne på karnapperne

Karnapper under terræn Tabel 21 er beregnet med to gange teglsten og udvendig 100mm isolering. Der bruges materiale med samme varmeledningsevne for mursten som de eksisterende facader.

Lag	Materiale	d (m)	λ W/mK	R m ² K/W	Kommentarer
R _{se}				1,5	DS 418 s.37
Lag 1	Isolering	0,10	0,034	2,94	Beregnet
Lag 2	Teglsten	0,35	0,84	0,42	Beregnet
Lag 3	Jord			1,5	DS 418 s.37
Lag 4	Teglsten	0,35	0,84	0,42	Beregnet
R _{si}				0,13	DS 418 s.23
Σ R				6,91	
U-værdi					0,15 W/m²K

Tabel 21 - Beregning af U-værdi for facaden til karnapperne under terræn

De beregninger og skøn der er foretaget på U-værdier, er inklusive bindere spaltekorrektioner for isolering mv. Alt forskalling er beregnet som spredt forskalling med isolans efter DS 418⁵⁶. Der er i U-værdier med træ og isolering indregnet og skønnet fælles U-værdi. Denne U-værdi er baseret på en U-værdi for isolering og en U-værdi for træ og isolering. Der er i nogle konstruktionsforhold foretaget skøn, da der ikke er et fuldkomment billede af den faktiske konstruktion. Der er i renoveringen foretaget løbende ændringer på grund af begrænset økonomi. Samtidigt er det som tidligere beskrevet eksisterende tegningsmateriale, ikke fuldstændigt verificeret med de faktiske forhold.

⁵⁶ (Dansk Standard, 2015, s. side 26)

Sammenligning	BR10	BR18	Faktisk U-værdi	Eksisterende U-værdi	Beregnet (B) / ikke beregnet (IB)
Bygningsdel	Krav til U-værdier	Krav til U-værdier	U-værdier forbedrede	U-værdier før renovering	Version A
Ydervægge	0,30	0,30	0,33	0,33	(B)
Skrå ydervægge	0,20	0,20	0,28	0,28	(B)
Kældervægge	0,30	0,30	0,25	0,95	(B)
Terrændæk	0,20	0,20	0,34	0,34	(B)
Tag/loft	0,20	0,20	0,13	0,20	(B)
Kvist lofter	0,20	0,20	0,17	0,30	(B)
Kviste/flunker/skunk	0,30	0,30	0,23	0,30	(B)
Karnapper/tag	0,20	0,20	0,30	0,30	(B)
Karnapper/facade	0,30	0,30	0,48	0,48	(IB)
Karnapper under terræn	----	----	0,15	0,15	----
Vinduer	1,80	1,80	0,80	----	(IB)
Døre	1,80	1,50	0,80	----	(IB)
Bygningsdel	Krav til linjetab	Krav til linjetab	Faktiske linjetab	----	----
Fundamenter omkring rum der opvarmes til mindst 5°C	0,20	0,40	0,20	----	(IB)
Vinduer og døre mod ydervæg	0,06	0,06	0,06	----	(IB)
Vinduer og døre mod fundament	0,06	0,06	----	----	(IB)

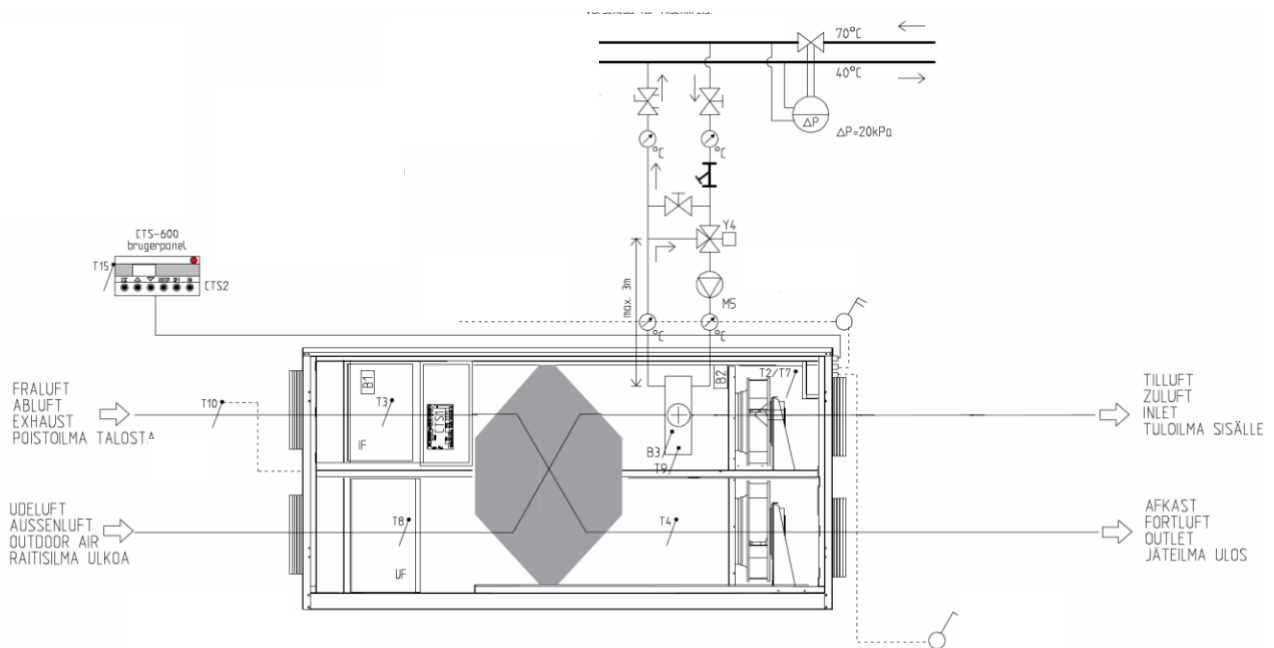
Tabel 22 - Sammenligning mellem krav til transmissionskoefficienter, BR10 og BR18 samt faktiske forhold

Tabel 22 viser de forskellige U-værdier. Det er både beregnede efter renoveringen, samt før renoveringen. Der er sammenlignet med BR10 og BR18.

5.2 Tekniske installationer

5.2.1 Ventilation

Der er i område C opsat mekanisk balanceret ventilation. Der er forskellige aggregater som er afstemt med antal lejemål. Aggregaterne i de to blokke der regnes på er type Nilan Comfort 1200 med vandvarmeblade.



Figur 18 - Nilan Comfort 1200

Anlægsopbygningen er med elektromotorerne integreret i flowstrømmen i aggregatet. Det betyder, at det meste af den afgivne varme fra elektromotorerne overføres til luftstrømmen i kanalerne.

Der er anlægstyper til henholdsvis 1, 2, 3 og 4 lejemål. Det er i område C nye mekanisk balancerede ventilationsanlæg og område A og D mekaniske udsugningsanlæg.

I område B er der ældre mekaniske udsugningsanlæg som er decentrale. Der er nye kanalsystemer i alle nye anlæg. Der er fælles aggregater som er forsynet med en modstrømsveksling mellem fraluft og udeluft i område C. Der er mulighed for at løfte temperaturen yderligere med en varmeveksler som forsynes med centralvarme. I alle andre områder end område C er der ikke nogen form for varmegenvinding. Her tilføres tilluften uden opvarmning. Det kan derfor muligvis påvirke indeklimaet i form af træk. Der har udelukkende været individuel mekanisk udsugning før denne renovering.

5.2.2 Luftkvalitet, Indregulering, ventilationsrate

Der er i Hamlets Vænges område C foretaget indreguleringer af de mekanisk balancerede ventilationsanlæg. Første indregulering er foretaget af den vvs-installatør, der har udført alt vvs-arbejde og dermed også ventilation. Da mange af målingerne viste beskedende afvigelser, satte bygherren Boliggården en anden ventilationstekniker til at måle hovedluftmængderne. Der er ligeledes af rapportens forfattere foretaget målinger af hovedluftmængderne. Målinger i Tabel 23 er foretaget i Hamlets Vænge 3 samt Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54.

Adresse.	Udførende VVS - installatør		Ventilationsfirmaet udpeget af Boliggården		Egne målinger Patrick/Henrik	
Hamlets Vænge 2 Esrumsvej 54	Fraluft	586 m ³ /h	Fraluft	490 m ³ /h	Fraluft	360 m ³ /h
	Tilluft	572 m ³ /h	Tilluft	110 m ³ /h	Tilluft	198 m ³ /h
Hamlets Vænge 3	Fraluft	587 m ³ /h	Fraluft	450 m ³ /h	Fraluft	418 m ³ /h
	Tilluft	580 m ³ /h	Tilluft	145 m ³ /h	Tilluft	163 m ³ /h

Tabel 23 - Måling af hovedluftmængder i 3 anlæg

Luftkvalitet omhandler også lugte og anden forurening. Nedenstående Figur 19 viser udeluftindtag og afkast over tag. Udeluftindtaget er sat meget lavt og kan derfor være årsag til forureninger med f.eks. lugte fra grill mv. Der er også en risiko for at partikler generelt nemt hvirvles op omkring udeluftindtaget og hurtigt tilstopper filtrene i aggregatet.



Figur 19 - Den generelle placering af friskluftindtag og afkast til de mekanisk balancerede ventilationsanlæg

Placering af udeluftindtaget er stort set den samme i alle de mekanisk balancerede ventilationsanlæg. Det har igennem renoveringen givet problemer med meget hyppig udskiftning af filtre i aggregaterne.

5.2.3 Teknisk overvågning

Der er for ventilationsaggregaterne styring på hovedniveau i forhold til fraluftregulering. Således kan luftmængden tilrettes afhængigt af behovet. Der er derimod ingen tryktransmitter til overvågning af tilluftmængderne. Der er ved kontrol af renoveringsarbejdet konstateret at nogle beboere sætter klude eller tape i indblæsningsventilerne. Det betyder at der flyttes større luftmængder til de andre lejemål som er tilknyttet det centrale ventilationsaggregat. Der er kun central overvågning af filteralarmer. Der er ikke for nuværende tidspunkt alarmer der tilgår driftspersonalet. Således skal de ud fysisk på stedet, for at konstatere, om der er fejl på systemerne.

5.2.4 Drift og Vedligehold

Når der installeres forskellige former for ventilationsanlæg, skal de vedligeholdes for at yde samme kvalitet over tid. Der er mange forskellige former for vedligehold. Det kan være en fordel at få service og vedligeholdelseskontrakter fra professionelle ventilationsfirmaer. Der er, og har været, certificeringsordninger som f.eks. Vent Ordningen som kontrolleres af teknologisk Institut⁵⁷.

Vent Ordningen er en selvstændig ordning med certificerede firmaer og personale. Der er specialuddannelse tilknyttet ordningen⁵⁸. Der foretages forskellige målinger og opgraderinger ved et servicebesøg fra et certificeret Vent Ordningssfirma. Der bliver udført en nøglefærdig servicereport som fremhæver de forhold som er målt og vurderet. Det er typisk forhold som:

• Gennemgang for fejl og mangler.
• Vurdering af målte luftmængder på stedet, da disse har indflydelse på indeklimaet
• Driftsforhold som resulterer i en uøkonomisk drift og dermed en forøget CO ₂ udledning
• Eftersyn af forhold som brandsikring og frostsikring som kan have fortale skadelig virkning ved svigt

Tabel 24 - Forskellige afprøvninger i Vent Ordningen⁵⁹

Ovenstående er blot nogle forhold der fastsættes i Vent Ordningen. Der er kvalitetskontroller samt faktiske kontroller af de udførte servicekontrakter. Det betyder at en boligafdeling som Hamlets Vænge kan få driftet og vedligeholdt ventilationsanlæg, på en god måde ved at have et professionelt certificeret firma til drift og vedligehold af alle ventilationsanlæg.

Der stilles krav til drifts- og vedligeholdelsesforhold i BR18.

Der henvises til DS 447. Der skal foretages vedligehold på ventilationsanlæggene så de kan driftes uden problemer for hygiejne samt teknik.

Ventilationsanlæggene skal overholde BR18 paragrafferne 421 – 449⁶⁰.

⁵⁷ (Teknologisk Institut. Kontrolordninger-Oversigt., u.d., s. <https://www.teknologisk.dk/ydelser/kontrolordninger-oversigt/22964?cms.query=Vent+ordningen>)

⁵⁸ (Vent Ordningen, s. <https://vent.dk/om-vent-ordningen/>)

⁵⁹ (Vent Ordningen, s. <https://vent.dk/om-vent-service/>)

⁶⁰ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. Paragraf 451-452)

5.2.5 Varmecentraler

Der er i alt ti varmecentraler i Hamlets Vænge. Seks af varmecentralerne i område B sidder i hver sin blok og forsyner denne boligblok alene. Der er derfor kun mindre tab i distributionen af varme og varmt vand. De sidste 4 varmecentraler forsyner en del boligblokke. Der er derfor en del jordledninger mellem blokkene.

De 9 af varmecentralerne er opvarmet med naturgas, mens den sidste er fjernvarmeopvarmet. Varmecentralerne har gamle gaskedler. Der er flest atmosfæriske kedler, men der er også en kedel med tilknyttet gasblæseluft brænder. Der må forventes økonomiske udfordringer med varmecentralerne inden for en kortere tidshorisont. Styringerne i varmecentralerne er ligeledes gamle. Det behøver ikke at have betydning, hvis der er styr på varmekurverne i driften. Fordi der er central varmtvandsforsyning med egne jordledninger, kan systemerne drives med forskellige temperaturer. Varmtvandsinstallationerne skal holdes på minimum 50 °C overalt. Det fordrer at temperaturen i varmtvandsbeholderen er 55 °C. De 50 °C skyldes udfordringer med legionella i varmtvandsinstallationer. Dette emne beskrives yderligere under punktet om varmtvandsinstallation. Med separate ledninger mellem varmtvand og varme er der mulighed for at styre varmeanlæggene med en balanceret fremløbstemperatur efter udetemperaturen. Det er dog i område A, C og D stadig 4 rør af en vis størrelse som forsyner boligblokkene. Så samlet set er der formodentligt et forholdsvis stort tab i hele distributionssystemet.

5.2.6 Interne varmekredsløb

De interne varmekredse i det renoverede område C er nye. Der er i disse boligblokke en selvstændig varmekreds i hver boligblok. Denne afmåles med selvstændig energimåler som på Figur 20.



Figur 20 - De nye varmeinstallationer til fire lejermål på Hamlets Vænge 3 samt Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54

Med denne sammensætning af varmeinstallationerne kan den enkelte beboer holde øje med deres varmeforbrug afmålt i kWh. Der er derudover gjort klar til drift med fjernvarme i den enkelte blok.

Således er der blokvis i fremtiden mulighed for intern varme og varmtvandsforsyning. De interne installationer er for nuværende tilsluttet det eksisterende ældre anlæg. Der er derfor ikke intern styring i de enkelte blokke.

For at kunne bruge installationerne som de er bygget, skal der fjernvarme til at dække forbruget i hver boligblok i område C.

Radiatorerne beregnes efter en varmetabsberegning.

Der er foretaget en varmetabsberegning som vi forudsætter er beregnet efter naturlig ventilation.

I områderne A, B og D er der kun sporadisk foretaget udskiftninger i varmeinstallationerne. Der er derfor stadig fællesinstallationer i disse områder. Således er varmekonsumet afmålt på radiatorplan med varmefordelingsmåling.

5.2.7 Indregulering og energimængde

Der er indreguleret i hver varmekreds. Der indreguleres vandmængder afhængigt af radiatorens effekt. Da varmetabsberegningen er foretaget efter minus 12 °C ude og plus 20 °C inde er det den maksimale vandmængde der beregnes. Radiatoren er beregnet med et forventet temperatursæt på 70 / 40 °C.

$$m = \frac{Q}{c * \Delta T}$$

Ligning 14 - Beregning af vandmængde

For at indregulere en radiator på 1000 W

$$m = \frac{1000}{4180 * (70 - 40)} * 3600 \frac{s}{t} = 28,7 \frac{kg}{t}$$

Hos den individuelle beboer i område C, kan energimængden i kWh regnes efter formlen i Ligning 15:

$$E = m * c * \Delta T * t$$

Ligning 15 - Beregning af energi

Hvor stor energimængde skal beboeren afregnes for ved en gennemsnitseffekt på 500 W over et døgn.

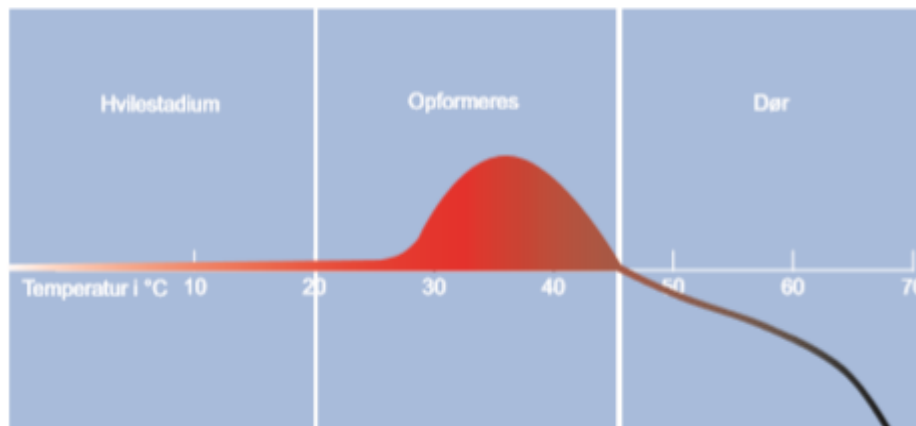
$$E = 500W * 24t = 12kWh$$

Symboler og enheder
Q er effekten i W
E er energimængden i kWh
m er Massen af det cirkulerende vand i m ³ /s
c er varmekapaciteten i J/(kg*K)
ΔT er Temperaturforskellen mellem frem og retur
t er tiden i sekunder

Tabel 25 - Symboler og enheder

5.2.8 Varmtvandsinstallationer, Temperaturer, Legionella.

Der er i varmtvandssystemet i Hamlets Vænge meget lange strækninger, på de installationer som er tilknyttet de 4 store varmecentraler. Da de har et opland på mellem 7 og 12 blokke, ligger der mange meter rør gennem blokkene og i jorden. Da der er en fælles varmtvandsbeholder i hver af de 4 varmecentraler, er der en øget risiko for udsving i temperaturerne. Det er væsentligt at temperaturen i varmtvandssystemet altid er minimum 50 °C for at minimere legionallavækst. Samtidigt skal der holdes en temperatur som ikke ligger væsentligt over 55 °C da det medfører en større kalkudfældning.



Legionella har optimum ved 32-37°C, men replicerer sig fra 25°C.

Legionella er fundet i vand med temperaturer på mellem 6°C og 63°C.

Figur 21 - Vækstpotentialitet i forhold til legionella ⁶¹

<i>Legionella</i> (CFU/Liter)	Reaktionsgrænser for <i>Legionella</i>
10 - < 1.000	Lavt niveau men det indikerer at vækst kan ske i systemet.
1.000 - < 10.000	Lavt til moderat højt niveau. Muligheden for forbedring af anlægget bør overvejes såsom højere temperatur eller fjernelse af døde ender.
10.000 - < 100.000	Relativt højt niveau. Forbedringer og eller desinfektion bør overvejes. Tilstanden følges.
≥ 100.000	Meget højt niveau. Anlægget bør gennemgås og forbedres.

Tabel 26 - Viser værdier for Legionella grænser ⁶²

⁶¹ (Guldager A/S, 2010, s. Side 30)

⁶² (Guldager A/S, 2010, s. side 24)

Da varmtvandsinstallationerne har meget lange rørstrækninger uden egentlige temperaturmålinger og kun meget ringe indreguleringsmulighed, opdages det ikke nødvendigvis hvis der er temperaturer som ligger i legionella optimum eller tæt derpå. Temperaturen og målinger for legionella er vigtige for at holde antallet af legionellabakterier lavt i varmtvandsinstallationen. Det skal bemærkes at der er grænser for legionellaværdier. Værdierne kan aflæses på Tabel 26. Der skal tilstræbes at holde lave værdier. Der er nye vandinstallationer i hver blok i område C. Område A, B og D har ikke fået skiftet varmtvandsinstallationer, men sporadiske udskiftninger. Der er i område B egen forsyning korte rørstrækninger for varmtvandsinstallationerne.

I Boliggården generelt, og i Hamlets Vænge, har vi meget blandet aldersgrupper og er derfor opmærksom omkring legionellaudfordringer. Det er derfor vigtigt at der kan måles temperaturer i varmtvandsinstallationen løbende. Det er især vigtigt når der er så store varmtvandssystemer som der er i Hamlets Vænge. I Boliggården ses legionellaudfordring som en del af indeklimaet.

5.2.9 Fjernvarme vs. Naturgas

Der er som tidligere beskrevet en del varmecentraler som drives med naturgas som brændsel og en enkelt som drives med fjernvarme. Den fjernvarmeopvarmede varmecentral er opført tilbage i 1980'erne. De naturgas opvarmede varmecentraler er også af væsentlig ældre dato. Så der vil komme nogle væsentlige udfordringer af økonomisk karakter i fremtiden. Der er i afdelingen foretaget nogle overvejelser i forhold til Fjernvarme. Således har afdelingen sat et ingeniørfirma på denne opgave. Her har ingeniørfirmaet estimeret et forventet årligt jordledningstab på ca. DKK 65.000,-.

Tages jordledningerne i betragtning, i forhold til kommende reparationer eller udskiftning, vil der forventeligt være store udgifter i fremtiden. Skal der sikres en afstemt forventning om restlevetid på jordledningerne skal der partielt graves op og skæres ud af ledningerne for en kontrol af godstykkelser og skader.

I forhold til den primære forsyning i afdelingen kan det etableres med de nuværende gasopvarmede varmecentraler eller ved etablering af fjernvarme i hver boligblok.

Den lokale forsyning har til afdelingen anvist et koncept kaldet NEM fjernvarme. Dette koncept udmunder i en kontrakt. Hvis Hamlets Vænge indgår en sådan kontrakt bliver alle stik til boligblokkene og alle varmecentralerne i boligblokkene udført uden anden bekostning end det årlige kontraktbeløb. Det betyder en anseelig besparelse i forhold til etablering og betaling af varmecentraler i afdelingen. Ved denne kontraktkonstruktion får lejerne som beskrevet en årlig udgift og derudover betales der naturligvis for varmeenergiforbruget. Med i kontrakten er vedligehold af de installationer som tilhører fjernvarmen. Umiddelbart kan der forudses fordele ved NEM fjernvarme i forhold til at Hamlets Vænge selv skulle betale stikledninger og tilslutninger i hver blok. Ved NEM fjernvarme vedligeholder og drifter forsyningen primærsiden og den af forsyningen leverede fjernvarmeunit.

Der er mulighed for at få fjernvarme i området, selvom der er naturgas i nogle varmecentraler for nuværende.

I område C er der helt nye varmecentraler i hver blok som ikke er i drift. Da der samtidigt er en varme og varmtvandsforsyning gennem boligblokkene og gennem jorden kan der overvejes en strategisk ændring af den teknisk infrastruktur. Det ville være muligt at bruge de to varmecentraler der er i område C som "fjernvarmecentraler". Dette kunne etableres ved, at varmtvandssystemet blev fuldstændigt frakoblet, og varmesystemet forsynede boligblokkenes interne varmecentraler. Ved denne konstruktion ville blokkenes

nye varmecentralers komponenter kunne bruges. Der forventes at være effekt nok i det eksisterende jordledningsnet til at udføre denne ændring. Det forventes, at tabet i det nuværende varmtvandssystem elimineres. Ligeledes er der forventelige kommende omkostninger i reparationer eller udskiftninger som ikke skal realiseres. Det vil i område C, ved en infrastrukturel ændring af varmtvandsinstallationen nedsætte risici i forhold til legionellaproblematikken.

5.2.10 Eksisterende jordledninger, varme og varmtvand

Som det ses af Figur 22 er der 2 varmeledninger som hovedledninger til blokkene, samt 2 varmtvandsledninger. De kommer fra jorden i den ene ende af boligblokken og går ud i jorden i den anden ende af boligblokken. De tekniske installationer internt i blokkene er forbundet for nuværende på hovedledningerne. Som nedenstående billede viser er der en vis alder i de eksisterende installationer mellem bygningerne i jorden, og gennem boligblokkene. Der må på grund af de gamle installationer være en formodning om et varmetab i jorden af en vis størrelse. Da installationerne er gamle, må der i fremtiden forventes en del reparationer og udskiftninger.



Figur 22 - Distributionsledninger mellem boligblokkene i jorden og igennem boligblokkene

Installationernes alder kendes ikke umiddelbart. Der ses enkelte steder manchetter i jordledningernes indføring til bygningen. Så enkelte steder kan der være skiftet nogle meter af jordledningerne. Men generelt kendes alderen ikke, og derfor må det forventes at der kommer dyre reparationer med tiden. Disse reparationer skal sammen med jordledningstabt danne økonomisk ramme for overgang til ekstern fjernvarme i alle blokkene.

5.3 Strategisk styring Hamlets Vænge

5.3.1 Installationsstyring og rådgivning

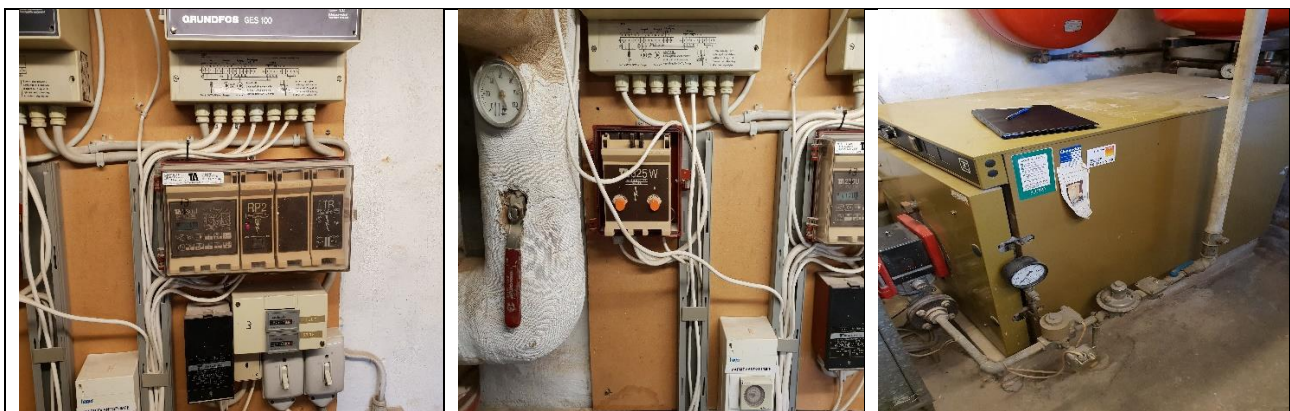
I forhold til strategisk styring, opfatter vi det som et begreb for hvordan forholdene til energiledelse, energistyring og energirådgivning gøres smartere. Og ikke mindst hvordan den tekniske infrastruktur styres. Der er ikke umiddelbart nogle tekniske forhold i Hamlets Vænge som er overvåget og styret centralt. Der er derfor ikke nogen egentlig energiledelse på nuværende tidspunkt.

Der er i Boliggården ved at blive indført energistyring. For nuværende er der et stort pilotprojekt i gang på Boliggårdens afdeling Vapnagaard med 16 hovedvarmecentraler og 57 undercentraler. Her er der foreløbigt gode resultater.

Med energistyring i boliger, er der mulighed for at registrere forbrugende omkring fælles el, vand og varme. Med energistyring kan der beregnes forhold som periodisk afkøling i f.eks. fjernvarme installationer. Registreringerne kan graddagekorrigeres og sammenlignes med de budgetter der er for fælles el, vand og varme. Således kan der sættes ind meget hurtigt hvis der er afvigelser i forbruget.

Energistyring kan være meget effektivt styringsværktøj til at observere fejl hurtigt. Når der sættes energiledelse sammen med energistyring, bliver der synergi i forhold til at rette disse fejl. Ved graddagekorrigerede årsforbrug kan der foretages sammenligninger med f.eks. energibehovsberegninger i Be18 eller energimærket for bygningen. Denne sammenligning kan give en indikator om der er steder der skal energiforbedres i ejendommen.

Dette arbejde med energistyring kunne forholdsvis enkelt overføres til afdeling 10 Hamlets Vænge. Således ville der være en kontrol af fælles el, varme og varmtvand i afdelingen. Fælles kontrol af varme og varmtvand er altid hele forbruget inden det deles ud på lejeniveau. Derimod er fælles elforbrug kun til forhold som varmecentraler fælles belysning mv. Der vil ud over energistyring, være en styrkelse af de tekniske installationers drift, hvis der ligeledes var løbende tekniske gennemgange af installationerne. De nuværende varmecentraler har som før beskrevet en alder hvor udskiftning kan være nødvendigt. Den tekniske regulering er for en del af varmecentralerne vejrkompenseringsanlæg som har hvis alder som det ses i Figur 23.



Figur 23 - varmecentral med en gammel Tasso kedel med gasblæseluftbrænder og en gammel TA styring

Hvis der ikke er fejl i vejrkompenseringsanlægget, er det ikke nødvendigvis dårligt fordi det er gammelt. Der er dog ingen mulighed for at centraliserer styringen fra driftspersonalets kontor. Det sætter store krav til driftspersonalet at styre anlæggene decentralt da det kræver speciel uddannelse. Der er med nye løsninger i dag mulighed for at styre forholdene på samme måde som for få år tilbage krævede CTS anlæg. CTS er et udtryk for en tidligere måde at have Central Tilstands Kontrol og Styring. Fra et CTS anlæg, kan ejendommen overvåge driften og sammen med energistyring, sætte ind hvis der opstod fejl. I dag kan de nye løsninger med vejrkompenseringsanlæg det samme. Der er muligheder for udbygning således ny overvågning kan implementeres løbende. Samtidigt giver de nye løsninger mulighed for at der styre anlæggene centralt fra et driftskontor.

Der kan i forhold til styring af Hamlets Vænges tekniske infrastruktur overvejes om det skal ske sammen med de to andre afdelinger driften passer. Således vil der være en god effekt ved at driften kan se og styre alle installationerne i driftens opland.

5.3.2 Styring af ventilation

Generelt i en afdeling som Hamlets Vænge kunne det være interessant at påvirke lovgivningen. I Bygningsreglementet er der klarhed over luftmængder i en given bygning eller lejlighed. Der kunne værre styringsværktøjer som f.eks. IC-meter som via CO₂ og relativ luftfugtighed kunne nedsætte luftmængderne når der ikke er så stort ventilationsbehov. Afvigelser fra BR krav skal ansøges gennem kommunen.

Det ville være forholdsvis enkelt at kunne sætte spjæld op til værelser ved tilluft samt bad og køkken ved fraluft og lade ventilatorerne være trykstyrede. Spjældene kunne styres af IC-Meter efter parametre som CO₂, RF og temperatur. Efterhånden som spjældene lukker i tilluften og fraluften, kan ventilatorerne justeres op og ned. Således kommer der en naturlig besparelse på elforbruget. Det er selvfølgelig ikke helt i tråd med DS 3033 i forhold til indeklimaet.

Der kan være parametre som CO₂- og RF-niveau som sætter ventilationsraten i vejret. Men hvis kravet fra BR18 er at luftskiftet på $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ er det rigtigste, sættes der ikke spørgsmål til styringen af anlæggene.

5.3.3 Styring af varmeanlæg

Der er som beskrevet mulighed for at styre en given fremløbstemperatur ud fra en udetemperatur i et vejrkompenseringsanlæg. Der kan i et lejemål opsættes systemer som styre den enkelte radiator. Dette kan f.eks. være Danfoss Link System som i Figur 24.



Figur 24 - Billede af Danfoss Link System, med styring af den enkelte radiator

Der er mulighed for at sætte et panel op i lejemålet som kan kodes og styre den enkelte radiator. Det kunne være forholdsvis fornuftigt i Hamlets Vænge med de eksisterende systemer. Der vil dog hvis der kommer fjernvarme i hver blok være mindre behov. Her er varmeanlæggene og varmtvandsforsyningen helt adskilt. Tilsluttes Hamlets Vænge til fjernvarme, vil det være normalt at der styres efter en central varmekurve. Det fratager dog ikke beboeren muligheden for at zonestyre sit lejemål.

Der er nogle udfordringer med forskelle af zoner mellem lejemål. Hvis f.eks. temperaturforskellen bliver markant forskellige mellem to tilstødende lejemål, vil der være tab fra den gode forbruger til den knap så gode forbruger.

5.3.4 Styring af varmtvandsinstallationer

Varmtvandsinstallationer med varmtvandscirkulation skal styre så ledningstabet bliver så lille som muligt. Så der skal foretages en effektiv indregulering og en pumpe regulering som er afpasset til vandmængden. Det kan gøres med variabel vandmængde med termostatisk styrede ventiler som f.eks. Circon ventiler som i Figur 25.



Figur 25 - Circon ventil

Circon ventilen kan stilles på en given temperatur f.eks. 50 °C. Den vil så altid sikre 50 °C på varmtvandsinstallationen. Det betyder at den kan lukke ved lidt over 50 °C. Ventilen sørger for en variabel vandmængde.

Da systemet med en Circon ventil eller lignende ventil holdes på 50 °C er der ikke problemer med legionellabakterier i varmtvandsinstallationen.

6 Forbrug, varme og varmtvand

6.1 Forbrug, varme og varmtvand i område A, B, C

De sidste beboere er først flyttet ind den 1. maj 2018 i område C. Der er således kun mulighed for at se på et års faktisk forbrug i forhold til renoveringen. Regnskabsperioden ligger fra 1. maj 2018 til 30 april 2019. Da der stadig renoveres i område D koncentrerer rapporten sig kun om område A, B og C i forhold til varmemeforbrug. I område A er renoveringen væsentlig beskeden i forhold til område C. Det er derfor muligt at se, om der er forskel i forbruget i område C i forhold til område A og område B. Der ses på det totale varmemeforbrug. Varmtvandsforbruget og tab samt fælles varme er medregnet i forbruget vist i Tabel 27. I område C er der to centrale varmecentraler, med varmeinstallationer og varmtvandsinstallationer gennem boligblokkene og under jorden imellem blokkene. Område C afregnes efter energimålere på varmeinstallationerne og efter vandmålere på både koldvands, og varmtvandsinstallationerne.

Område	Målnummer/adresse Målerstand 30.4.2018	Målnummer/adresse Målerstand 6.5.2019	
Område C, Vest [m ³]	736.636	781.726	
Område C, Øst [m ³]	70.747	103.086	
Område A [m ³]	98.988	Gas	Olie
		113.411	22

Tabel 27 - Varme og varmtvandsafregning i område A og C

Forbruget for gasmålerne er specificeret nærmere i resultatafsnittet.

6.2 Varmeforbrug i område B

I område B sammenlignes der med område A og C inden for regnskabsperioden 1. maj 2018 til den 30. april 2019. I område B er der en mindre fælles varmecentral i hver boligblok. Der er derfor ikke tab i rørinstallationer i jorden som der er i område A og C. Der afregnes i område B efter varmemefordelingsprincippet. Det betyder at der afregnes efter varmemefordelingsmålere på radiatorerne, og varmtvand afregnes efter værelsesshaneandele.

Område B Bygning/blok	Målnummer/adresse Målerstand 30.4.2018	Målnummer/adresse Målerstand 6.5.2019
20 – 22 [m ³]	94.756	98.535
24 – 26 [m ³]	16.211	19.873
26 A-B-C [m ³]	47.823	54.613
22 – 28 [m ³]	69.026	71.720
28 A-B [m ³]	303	4.444
30 A-B [m ³]	75.503	78.254

Tabel 28 - Varme og varmtvandsafregning i område B

Forbruget for gasmålerne er specificeret nærmere i resultatafsnittet.

6.3 Energiindhold i brændsler

For at kunne omregne fra et brændsels brændværdi til en sammenlignelig energienhed, er det nødvendigt at kende brændslets brændværdi. I Hamlets Vænge er der naturgas i alle varmecentraler, med undtagelse af område D. Der er dog i område A en stor gaskedel som er ude af funktion, og der er opsat en midlertidig oliekedel. Således vil der være en mindre mængde olie med i årsforbruget 1.5.2018 til 1.5.2019. Der omregnes ud fra nedenstående tabel i forhold til brændværdierne.

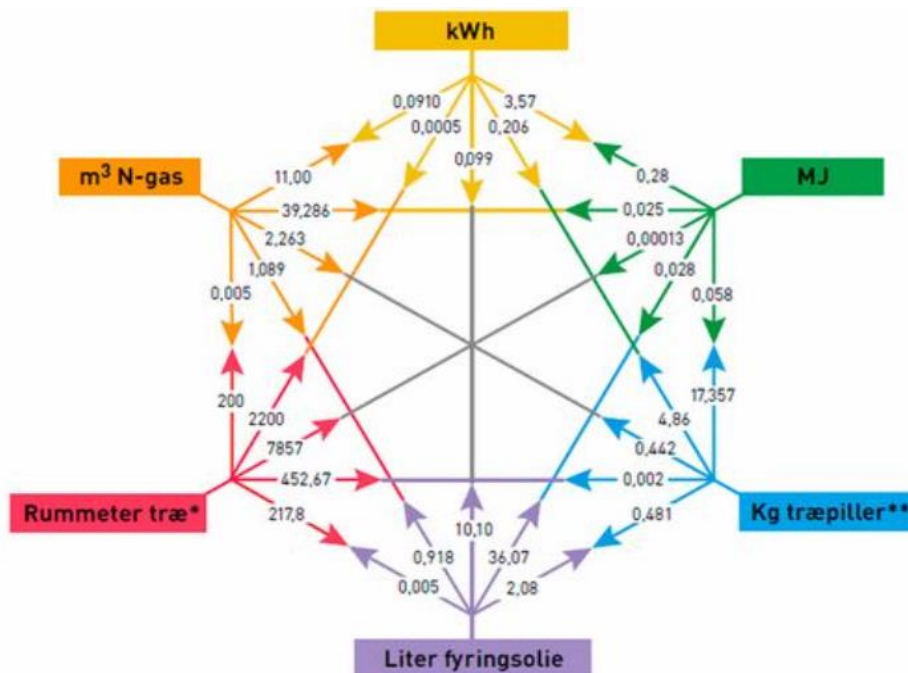
Brændsel	Brændværdi	Emissionsfaktor (tons CO ₂ /TJ)	Emissionsfaktor for ikke bæredygtigt flydende biobrændsel ^(C) (tons CO ₂ /TJ)	Oxidations- faktor
Naturgas ^{(G) (H) (I)}	0,0396 GJ/m ³ _{ref}	57,00		1,0
Bionaturgas ^(D)	0,0396 GJ/m ³ _{ref}	0		1,0
Bygas ^(J)	-	-		1,0
Butan	45,75 GJ/ton	66,24		1,0
Fuelolie anvendt i kraftvarmeværker og fjernvarmeværker ^(K)	40,65 GJ/ton	79,29		1,0
Fuelolie anvendt i øvrige sektorer ^(L)	40,65 GJ/ton	78,6		1,0
Spildolie ^(E)	41,90 GJ/ton	73,3		1,0
Gasolie / dieselolie ^(B)	35,87 GJ/m ³	74,1		1,0
Benzin ^(B)	32,85 GJ/m ³	73,0		1,0
Methanol	19,93 GJ/ton	68,96		1,0
LPG ^(B)	46,00 GJ/ton	63,1		1,0
Kul	26,50 GJ/ton	94,6		1,0
Petrokoks	31,40 GJ/ton	93,0		1,0
Koks	29,30 GJ/ton	107,0		1,0
Affald	10,6 GJ/ton	42,5		1,0
Biogas ^{(A) (F)}	0,0230 GJ/m ³	0		1,0
Halm ^{(A) (F)}	14,50 GJ/ton	0		-
Træpiller ^{(A) (F)}	17,50 GJ/ton	0		-
Træaffald ^{(A) (F)}	14,70 GJ/ton	0		-
Træflis ^{(A) (F)}	9,30 GJ/ton	0		-
Anden fast biomasse ^{(A) (F)}	14,5 GJ/ton	0		-
Rapsolie ^{(B) (C) (F)}	34,5 GJ/m ³	0	70,8	1,0
Bioethanol ^{(B) (C) (F)}	26,7 GJ/ton	0	72,0	1,0
Biodiesel ^{(B) (C) (E) (F)}	37,5 GJ/ton	0	70,8	1,0
Bioolie og anden flydende biobrændsel ^{(B) (C) (F)}	34,3 GJ/m ³	0	79,6	1,0

Tabel 29 - Energiindholdet i forskellige brændsler ⁶³

Tabel 29 viser forskellige brændselstypers brændværdier i GJ pr. volumen eller vægt. Der kan for forståelsen af forbrugende i Hamlets Vænge omregnes til kWh. Således er der mulighed for at få forbrug i områderne i kWh/m². Herefter kan der sammenlignes forbrug pr. arealenhed.

⁶³ (Energistyrelsen, 2018, s. 2)

For at kunne omregne fra GJ/m³ eller GJ/ton kan nedenstående omregningsstjerne bruges. Pilenes retning viser hvad der skal multipliceres med for at komme fra en enhed til en anden enhed.



Figur 26 - Energiomregning mellem enheder ⁶⁴

En ton fyringsolie kan omregnes med et energiindhold på $35,87 \frac{GJ}{m^3}$ til kWh.

$$E = \frac{35,87 \frac{GJ}{m^3}}{1000} = 0,03587 \frac{GJ}{l} * 1000 = 35,87 \frac{MJ}{l} * 0,28 = 10 kWh$$

Ligning 16 - Omregning af energiindhold i olie

En m³ naturgas kan omregnes med et energiindhold på $0,0396 \frac{GJ}{m^3}$ til kWh.

$$E = 0,0396 \frac{GJ}{m^3} * 1000 = 39,6 \frac{MJ}{m^3} * 0,28 = 11 kWh$$

Ligning 17-Omregning af energiindhold i gas

Det ses i omregningsstjernen, at det passer med, at der skal multipliceres med 10,10 for fyringsolie til kWh og 11 fra 1m³ naturgas til kWh.

⁶⁴ (Rockwoll, 2017, s. 36)

6.4 Varmeregnskabsprincipper i Hamlets Vænge

Der er i Hamlets Vænge forskellige typer varmeregnskaber. Der er i område D fordampningsmålere. I område A og B er der elektroniske varmfordelingsmålere. I område C er der energimålere. Der er i område C vest, 3 blokke hvor der er fordampningsmålere. I dette område skal der installeres én energimåler i den ene blok for energimåling i de tre blokke. Det betyder at de tre blokke afregnes efter energimåleren, med et varmfordelingsregnskab baseret på fordampningsmålere.

Der afregnes i det opland varmecentralerne dækker. Således er der incitament til at følge forbruget over de enkelte varmecentraler. Der er efter renoveringen sat økonomi af til at skifte de gamle fordampningsmålere til elektronisk aflæste varmfordelingsmålere i område D.

Der afregnes varmtvand efter værelsesshane andele i område A, B og D. I princippet afregnes der efter hvor mange tapsteder der er i boligen uagtet om forbruget er beskedent. I område C afregnes der efter vandafmåling af det varme vand. Her er der som med varmfordelingsmålerne udfordringer i område C vest, da der i de sidste tre blokke ikke er vandmålere.

Det er et noget udfordrende varme og vandregnskab i forhold til ovenstående. I varmeregnskaberne er der afregning af tab i installationerne samt opvarmning af fællesarealer som afregnes over boligens boligareal. I område C er der ligeledes varmeblæser fra den mekanisk balancerede ventilation, som skal afregnes over boligareal.

Varmeregnskaber generelt er under bekendtgørelsen om individuel måling af el, gas, vand, varme og køling⁶⁵.

Der er ofte i forhold til varmeregnskaber tale om sammenhæng til skimmelsager. Således er der i driftsafdelinger en mening om sammenhængen mellem et mindre varmförbrug, manglende udluftning og skimmelsager.

I Boliggården generelt kan vi se en stigning i vores skimmelsager. Der er således i kalenderåret fra 2015 og til kalenderåret 2018 forskel som illustreret i Tabel 30.

Kalenderåret	Renovering efter skimmelsager i DKK
2015	621.000
2016	483.000
2017	714.000
2018	3.642.500

Tabel 30 - Økonomien i skimmelsager i Boliggården fra årene 2015 til 2018

Der er i 2017 i Boliggården taget tiltag til at skimmelsager skal behandles med den nødvendige respekt for indeklimaet. Det kan være derfor der er så store spring i økonomien. Uanset årsagen, er skimmelsager en forholdsvis stor post i 2018. Det forventes at det bliver i samme leje for 2019. Der er derfor et behov for at finde løsninger til denne udfordring.

⁶⁵ (Energistyrelsen, 2014)

6.5 Dynamisk varmeregnskab

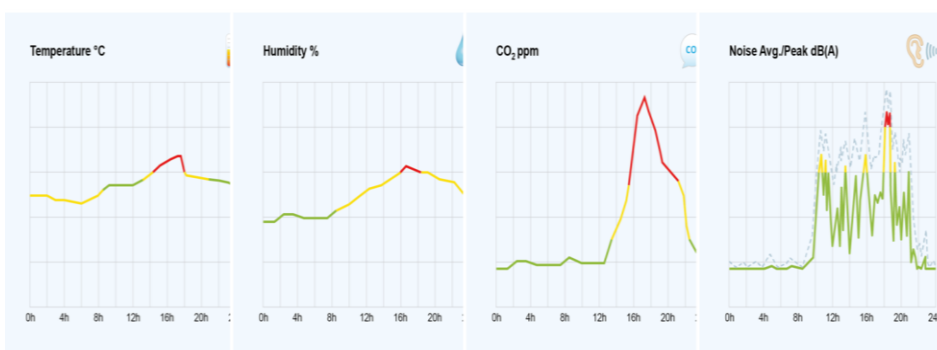
I forhold til skimmelsager som indeklimaproblem og økonomisk udfordring kan der være ide i at undersøge andre muligheder. I denne proces er dynamisk varmeregnskab en god mulighed. Da der er en sammenhæng mellem især kuldebroer, opvarmning og ventilering er det en god ide med fokus på disse elementer. Så derfor kan dynamiske varmeregnskaber, hvor varmeregnskabet afregnes efter en indeklimametode, være en fin metode. Der afregnes efter det gode indeklima.

Indeklimaklasser	Dårlig	Mindre god/Kritisk	God	Mindre god/Kritisk	Dårlig
					
Temperatur °C	Under 17	17-19	19-22	22-24	Over 24
Relativ Fugtighed %			Under 45	45-55	Over 55
Frisk luft (CO ₂ indhold, ppm)			Under 800	800-1.000	Over 1.000

Figur 27 - Måleparametre for indeklima ⁶⁶

Bolius anbefaler en relativ luftfugtighed mellem 25 og 65 %⁶⁷. Således kan der være forskel på hvad der sættes som dårligt indeklima i forhold til relativ luftfugtighed.

Ovenstående kan måles med IC-meter målemetode som kan måle de forskellige parametre.



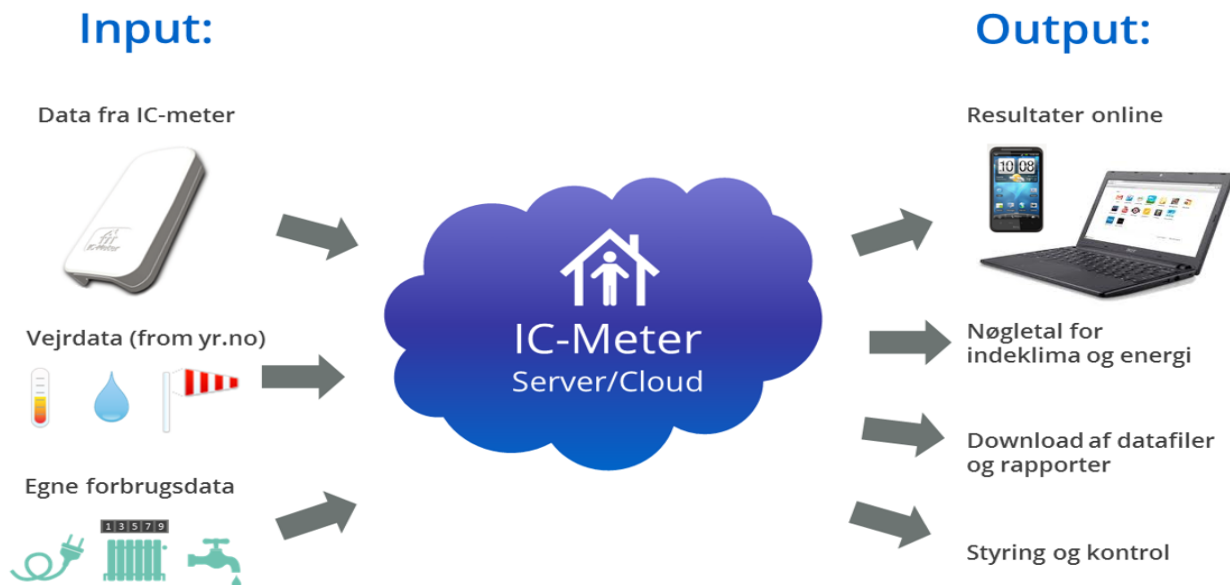
Figur 28 - IC-Meter måleren og de 4 målbare parametre ⁶⁸

De fire output fra IC-Meter målingen er definerende for indeklimaet. Der er især med temperatur, luftfugtighed og CO₂ muligheder for at måle belastningerne så de kan afhjælpes. Der er mulighed for at opsamle måleresultater fra IC-Meteret. Dette gøres efter en model med input og output i forhold til de opsamlede data.

⁶⁶ (EXERGI, ICIEE, DTU, 2014)

⁶⁷ (Bolius, u.d.)

⁶⁸ (Göran Wilke, u.d.)

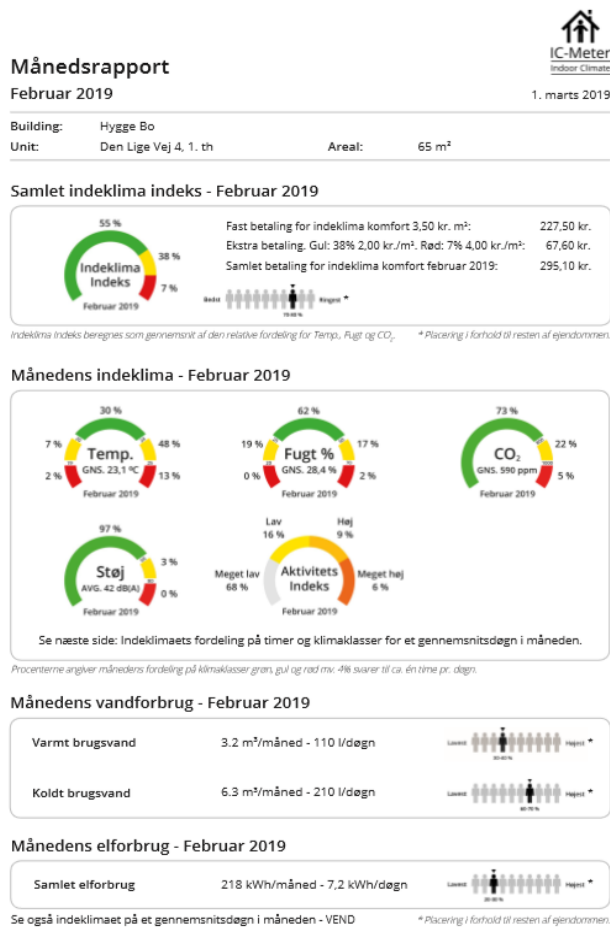


Figur 29 - Kommunikationsmulighederne med IC-Meter måleren ⁶⁹

Der vil med IC-Meter målingerne være muligheder for kommunikation via PC'er eller mobiltelefon. Således giver det mulighed for at følge eget forbrugsmønster og en afdelings forbrugsmønster.

⁶⁹ (Göran Wilke, u.d.)

Der kan med brug af IC-Meter systemet genereres en månedsrapport som viser hvordan et givent lejemål er belastet i forhold til temperaturer, RF, CO₂ samt støj. Det sidste parameter er selvfølgelig en indeklimamåling, men bruges normalt ikke som parameter i boligsammenhæng. Systemet bygger på timerapporter med en rød, gul og grøn farve som inddeling. Grøn for god og rød for at overtræde de indlagte grænser. Der er her mulighed for at sammenligne lejemålene med andre lejemål i bebyggelsen, som en form for positiv konkurrence.



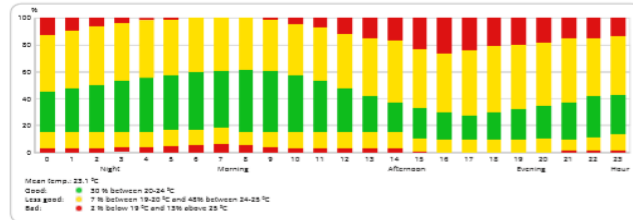
Figur 30 - Viser månedens indeklima

Indeklimaet på et gennemsnitsdøgn - Februar 2019 Temperatur, Fugt og CO₂ fordeling på timer og klimaklasser

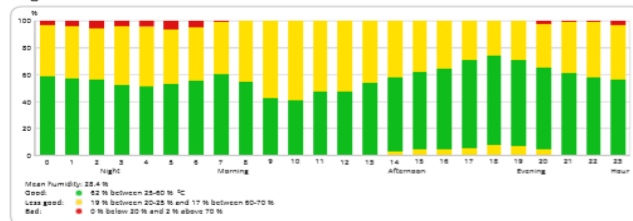


Building: Hysge Bo Unit: Den Lige Vej 4, 1. th

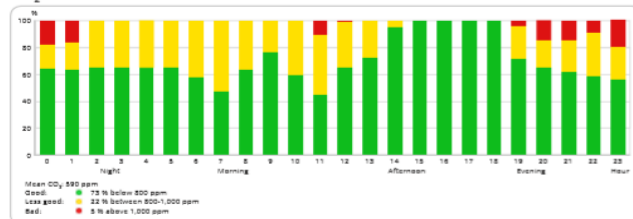
Temperatur



Fugt %



CO₂



Figur 31 - Døgnet aktivitet afmålt på timebasis

Der er ved at bruge dette værktøj positivt i sit eget lejemål, mulighed for at have stor indflydelse på det indeklima, man er en del af. Så den enkelte beboer får et styringsværktøj som i bedste fald fremmer sundheden i lejemålet og dermed også beboernes sundhed. Er det en god sammensat afdeling er der mulighed for at sikre et sundt indeklima i hele afdelingen og dermed et sundere livsmiljø.

Der er mulighed for at få signaler fra et styreredskab som kunne give signaler som f.eks. Figur 32. Dermed er der mulighed for at styre et forløb i indeklimaet. Figur 32 viser et kontor, men det kunne sagtens være en bolig.

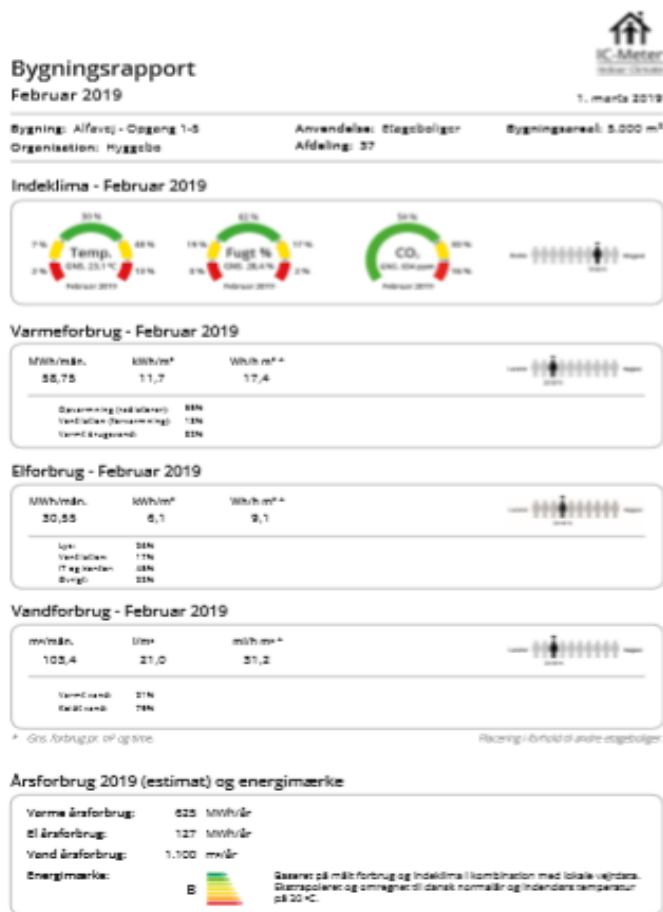
Temperature Humidity CO2 Ventilation Export				
Room	Temperature	Humidity	CO2	Air change rate
Kontoret	22.1 °C	20.3 %	468 ppm	0.7 /h
Gangen	25.6 °C	20.9 %	598 ppm	0.4 /h
Gangen	24.9 °C	20.6 %	777 ppm	0.7 /h
Gangen	24.3 °C	24.1 %	676 ppm	1.0 /h
Gangen	25.4 °C	20.2 %	574 ppm	0.6 /h
Gangen	23.5 °C	24.2 %	566 ppm	0.6 /h
Gangen	23.9 °C	24.6 %	593 ppm	0.3 /h
Gangen	25.2 °C	30.1 %	1.143 ppm	0.9 /h
Gangen	24.2 °C	23.2 %	615 ppm	0.8 /h
Gangen	23.8 °C	26.3 %	897 ppm	1.4 /h
Gangen	25.7 °C	21.4 %	558 ppm	0.6 /h

Figur 32 - Relativ fugtighed, temperatur, CO₂ samt luftskifte i en fiktiv afdeling ⁷⁰

Figur 32 viser et forløb for målinger af temperatur i kontoret, RF, CO₂ indholdet samt luftskiftet. I denne figur er det muligt at se hvornår der skal reguleres på f.eks. luftskiftet for at få CO₂ koncentrationen ned.

Der er mulighed med IC-Meter systemet for at genererer en bygningsrapport for bygningens fælles energiforbrug til varme, varmtvand, fælles el samt vandforbrug som det illustreres Figur 33. Det betyder, at driftspersonalet kan overvåge forbruget som i et energistyringssystem. Samtidigt kan systemet genererer et estimeret ressourceforbrug samt et energimærke. Der er mulighed for at sammenligne forbruget med bygninger i samme kategori. Det giver et godt overblik når der sammenlignes med forbruget i de enkelte lejemål.

⁷⁰ (EXERGI, ICIEE, DTU, 2014)



Figur 33 - Byggningsrapport i en fiktiv afdeling

Der er med systemet i Figur 33 mulighed for at generere et energimærke over ejendommen. Der kan skabes mulighed for at følge energimærket dynamisk over året. Det giver en boligafdeling mulighed for at se på udviklingen i energimærket løbende. Samtidigt kan der fra driften være fokus på udviklingen så der kan gribes ind hurtigt ved større afvigelser.

7 Interview Hamlets Vænge

7.1 Spørgeskema

Rapportens forfattere ønskede at få indblik i beboernes holdning til indeklimaet og installationer efter renoveringen i område C. Spørgeskemaet fra område C er ligeledes sendt til område A og B for at danne et sammenligningsgrundlag.

Der har været en svarprocent på spørgeskemaerne på ca. 30%. Det giver en usikkerhed om svarene er repræsentative. Svarene giver dog en vis indikering af forholdene selvom den må antages lidt usikkert. Der er omtrent lige mange svar fra henholdsvis område A og B samt område C. Således er der en forholdsvis retfærdig sammenligning med de svar der er kommet. Der er spurgt til indeklimaet i form af teknik og ventilation. Ligeledes er der spurgt til indeklimaet i anatomisk forstand.

Tages der udgangspunkt i den svarprocent der er fremkommet, kan der udledes forskellige forhold til indeklimaet i afdelingen. Holdningerne i områderne A og B til indeklimaet har flest svaret at der er dårligt indeklima. Det passer umiddelbart godt med, at der ikke er foretaget egentlige indeklimatiltag. I område A og B er der heller ikke den store viden om teknikken i vand og varmeinstallationerne. Beboerne har dog godt styr på, at de har mekanisk udsugning.

I område C svarer ca. 85 procent af beboerne der har svaret, at de syntes indeklimaet er tilfredsstillende. Beboerne i område C har derimod ikke fået den tilstrækkelige introduktion om de tekniske installationernes virkemåde. Det er en frustration for en del af beboerne der har svaret.

Størstedelen af svarende fra område C indikerer at beboerne ikke ved hvorfor de har fået mekanisk balanceret ventilation og hvordan det virker.

De har mulighed for at kontrollere forbruget i deres eget system, men er ikke helt klar over hvordan de gør. Som sådan beskriver svarene i område C, at der er en god varmekomfort. Der er ikke beskrevet, at varmekomforten er dårlig i område A og B. For områderne A, B og C er der dog enighed om, at kendskabet til teknikken generelt ikke er tilstede.

De indeklimaproblemer beboerne beskriver er forhold som tørre slimhinder samt svigende øjne. Der burde ikke være en forskel fra før renovering da der dengang var mekanisk udsugning med formentlig samme ventilationsrate som nu.

Især om vinteren hvor temperaturen er lav kan udeluften ikke indeholde særligt meget vanddamp. Når denne luft opvarmes, stiger temperaturen og den relative fugtighed falder. Dette vil opleves som tør luft.

Det positive i spørgeskemaerne, på trods af den meget beskedne svarprocent er, at område C mener deres indeklima er godt.

7.2 Driftspersonalet

Driftspersonalet er blevet interviewet om forhold, som omhandler viden om renoveringen. Der er deriblandt spurgt til forhold om tekniske installationer, styringsstrategier, energibehov samt indeklima. Ligeledes er driften forespurgt, om beboernes klageadfærd og beboernes måde at håndtere de renoverede boliger.

Der har ifølge driftspersonalet ikke været gennemgange om helhedsplanen mellem driften og byggeafdelingen i Boliggården. Driftspersonalet har ønsket om, at de er med i byggesager og helhedsplaner fra starten i projektfasen. Der er en stor viden i driften som kan bruges i projektfasen. Driftspersonalet mener de har så stor indsigt i det eksisterende byggeri, at de helt naturligt kan være et hjælpende led. Driftspersonalet syntes ikke de får det ejerskab til en helhedsplan, eller en byggesag som de gerne vil.

Der er ikke informeret om de ændringer der er foretaget på klimaskærmen. Det betyder at driftspersonalet ikke kender til forbedring af energibehovet i bygningerne i område A, C og D. Således kan driftspersonalet ikke svare på spørgsmål fra beboerne om forskelligt artede varmeregnskaber.

Der må antages at være forskel i varmeregnskaberne i forhold til hvilket område beboerne har sit lejemål. Driftspersonalet har ikke fået den nødvendig information om forskellen i varmeregnskaberne.

Der er i det meget gennemrenoverede område C afregning over energimåling. Denne afregningsform er meget fin og har en stor grad af retfærdighed. Der er dog stadig afregning af varmtvand over en varmtvandsmåler. Men ligesom med varme er det et retfærdigt princip, at dem der bruger meget varmtvand også betaler for det. Driftspersonalet har bekymringer i forhold til, at der i område A, B og D er afregningsform med varmefordelingsmåling på radiatorniveau samt varmtvandsmåling efter værelses-haneandele. Driftspersonalet mener ikke at det princip har den samme retfærdighed som i område C. For alle områderne gælder at der er en rest som går til fællesskabet og betalt efter m² afregning.

Driftspersonalet udtrykker at de ingen instruktion har fået i forhold til de tekniske installationer og styringen af disse. Driftspersonalet er i forhold til ventilation klar over, at der er mekanisk balanceret ventilation i område C og ny mekanisk udsugning i område A og D. Ligesom driftspersonalet ved at der er eksisterende mekanisk udsugning i Driftsområde B. Der er dog ikke den fornødne viden om hvorfor det er sådan. Driftspersonalet er ikke orienteret om, at der ikke er økonomiske ressourcer til at gennemføre afdeling A og D på samme måde som afdeling C. Ligeledes vidste driftspersonalet ikke, at område B næsten ikke bliver berørt af renoveringen samt at område A og D kun berøres 50 % målt op imod område C. Så de får løbende spørgsmål om forskelle i varmeregnskaber og renovering som helhed, oftest i økonomiske termer.

Driftspersonalet er ikke orienteret om de forskelle der er i mekanisk balancerede ventilationsanlæg og mekanisk udsugning. Der er derfor ikke den fornødne viden om varmegenivinding fra de mekanisk balancerede ventilationsanlæg i forhold til mekanisk udsugning. Så her har de ringe muligheder for at kunne svare på forskellen generelt, men ikke mindst hvorfor nogle boliger har en fordel som andre boliger ikke har.

Driftspersonalet udtrykker at en del beboere klager over sorte ringe rundt om indblæsningsventilerne. Mange af dem der klager har en frygt for at ventilationssystemet indblæser forurenede stoffer i

værelserne. Der er derfor nogle beboere som tildækker indblæsningsventilerne. Det giver driftspersonalet problemer med, at der klages over støj og trækgener fra andre beboere.

Driftspersonalet har ikke den fornødne viden om ventilationsanlægget til at kunne svare på hvorfor der opstår træk og støj. Ventilationsanlægget reguleres ikke ind efter de nye omstændigheder og drives på tilluftssiden med samme tryk og luftmængde uanset om tilluftsventilerne lukkes eller tildækkes.

Driftspersonalet udskifter filtre, men det vidste de ikke blev en del af deres arbejdsrutiner. Driftspersonalet fortæller, at de kun kender styringsprincippet sporadisk i den mekanisk balancerede ventilation. De kender ikke den håndstyringsstyringsterminal der tilknyttet ventilationsanlægget særligt godt.

Driftspersonalet ved, at den mekanisk balancerede ventilation har til formål at afdække et luftskifte for et bedre indeklima. Driftspersonalet ved ikke hvordan de nye mekanisk balancerede ventilationsanlæg skal driftes og vedligeholdes og har heller ikke fået instruktion om den mekaniske udsugning. Der er sat økonomi af til service, men ingen ved hvad servicen skal omhandle.

Driftspersonalet mener ikke at der lyttes til dem i det beskedne omfang de har deltaget. Når de forsøger at tilkendegive at der er et problem med det udførte arbejde, bliver de ignoreret. Det har den betydning at de ikke har ejerskab til renoveringen og helhedsplanen.

Driften har ikke mulighed for at aflæse temperaturer i varmtvandssystemet. Det betyder at der ikke er styr på det meget store varmtvandsforsyningsnet i forhold til legionella. Den eneste mulighed driftspersonalet har er at se og måle direkte i vandstrømmen på de kritiske blandingsbatterier og det kræver tid og adgang til boligerne. Så der drives et stort varmtvandssystem uden mulighed for daglige kontrol.

Driftspersonalet er dårligt instrueret i de tekniske installationers virkemåder og der er ikke kendskab til en egentlig styringsstrategi af de tekniske installationer. Så lige nu styres den tekniske infrastruktur efter om beboerne klager eller ej. Det giver nogle uhensigtsmæssige driftsforhold som kan have energiøkonomiske udfordringer.

7.3 Projektleder

Der er i forhold til projektlederen foretaget personligt interview. Der er spurgt til forskellige forhold i byggefasen og den kommunikation der er i byggesagen.

Projektlederen fortæller, at der er lavet et prøvehus. Det har dog været fejlbehæftet og har ikke 100 % kunne bruges som reference-bolig.

Projektlederen fortæller at selve byggesagen udspringer af skimmelproblemer i kælderene.

Der er ikke i byggefasen et kendskab til hvordan de tekniske installationer skal styres. Der er i område C regnet med fjernvarme. Der er derfor installeret varmevekslere og varmtvandsbeholdere med alt teknik. Disse er dog ikke i brug, da der ikke er projekteret med fjernvarme i renoveringsprojektet.

Der er ikke undersøgt forhold omkring forbrugsmønstre. Der er derfor ikke taget stilling til, om der burde tænkes en styringsstrategi ind i et renoveringsprojekt til DKK 250 millioner.

Projektlederen har ikke kendskab til renoveringens indvirkning på energibehovet. Således er der ikke regnet på energibehovet før og efter renoveringen.

Projektlederen kender ikke til dimensioneringsprincipperne for de tekniske installationer inklusive ventilation.

Da det kun er en 50 % renovering i område A og D, er der installeret mekanisk udsugning. I område C er der 100 % renovering og mekanisk balanceret ventilation. Det vides ikke om der er givet dispensation til fravigelse om kravet til varmegenvinding af udsugningsluften⁷¹. I mekanisk udsugning er der ikke genvinding af fraluften.

Selve renoveringen giver differentieret husleje. Alle boliger stiger med 5 procent, men område C får en huslejestigning på grund af renoveringsgraden på yderligere DKK 100 pr m² pr år.

Umiddelbart bruges meget af den gamle tekniske infrastruktur. Dette er også tilfældet i område C. Der er ikke et kendskab til hvor gamle installationerne er. Der er ikke foretaget beregninger på restlevetiden for den tekniske infrastruktur.

Der er ikke i forhold til rådgiver eller entreprenør foretaget overvejelser omkring område C, i forhold til brug af de nye varmtvandsbeholdere og varmevekslere. Det er muligt i de områder at fjerne gamle varmtvandssystem og bruge kedeldriften som fjernvarme.

Der er kun af Boliggården foretaget sporadiske kvalitetskontroller af henholdsvis håndværksarbejde samt ingeniørarbejdet. Der har være afholdt beboerinformationsmøder hvor det oftest var ventilationssystemerne som blev kritiseret af beboerne.

Projektlederen har ikke været med i projektets opstart, men har styret projektet de seneste 1,5 år.

Projektlederen fortæller at ham bekendt har der ikke været forslag om brug af VE.

⁷¹ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2014, s. Kap. 8.3, stk 6)

8 Resultater

8.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation

Resultaterne af Be18, beregning af energibehov kan aflæses i nedenstående skema.

Version Be18	Beskrivelse af version	Energibehov kWh/m ² år	Ventilations tab W/m ²
Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54.			
A	Før renovering med naturlig ventilation.	123,7	20,8
B	Efter renovering med MBV og blokvarme.	78,8	8,5
C	Som A med MBV.	82,6	6,3
D	Som B med fjernvarme.	59,7	8,5
Hamlets Vænge 3.			
E	Før renovering med naturlig ventilation.	126,3	20,9
F	Efter renovering med MBV og blokvarme.	80	8,5
G	Som E med MBV.	84,4	6,3
H	Som F med fjernvarme.	61	8,5

Tabel 31 - Sammenhængen mellem mekanisk balanceret ventilation og naturlig ventilation samt transmissionstab i modellerne

Der er en forskel i energibehovet afhængigt af versionen. Det skal dog bemærkes, at der er en forskel i version A og E med naturlig ventilation, i forhold til samme med mekanisk balanceret ventilation i version C og G, på 40,9 kWh/m² år samt 41,8 kWh/m² år.

8.2 Dimensionerende varmetab

8.2.1 Naturlig ventilation

Det dimensionerende varmetab beregnes med boligblokken før renovering og med boligblokken efter renovering. Varmetabet i konstruktioner i beregningerne er inklusive vinduer.

$$\Phi = \sum_{\text{konstruktion}} U * A * \Delta\theta + \sum_{\text{kuldebro}} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{\text{ventilationstab}} \rho * c * q * \Delta\theta$$

Ligning 18 - Dimensionerende varmetab med naturlig ventilation

Symboler og enheder
Σ er Sum af tab i W
U er U værdi i $\frac{W}{m^2 * K}$
A er Areal i m^2
$\Delta\theta$ er temperaturforskel mellem dimensionerende inde- og udetemperatur i $^{\circ}C$
Ψ er værdier for linjetab i $\frac{W}{m * K}$
L er længde i meter
ρ er luftens massefylde i $\frac{kg}{m^3}$
c er luftens varmekapacitet i $\frac{J}{kg * K}$
q er tilført udeluft i $\frac{m^3}{s}$

Tabel 32 - Symboler og enheder

Det dimensionerende varmetab for bygningen før seneste efterisolering og udskiftning af vinduer er,

$$\Phi = \sum_{\text{konstruktion}} U * A * \Delta\theta + \sum_{\text{kuldebro}} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{\text{ventilationstab}} \rho * c * q * \Delta\theta$$

$$\Phi = (5.196 + 3.531) + 679 + 1,205 * 1005 * 0,13 * 32 = 14.444 W$$

Det dimensionerende varmetab for bygningen efter forbedring af isoleringsniveau og udskiftning af vinduer er,

$$\Phi = \sum_{\text{konstruktion}} U * A * \Delta\theta + \sum_{\text{kuldebro}} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{\text{ventilationstab}} \rho * c * q * \Delta\theta$$

$$\Phi = (3.544 + 1.633) + 679 + 1,205 * 1005 * 0,13 * 32 = 10.894 W$$

Det dimensionerende varmetab med naturlig ventilation falder med $(14.444 - 10.894) = 3.530 W$ på grund af den forbedrede klimaskærm.

8.2.2 Mekanisk balanceret ventilation

Det dimensionerende varmetab beregnes med boligblokken før renovering og med boligblokken efter renovering. Varmetabet i konstruktioner i beregningerne er inklusive vinduer.

Det dimensionerende varmetab beregnes efter nedenstående formel:

$$\Phi = \sum_{konstr} U * A * \Delta\theta + \sum_{kuld} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{vent} \rho * c * (q_2 + q_3) * \Delta\theta - \rho * c * q_1 * (\theta_l - \theta_e)$$

Ligning 19 - Dimensionerende varmetab med mekanisk ventilation

Symboler og enheder

Σ er Sum af tab i W

U er U værdi i $\frac{W}{m^2 * K}$

A er Areal i m^2

$\Delta\theta$ er temperaturforskel mellem dimensionerende inde- og udetemperatur i $^{\circ}C$

Ψ er værdier for linjetab i $\frac{W}{m * K}$

L er længde i meter

ρ er luftens massefylde i $\frac{kg}{m^3}$

c er luftens varmekapacitet i $\frac{J}{kg * K}$

q er tilført udeluft i $\frac{m^3}{s}$

q_1 er luftstrøm af udeluft tilført gennem anlæg i $\frac{m^3}{s}$

q_2 er luftstrøm af afkastningsluft i $\frac{m^3}{s}$

q_3 er luftstrøm af exfiltration i $\frac{m^3}{s}$

q_4 er luftstrøm af infiltration i $\frac{m^3}{s}$

θ_l er udeluftens temperatur efter varmegenvindingsaggregatet i $^{\circ}C$

θ_e er dimensionerende udetemperatur i $^{\circ}C$

Tabel 33 - Symboler og enheder

Det dimensionerende varmetab for bygningen før seneste efterisolering og udskiftning af vinduer er,

$$\Phi = \sum_{konstr} U * A * \Delta\theta + \sum_{kuld} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{vent} \rho * c * (q_2 + q_3) * \Delta\theta - \rho * c * q_1 * (\theta_l - \theta_e)$$

$$\Phi = (5.196 + 3.531) + 679 + (1,205 * 1005 * 0,13 * 32 - 1,205 * 1005 * 0,13 * 29) = 9.878 W$$

Det dimensionerende varmetab for bygningen efter forbedring af isoleringsniveau og udskiftning af vinduer er,

$$\Phi = \sum_{konstr} U * A * \Delta\theta + \sum_{kuld} \Psi * L * \Delta\theta + \sum_{vent} \rho * c * (q_2 + q_3) * \Delta\theta - \rho * c * q_1 * (\theta_l - \theta_e)$$

$$\Phi = (3.544 + 1.633) + 679 + (1,205 * 1005 * 0,13 * 32 - 1,205 * 1005 * 0,13 * 29) = 6.328 W$$

Det dimensionerende varmetab med mekanisk balanceret ventilation falder med $(9.878 - 6.328) = 3.550 W$ på grund af den forbedrede klimaskærm.

Nedenstående skemaer viser ventilationstabet med naturlig ventilation og med mekanisk balanceret ventilation.

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	5.196
Døre og vinduer	3.531
Linjetab	679
Ventilationstab naturlig ventilation	5.038
I alt	14.444

Tabel 34 - Tabet i versionen inden renovering og med naturlig ventilation

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	3.544
Døre og vinduer	1.633
Linjetab	679
Ventilationstab naturlig ventilation	5.038
I alt	10.894

Tabel 35 - Tabet i versionen efter renovering og med naturlig ventilation

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	5.196
Døre og vinduer	3.531
Linjetab	679
Ventilationstab mekanisk balanceret ventilation	472
I alt	9.878

Tabel 36 - Tabet i versionen inden renovering og med mekanisk balanceret ventilation

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	3.544
Døre og vinduer	1.633
Linjetab	679
Ventilationstab mekanisk balanceret ventilation	472
I alt	6.328

Tabel 37 - Tabet i versionen efter renovering og med mekanisk balanceret ventilation

Ventilationstabet falder med mekanisk balanceret ventilation i forhold til naturlig ventilation med 4.566 W.

8.3 Energibehov

8.3.1 Energibehov Version alle versioner

Der er i Tabel 38 vist hvad forskellen er i energibehovet i begge boligblokke. i skemaet er de forskellige klassifikationer beskrevet ud fra kravene BR18.

Version	Renovering Klasse 1 kWh/m ² år	Renovering Klasse 2 kWh/m ² år	Energiramme BR18 kWh/m ² år	Energiramme BR10 kWh/m ² år	Energiramme BR18 Lavenergi kWh/m ² år	Energibehov kWh/m ² år
A	71,6	95,5	41,6	56,5	27	123,7
B	71,6	95,5	41,6	56,5	27	78,8
C	71,6	95,5	41,6	56,5	27	82,6
D	71,6	95,5	41,6	56,5	27	59,7
E	71,6	95,5	41,6	56,5	27	126,3
F	71,6	95,5	41,6	56,5	27	80
G	71,6	95,5	41,6	56,5	27	84,4
H	71,6	95,5	41,6	56,5	27	61

Tabel 38 - Energirammerne og energibehovet i de forskellige versioner i Be18

Der er mulighed for at sammenligne forbrugende, mellem de forskellige versioner. Da det er renovering, skal resultaterne måles og sammenlignes med renoveringsklasserne.

8.3.2 Sommerkomfort

Nedenstående Tabel 39 viser det nødvendige luftskifte for at komme under kravene til timer over 27 og 28°C. Der ses på kravene fra BR18.

Type	$\frac{L}{s * m^2}$		Antal timer over °C		Luftskifte h ⁻¹	
	Sommerdag	Nat + Vinter	27	28	Sommer	Nat + Vinter
A	2	0,30	83	23	3,00	0,46
B	1,5	0,30	92	23	2,30	0,46
C	2	0,30	83	23	3,00	0,46
D	1,5	0,30	92	23	2,30	0,46
E	2,1	0,30	74	20	3,20	0,46
F	1,5	0,30	85	18	2,30	0,46
G	2,1	0,30	74	20	3,20	0,46
H	1,5	0,30	84	17	2,30	0,46

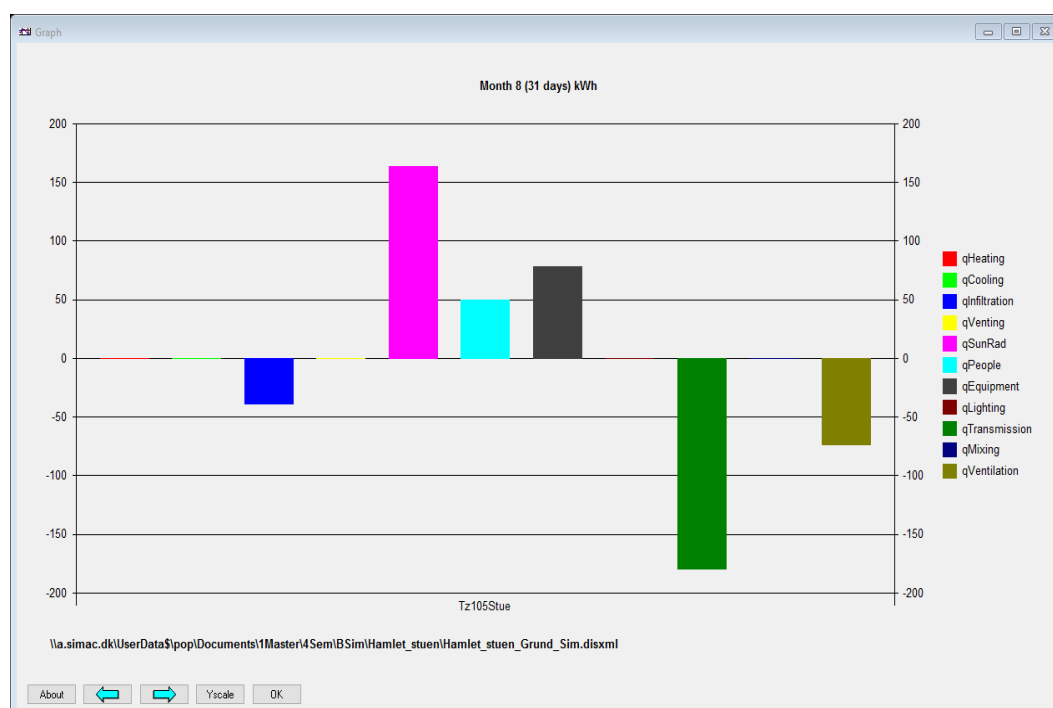
Tabel 39 - Sommerkomfort i de forskellige versioner i Be18

8.4 Indeklima

Der er foretaget simuleringer i en stuelejlighed og en 1. sals lejlighed for at se på det termiske indeklima. Der er foretaget simuleringer i både Hamlets Vænge 2 / Esumvej 54 samt i Hamlets Vænge 3. Formålet med simuleringerne er at få en indikation om der er for mange timer over 27 og 28 °C. Der er simuleret med forskellige scenarier, for at få timerne ned på det niveau der foreskrives i BR18. Kravene i BR18 er maks. 100 timer ved 27 °C og 25 timer ved 28 °C⁷².

8.4.1 Termisk indeklima, Hamlets Vænge 2 / Esumvej 54

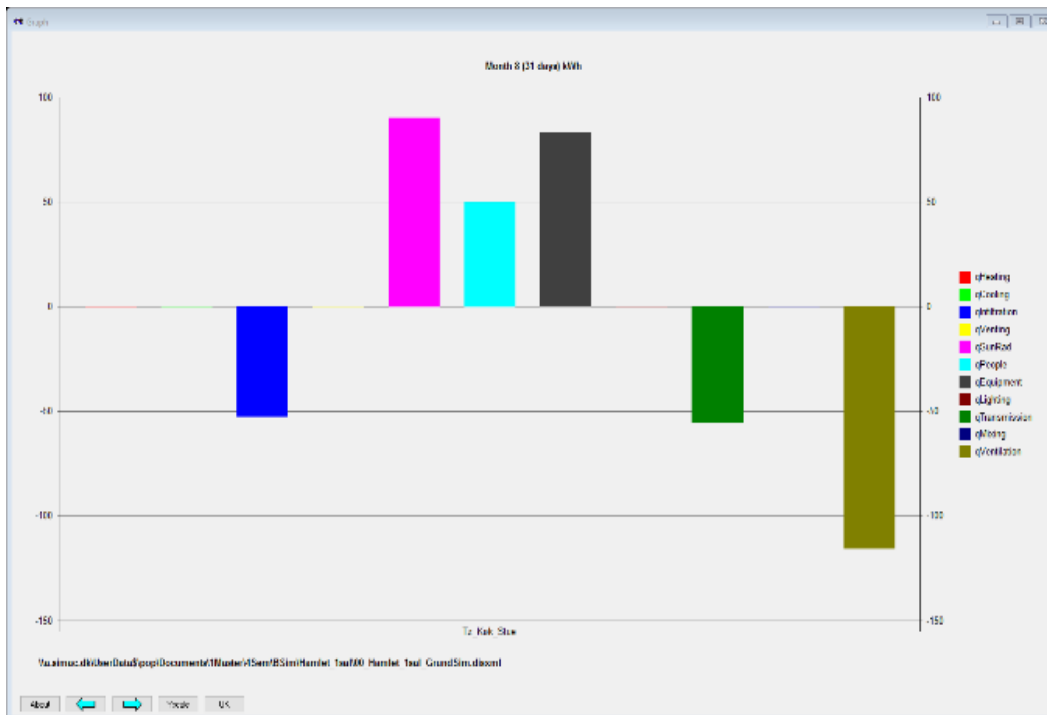
8.4.1.1 Grundsimplering



Figur 34 - Varmebalance af grundsimpleringen i en stuelejlighed

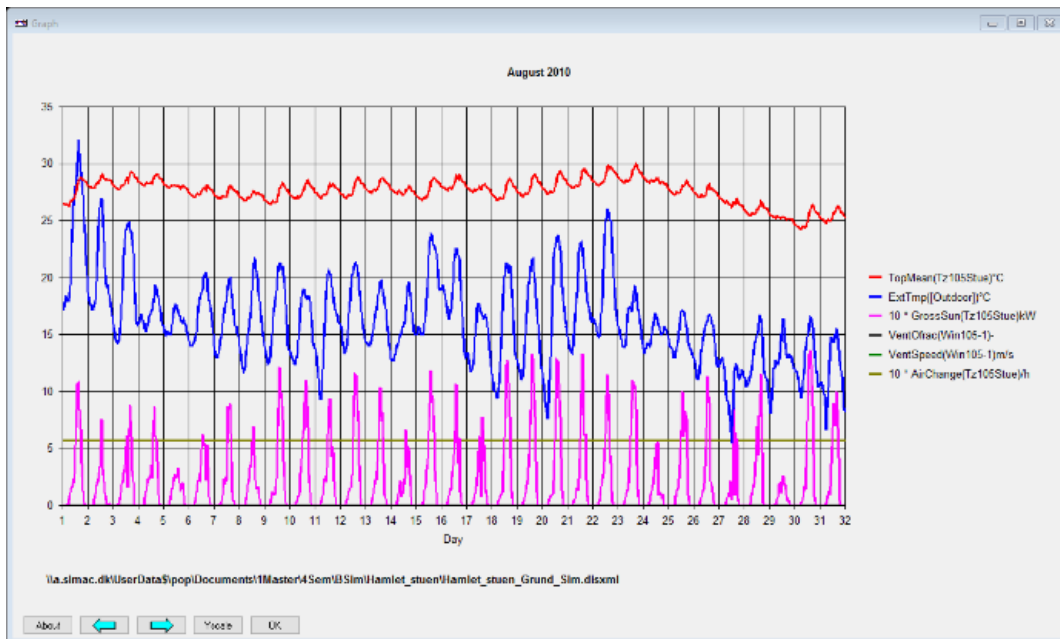
Ovenstående graf viser grundsimpleringen i en stuelejlighed. Skemaerne viser energibalancen i forhold til belastninger, samt hvordan belastningerne håndteres, i forhold til infiltration, ventilation samt transmissionstab.

⁷² (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. paragraf 385-392, 1,0 Generelt for termisk indeklima)



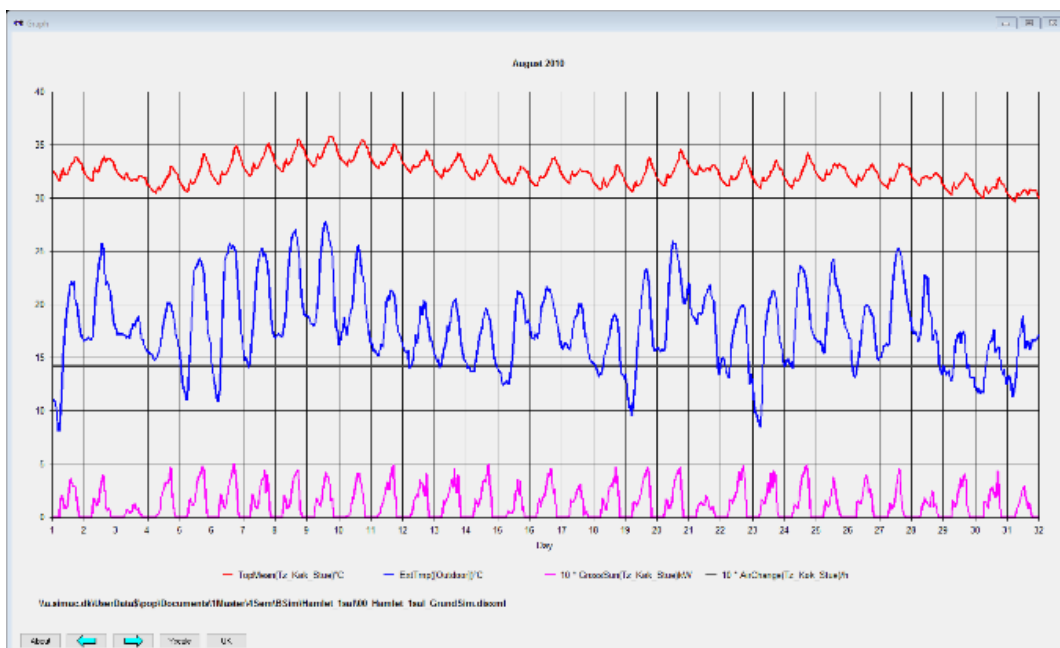
Figur 35 - Varmebalance af grundsimuleringen i en 1. sals lejlighed

Ovenstående graf viser grundsimuleringen i en første sals lejlighed. Skemaerne viser energibalancen i forhold til belastninger, samt hvordan belastningerne håndteres, i forhold til infiltration, ventilation samt transmissionstab.



Figur 36 - Grundsimulering af temperatur i stuelejlighed

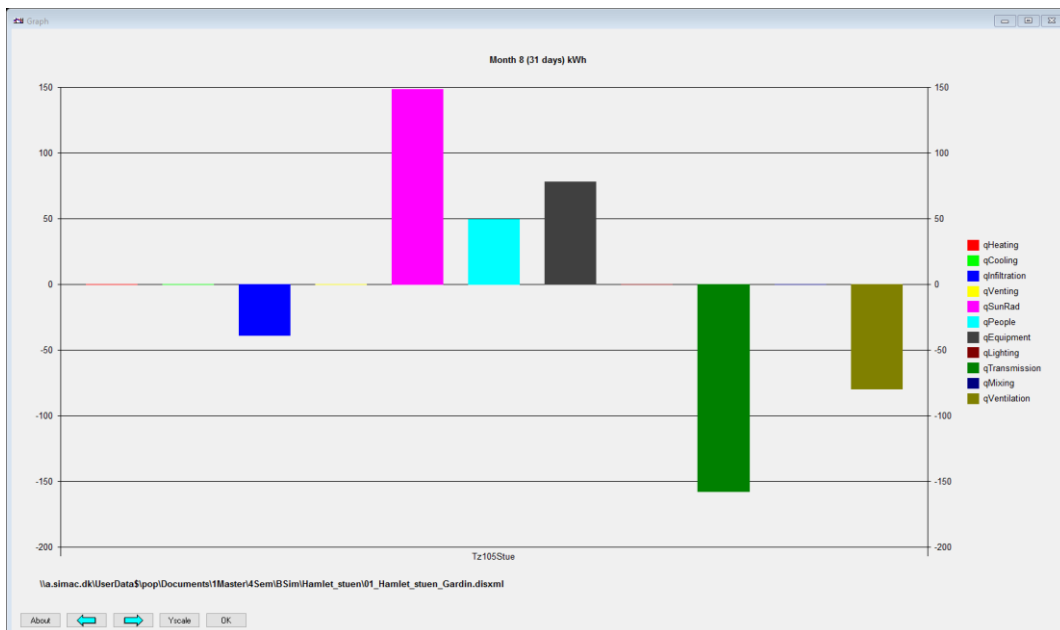
Denne graf viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet i den grundsimulerede stuelejlighed



Figur 37 - Grundsimulering af temperatur i 1. sals lejlighed

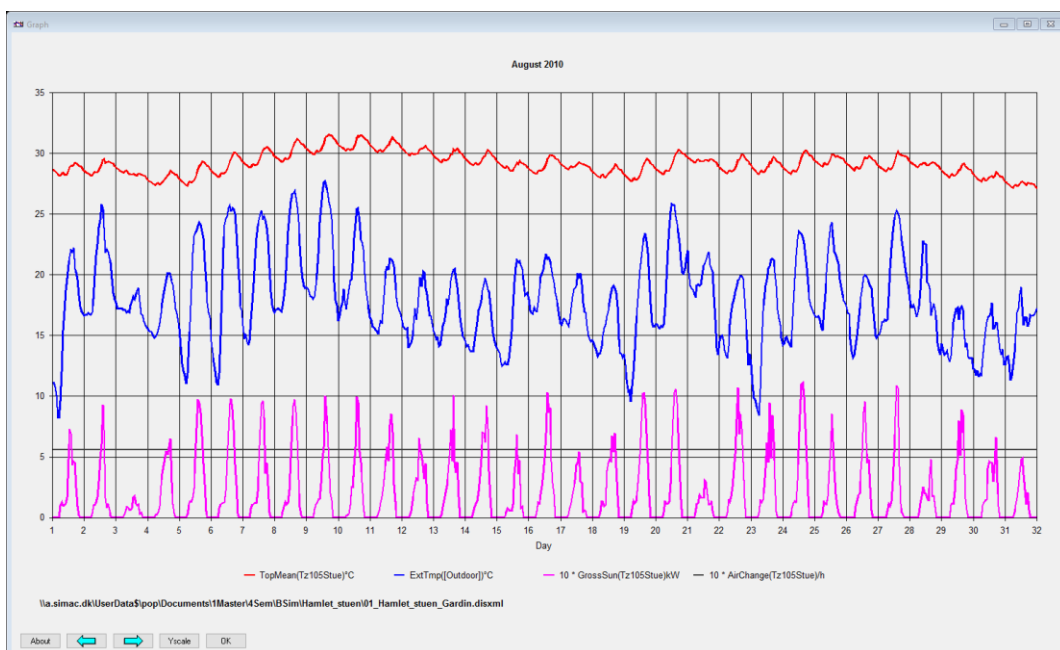
Denne graf viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet i den grundsimulerede førstesalslejlighed

8.4.1.2 Gardiner



Figur 38 - Varmebalance af gardinsimuleringen i en stuelejlighed

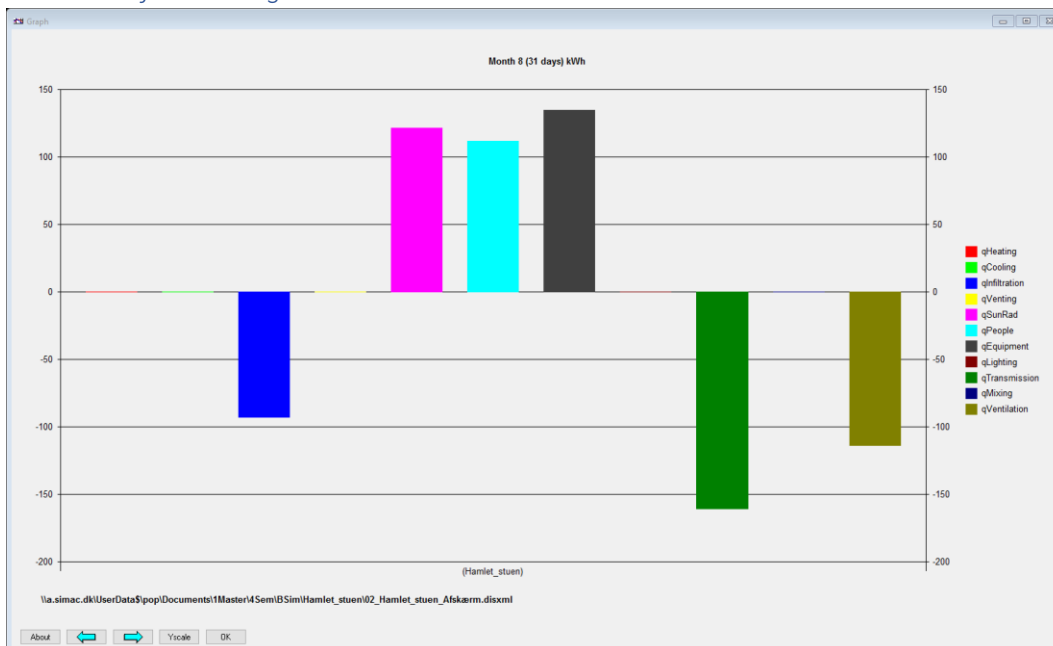
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med gardin. Det er samme metodik som tidligere i forhold til energibalancen.



Figur 39 - Gardinsimulering af temperatur i stuelejlighed

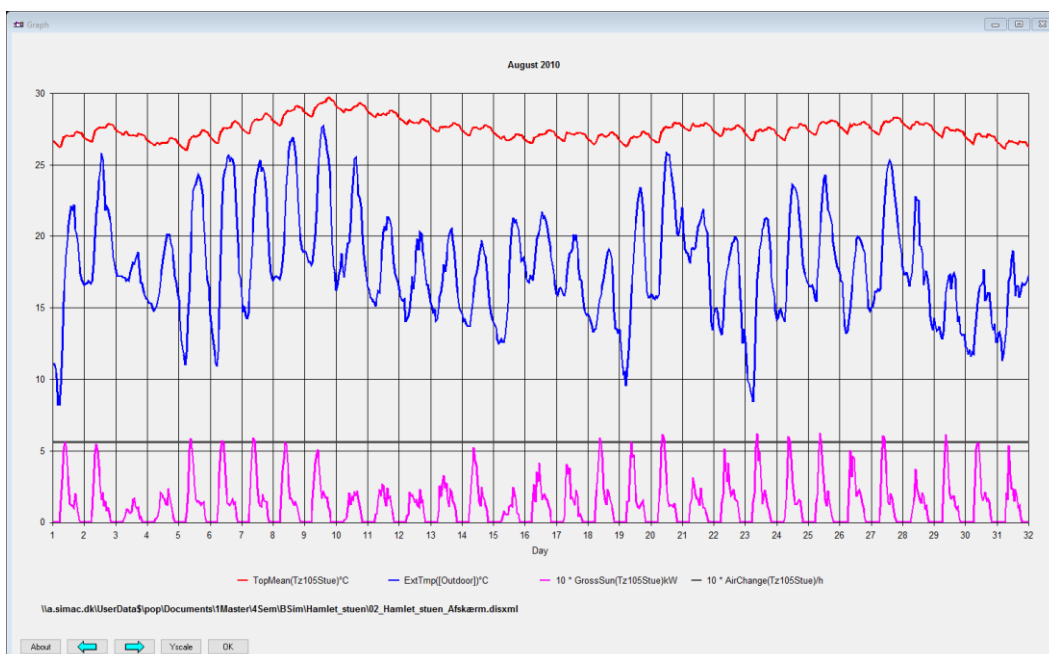
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med gardin. Graferne viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet.

8.4.1.3 Solafskærmning



Figur 40 - Varmebalance af simuleringen med solafskærmning i en stuejlighed

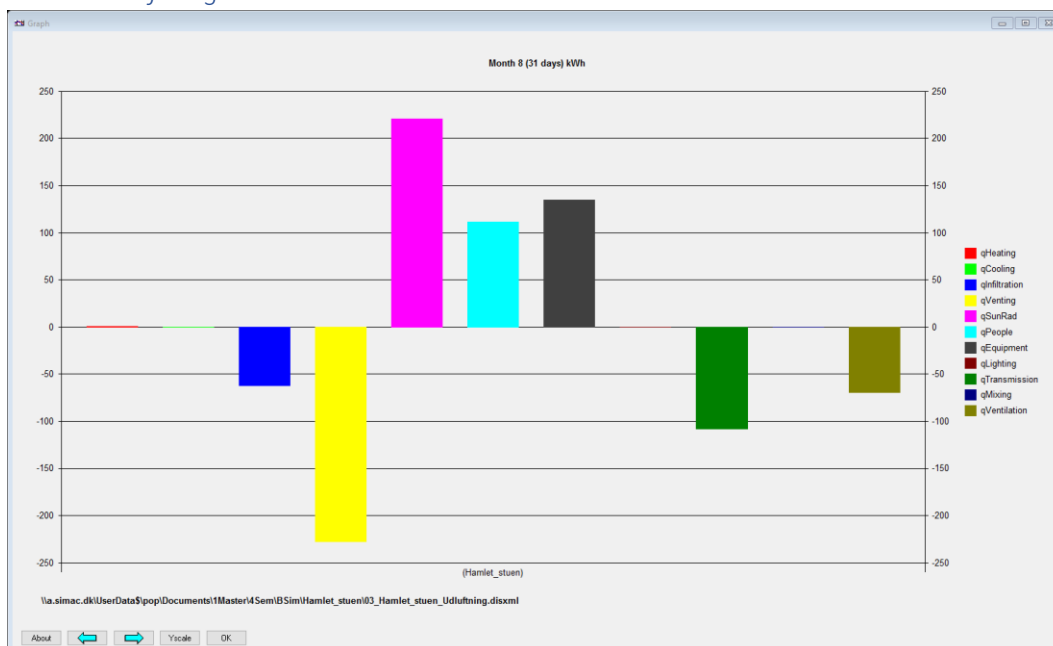
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med solafskærmning. Det er samme metodik som tidligere i forhold til energibalancen.



Figur 41 - Simulering med solafskærmning af temperatur i stuejlighed

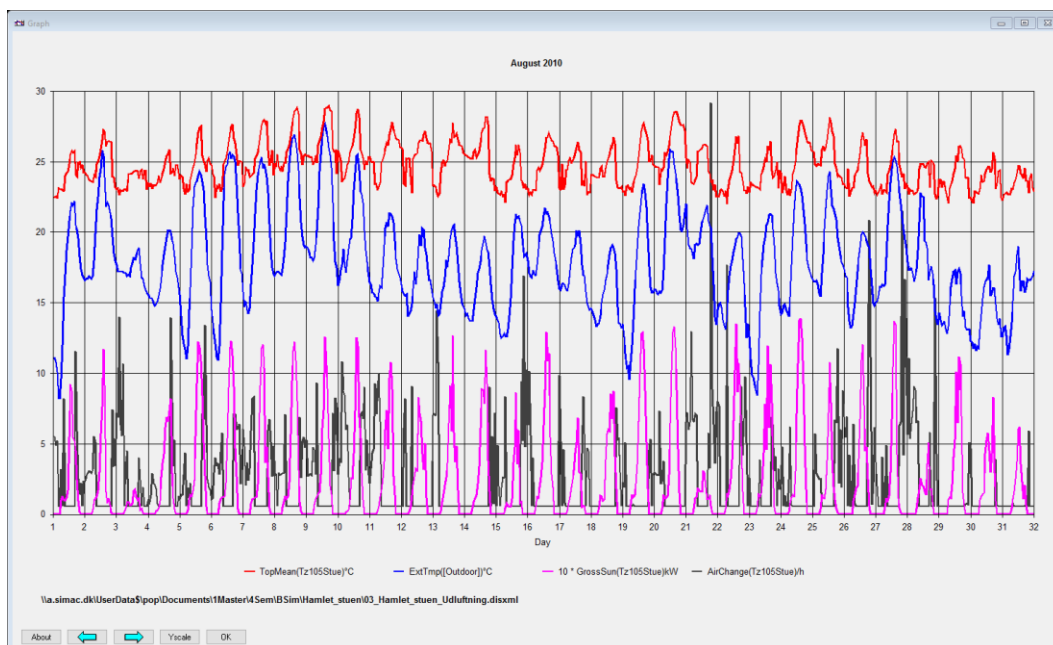
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med solafskærmning. Graferne viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet.

8.4.1.4 Udluftning



Figur 42 - Varmebalance af simuleringen med udluftning i en stuelejlighed

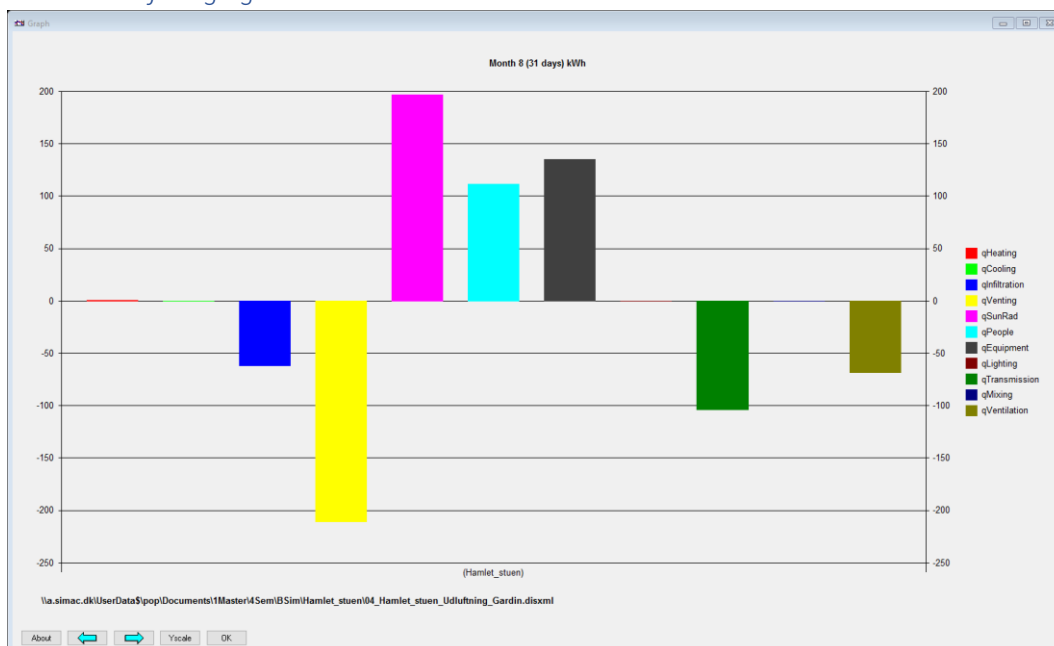
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med udluftning alene. Det er samme metodik som tidligere i forhold til energibalancen, dog med udluftning som en del af afhjælpningen med overtemperaturen.



Figur 43 - Simulering med udluftning i stuelejlighed

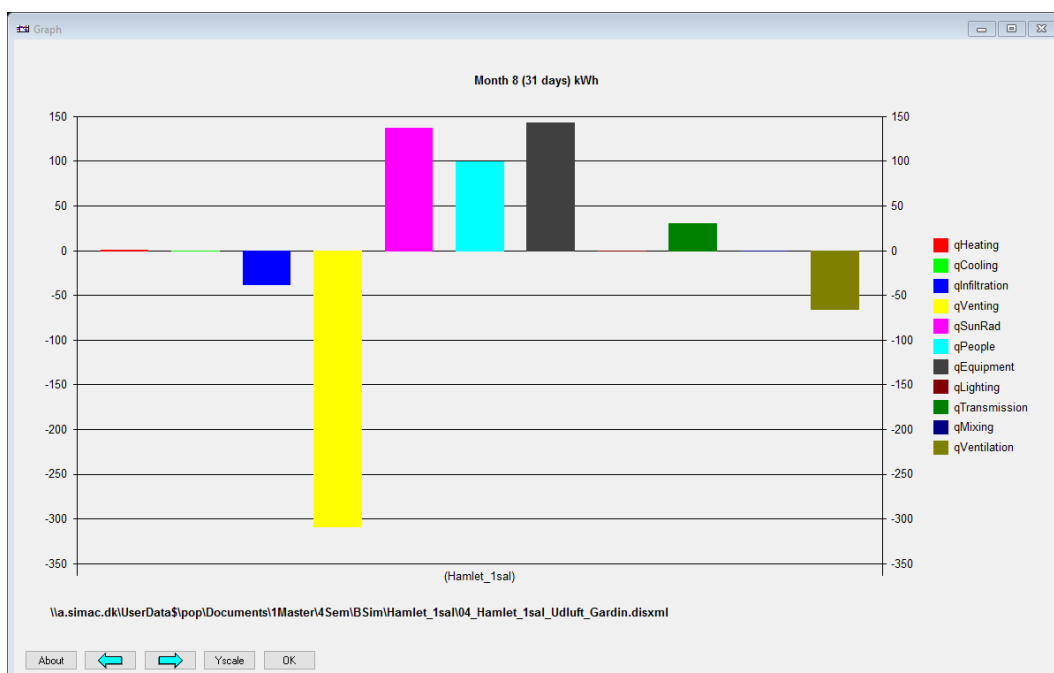
Ovenstående graf viser grundsimuleringen med solafskærmning. Graferne viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet.

8.4.1.5 Udluftning og Gardin



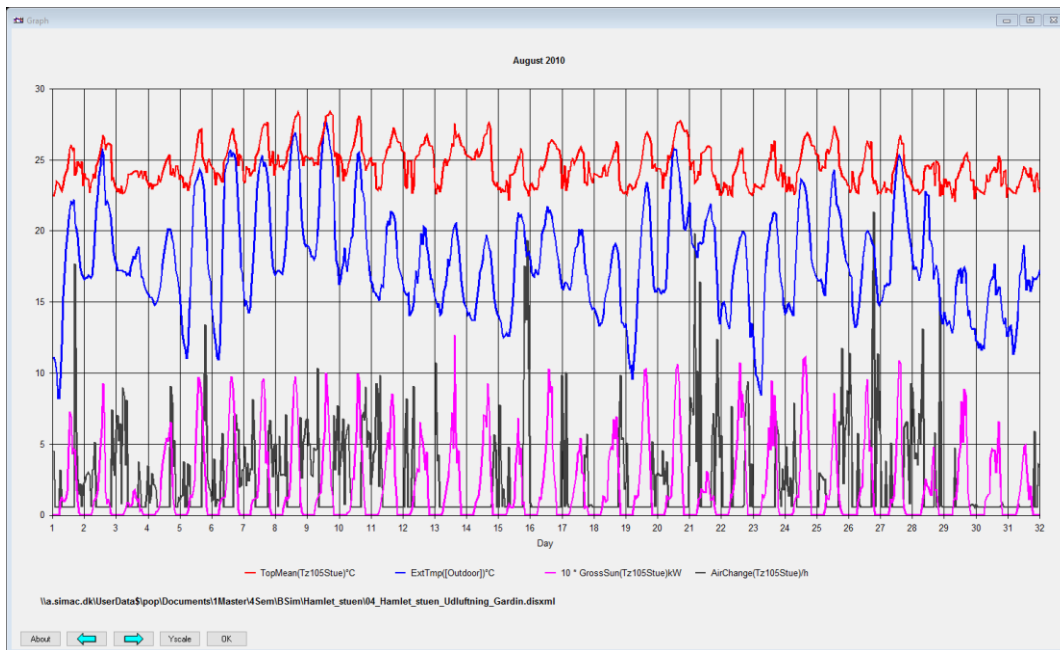
Figur 44 - Varmebalance af gardinsimuleringen med udluftning i en stuelejlighed

Ovenstående graf viser grundsimuleringen med udluftning og gardin i stueetagen. Det er samme metodik som tidligere i forhold til energibalancen, dog med udluftning som en del af afhjælpningen i forhold til overtemperaturer.



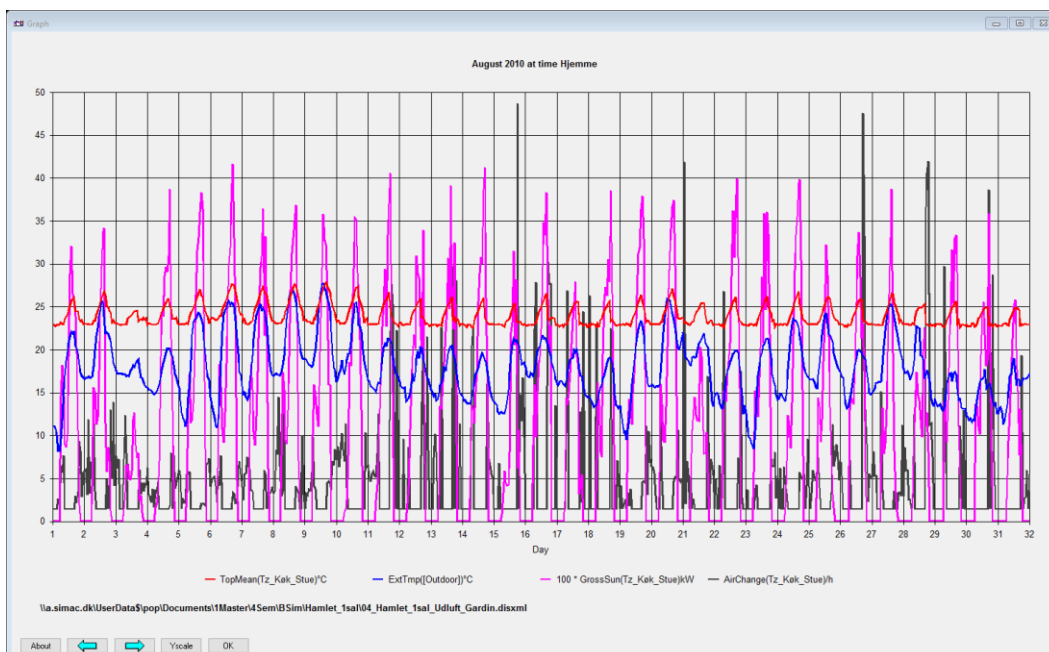
Figur 45 - Varmebalance af gardinsimuleringen med udluftning i en 1. sals lejlighed

Ovenstående graf viser grundsimuleringen med udluftning og gardin på førstesal. Det er samme metodik som tidligere i forhold til energibalancen, dog med udluftning som en del af afhjælpningen i forhold til overtemperaturer.



Figur 46 - Gardinsimulering med udluftning i stuelejlighed

Ovenstående graf viser grundsimuleringen med udluftning og gardin i stueetagen. Graferne viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet.



Figur 47 - Gardinsimulering med udluftning i 1. sals lejlighed

Ovenstående graf viser grundsimuleringen med udluftning og gardin på førstesal. Graferne viser udetemperaturen, indetemperaturen, solindfaldet samt luftskiftet.

8.4.2 Skemaer for simuleringer

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grundsimulering i august måned		
Med og uden ophold	744	721
Med ophold	496	481
Grundsimulering samt gardiner i august måned		
Med og uden ophold	744	669
Med ophold	496	446
Solafskærmning i august måned		
Med og uden ophold	409	104
Med ophold	272	69
Udluftning i august måned		
Med og uden ophold	66	22
Med ophold	24	4
Udluftning og gardiner i august måned		
Med og uden ophold	37	7
Med ophold	14	4
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	2365	1927
Med ophold	1576	1284
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	87	7
Med ophold	58	4

Tabel 40 - Timer over 27 og 28°C på Hamlets Vænge 2, stuen

Ovenstående skema viser alle scenarierne i forhold til simuleringerne på Hamlets Vænge 2 / Esumvej 54, stueetagen. Der er i skemaerne noteret antallet af timer over 27 og 28°C.

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grundsimulering i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Grundsimulering samt gardiner i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Solafskærmning i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Udluftning i august måned		
Med og uden ophold	22	0
Med ophold	4	0
Udluftning og gardiner i august måned		
Med og uden ophold	14	0
Med ophold	4	0
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	3679	3241
Med ophold	1478	1281
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	43	7
Med ophold	13	0

Tabel 41 - Timer over 27 og 28°C på Hamlets Vænge 2, 1 sal

Ovenstående skema viser alle scenarierne i forhold til simuleringerne på Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54, første sal. Der er i skemaerne noteret antallet af timer over 27 og 28°C.

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grundsimulering i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	496	496
Grundsimulering samt gardiner i august måned		
Med og uden ophold	744	736
Med ophold	496	491
Solafskærmning i august måned		
Med og uden ophold	565	148
Med ophold	357	94
Udluftning i august måned		
Med og uden ophold	52	0
Med ophold	14	0
Udluftning og gardiner i august måned		
Med og uden ophold	4	0
Med ophold	4	0
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	2277	1927
Med ophold	1518	1226
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	22	0
Med ophold	4	0

Tabel 42 - Timer over 27 og 28°C på Hamlets Vænge 3, stuen

Ovenstående skema viser alle scenarierne i forhold til simuleringerne på Hamlets Vænge 3, stueetagen. Der er i skemaerne noteret antallet af timer over 27 og 28°C.

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grundsimulering i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Grundsimulering samt gardiner i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Solafskærmning i august måned		
Med og uden ophold	744	744
Med ophold	279	279
Udluftning i august måned		
Med og uden ophold	44	0
Med ophold	4	0
Udluftning og gardiner i august måned		
Med og uden ophold	22	0
Med ophold	4	0
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	4117	3591
Med ophold	1609	1445
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	66	22
Med ophold	23	4

Tabel 43 - Timer over 27 og 28°C på Hamlets Vænge 3, 1 sal

Ovenstående skema viser alle scenarierne i forhold til simuleringerne på Hamlets Vænge 3, første sal. Der er i skemaerne noteret antallet af timer over 27 og 28°C.

8.5 Tekniske installationer

8.5.1 Ventilation

Luftmængder Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3.

Hamlets Vænge 2 Esrumvej 54	Køkken Emfang l/s	Køkken Emfang m ³ /h	Køkken Emfang Forceret m ³ /h	Bad og toilet l/s	Bad og toilet m ³ /h	Kælders 2 gange 10 l/s	Kælders m ³ /h	Tilluft 414*0,3 l/s	Tilluft m ³ /h
Hamlets Vænge 3									
Stue tv.	20	72	144	15	54	20	72	124	447
Stue th.	20	72	144	15	54			-----	-----
1 sal tv.	20	72	144	15	54			-----	-----
1 sal th.	20	72	144	15	54			-----	-----
I alt	80	288	576	60	216	20	72	124	447
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
Stue tv.	20	72	144	15	54	20	72	124	447
Stue th.	20	72	144	15	54			-----	-----
1 sal tv.	20	72	144	15	54			-----	-----
1 sal th.	20	72	144	15	54			-----	-----
I alt	80	288	576	60	216	20	72	124	447

Tabel 44 - Luftmængderne som ventilationsanlæggene er dimensioneret efter

Hovedluftmængder Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3.

Hovedluftmængder m ³ /h	Fraluft m ³ /h	Fraluft forceret m ³ /h	Tilluft
	576	864	447

Tabel 45 - Hovedluftmængderne i et anlæg som det skal yde ifølge beregningerne af anlæggene

Hver af de to anlæg som er installeret i Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3 skal kunne yde ovenstående hovedluftmængder. Den forcerede drift forventes ikke altid med alle fire emfang i gang, men anlægget skal kunne bære belastningen. Udeluftstilførelsen er beregnet efter $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ multipliceret med det opvarmede etageareal. Når entreprenørens indregulering gennemgås, er der beskrevet at der er fuldstændig balance i tilluft og fraluft. Det betyder at tilluften er taget efter fralufstdelen og ikke $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$. Således burde tilluftmængderne være afstemt i entreprenørens indregulering. Nedenstående skema er de tre forskellige målinger der er på hovedluftmængderne.

Adresse	Udførende VVS - installatør		Ekstern ventilationsfirma		Egne målinger Patrick/Henrik	
Hamlets Vænge 2 Esrumvej 54	Fraluft	586 m ³ /h	Fraluft	490 m ³ /h	Fraluft	360 m ³ /h
	Tilluft	572 m ³ /h	Tilluft	110 m ³ /h	Tilluft	198 m ³ /h
Hamlets Vænge 3	Fraluft	587 m ³ /h	Fraluft	450 m ³ /h	Fraluft	418 m ³ /h
	Tilluft	580 m ³ /h	Tilluft	145 m ³ /h	Tilluft	163 m ³ /h

Tabel 46 - De faktiske målinger fra tre forskellige måle firmaer samt rapportens forfattere

Der er tydeligt forskel på indreguleringen i de tre forskellige målinger. Der er ingen af målingerne som afspejler hvad anlægget skal yde. Således er der ikke sammenhæng imellem anlæggets projekterede luftmængder og de faktiske. Forskellen på målingerne er meget markant og giver anledning til bekymring.

8.5.2 Centralvarme

Varmetransmissionskoefficienterne samt rørlængderne og temperaturer i nedstående tabeller er estimeret.

For beregning af ledningstabet beregnes der efter Ligning 24.

$$Q = U_1 * L * (T_{rør} - T_{omgivelser})$$

Ligning 20 - Ledningstab

Varmetransmissions-koefficient [W / mK]	Varmeinstallationer Blokvarme [m]	Temp. rør [°C]	Temp. rum [°C]	Tab i installationer [W]
0,33	20	65	20	297
0,33	20	50	20	198
0,17	15	65	20	115
0,17	15	50	20	77
Sum				687

Tabel 47 - Rørtabene i de eksisterende installationer i for én af de beregnede blokke

Varmetransmissions-koefficient [W / mK]	Varmeinstallationer Fjernvarme [m]	Temp. rør [°C]	Temp. rum [°C]	Tab i installationer [W]
0,17	25	55	20	149
0,17	25	30	20	43
Sum				192

Tabel 48 - Rørtabene i installationerne ved overgang til fjernvarme for en af de beregnede blokke

Årligt varmetab i varmeinstallationen i blokken med blokvarme er

$$E_{tab} = 687 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 6.018 \text{ kWh}$$

Årligt varmetab i varmeinstallationen i blokken med fjernvarme er

$$E_{tab} = 192 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 1682 \text{ kWh}$$

8.5.3 Varmtvand

Varmetransmissionskoefficienterne samt rørlængderne i nedstående tabeller er estimeret. For beregning af ledningstabet beregnes der efter Ligning 24.

$$Q = U_1 * L * (T_{rør} - T_{omgivelser})$$

Ligning 21 - Ledningstab

Varmetransmissionskoefficient [W / mK]	Varmtvandsinstallationer Blokvarme [m]	Temp. rør [°C]	Temp. rum [°C]	Tab i installationer [W]
0,33	20	60	20	264
0,28	20	55	20	196
0,17	15	55	20	89
0,17	15	52	20	82
Sum				631

Tabel 49 - Rørtabene i de eksisterende installationer i en af de beregnede blokke

Varmetransmissionskoefficient [W / mK]	Varmtvandsinstallationer Fjernvarme [m]	Temp. rør [°C]	Temp. rum [°C]	Tab i installationer [W]
0,17	30	55	20	179
0,17	20	55	20	119
Sum				298

Tabel 50 - Rørtabene i installationerne ved overgang til fjernvarme i en af de beregnede blokke

Årligt varmetab i varmtvandsinstallationen i blokken med blokvarme er

$$E_{tab} = 631 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 5.528 \text{ kWh}$$

Årligt varmetab i varmtvandsinstallationen i blokken med fjernvarme er

$$E_{tab} = 298 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 2.610 \text{ kWh}$$

8.5.4 Jordledninger Ledningstab

Der er af rådgiver for 4 år siden, beregnet et tab i de eksisterende jordledninger. Det er både varme og varmtvand der er indregnet. Besparelsen blev beregnet til DKK 65.000. Dette omregnes til energienheder i nedenstående skema. Der er beregnet en gaspris på DKK 8 pr. m³

Jordledninger	Besparelse i DKK	Besparelse omregnet til m ³ N-gas	Besparelse omregnet til kWh
Varmt vand og Centralvarme	65.000	8.125	89.375

Tabel 51 - Ledningstab på installationerne i jorden

Da installationerne igennem boligblokkene og i jorden er gamle, må der forventes en stigende vedligeholdelse. Dette skal honoreres over afdelingens Drifts og vedligeholdelsesplan.

8.5.5 Fjernvarme Økonomi

Forsyning Helsingør er på foranledning af denne rapport forfatter fremkommet med et tilbud på fjernvarme. Forsyning Helsingør har konceptet NEM fjernvarme som giver mulighed for en form for leasing aftale. Denne aftale og pris skal sættes i forhold til en beregning hvor afdelingen Hamlets Vænge betaler for alt arbejdet. Konceptet NEM fjernvarme leverer stik i hver blok og en ny varmecentral. I område C vil det om muligt, være de nuværende varmtvandsbeholdere og varmevekslere der vil blive brugt.

Nem fjernvarme med blokløsning	Nem fjernvarme med individuel løsning	Forventede driftsomkostninger på jordledninger samt blokledninger mv. Og nye gaskedler inden for de næste 10 år.	Besparelse i varmetab på jordledninger
Årligt i DKK			
108.000	399.000	300.000	65.000

Tabel 52 - Økonomien i fjernvarme som NEM løsning. Kilden er den lokale forsyning med tilbud til Hamlets Vænge

Den lokale forsynings tilbud på NEM fjernvarme, består af to løsninger. Da der skal foretages meget store indgreb ved løsningen om individuel fjernvarme, ses der bort fra den.

Der er en besparelse på DKK 257.000 pr. år i hele afdelingen de næste 10 år ved at overgå til NEM fjernvarme.

Fjernvarme til nuværende varmecentraler med egenbetaling over afdelingens budget	Forventede driftsomkostninger på jordledninger samt blokledninger mv. Og nye gaskedler/vedligeholdelse inden for de næste 10 år.	Jordledningstab	Omkostning pr lejemål til finansiering af investeringen
Årligt i DKK			
4.500.000	300.000	0	1.840
			920

Tabel 53 - Fjernvarme i de eksisterende varmecentraler. Det er afdelingsbetalt fjernvarmeinstallationer

Hvis Hamlets Vænge selv skal finansierer fjernvarmen skal der bruges estimeret 4.500.000,-. Der er estimeret en tilbagebetaling på 6.000.000.

Besparelsen på gaskedler og jordledninger fordeles på 163 lejemål over 20 år.

$$\text{Besparelse af gaskedler} = \frac{300.000 \text{ kr}}{163 * 2} = 920 \text{ kr pr. år}$$

Årlig huslejestigning pr. lejemål.

$$\text{Huslejestigning} = 1840 \text{ kr} - 920 \text{ kr} = 920 \text{ kr pr. år}$$

Fjernvarme i hver blok med egenbetaling over afdelingens budget	Forventede driftsomkostninger på jordledninger samt blokledninger mv.	Besparelse i varmetab på jordledninger	Omkostning pr lejemål til finansiering af investeringen
Årligt			
6.500.000	300.000	65.000	2.454

Tabel 54 - Fjernvarme med stik i hver blok. Det er afdelingsbetalt fjernvarmeinstallationer

Hvis Hamlets Vænge selv skal finansierer fjernvarmen i hver blok, skal der bruges estimeret 6.500.000. Der er estimeret en tilbagebetaling på 8.000.000.

Besparelsen på gaskedler og jordledninger fordeles på 163 lejemål over 20 år.

$$\text{Besparelse af gaskedler} = \frac{300.000 \text{ kr}}{163 * 2} = 920 \text{ kr pr. år}$$

Besparelse af jordledningstab pr. lejemål.

$$\text{Besparelse af jordledningstab} = \frac{65.000 \text{ kr}}{163} = 399 \text{ kr pr. år}$$

Årlig huslejestigning pr. lejemål.

$$\text{Huslejestigning} = 2454 \text{ kr} - (920 \text{ kr} + 399 \text{ kr}) = 1135 \text{ kr pr. år}$$

Der afregnes i den lokale forsyning, med en pris på en MWh og en pris på den cirkulerende vandmængde over energimåleren. Der er derfor et incitament til at holde en fornuftig årsafkøling ved overgang til fjernvarme.

8.6 Strategisk styring

Der er en sammenhæng imellem styring af den tekniske infrastruktur og skimmelproblemer. Der er principper som opvarmning og udluftning som skal overholdes.

Kalenderåret	Renovering efter skimmelsager i DKK
2015	621.000
2016	483.000
2017	714.000
2018	3.642.500

Tabel 55 - Økonomien af skimmelsager i Boliggården fra årene 2015 til 2018

Der er her i Tabel 55 helt konkret et resultat af en styringsstrategi som kunne udformes anderledes. Således kan der overvejes mere centralkontrol af indeklimaet i boliger. Tabel 55 viser, at der er en voldsom stigning af skimmel renovering i Boliggården, over de seneste fire år.

Tabel 55 er udtræk af individuelle skimmelrenoveringer i alle Boliggårdens afdelinger. Der er ud over disse skimmelrenoveringer, helhedsplaner i Boliggården som er udledt af skimmelsager.

8.7 Forbrug, varme og varmtvand

De områder der måles varmekonsum i, er alle områder med gaskedler. Område A er dog også med en andel olie. Dette skyldes at gaskedlen er defekt og der er sat en midlertidig oliefyret kedel op. Denne kedel er midlertidig opsat indtil der kommer klarhed om der kan komme fjernvarme inden for overskuelig fremtid.

Område	Målnummer/adresse Målerstand 30.4.2018	Målnummer/adresse Målerstand 6.5.2019		Forbrug m ³	
Område C, Vest	736.636	781.726		45.090	
Sum i kWh				495.990	
Område C, Øst	70.747	103.086		32.339	
Sum i kWh				355.729	
Område A	98.988	N-Gas m ³	Olie/liter	N-Gas m ³	Olie/liter
		113.411	22.000	14.423	22.000
Sum i kWh					378.653

Tabel 56 - Energiforbruget for varme og varmtvand i område C og A. Energiforbruget er ikke graddagekorrigeret.

Område B Bygning/blok	Målnummer/adresse Målerstand 30.4.2018	Målnummer/adresse Målerstand 6.5.2019	Forbrug m ³
20 – 22	94.756	98.535	3.779
24 – 26	16.211	19.873	3.662
26 A-B-C	47.823	54.613	6.790
22 – 28	69.026	71.720	2.694
28 A-B	303	4.444	4.141
30 A-B	75.503	78.254	2.751
Sum område B			23.817
Sum kWh			261.987

Tabel 57 - Energiforbruget for varme og varmtvand i område B. Energiforbruget er ikke graddagekorrigeret.

For naturgas (N-Gas) er brændværdien på 11 kWh/m³, og for olie er brændværdien 10 kWh/liter.

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B	261.987	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	78.596	
Varmeforbrug (GAF)	183.391	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	238.408	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	317.004	

Tabel 58 - Graddagekorrigerede energiforbrug for varme og varmtvand i område B

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område C, Øst	355.729	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	106.718	
Varmeforbrug (GAF)	249.011	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	323.714	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	430.432	

Tabel 59 - Graddagekorrigerede energiforbrug for varme og varmtvand i område C, Øst

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område C, Vest	495.990	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	148.797	
Varmeforbrug (GAF)	347.193	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	451.350	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	600.147	

Tabel 60 - Graddagekorrigerede energiforbrug for varme og varmtvand i område C, Vest

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område A	378.653	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	113.596	
Varmeforbrug (GAF)	265.057	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	344.574	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	458.170	

Tabel 61 - Graddagekorrigerede energiforbrug for varme og varmtvand i område A

Målt forbrug varme samlet i områder	kWh	kWh/m ²
Energiforbrug område B	183.391	64,8
Energiforbrug område C, Øst	249.011	73,3
Energiforbrug område C, Vest	347.193	77,4
Energiforbrug område A	265.057	85,6
Forbrug graddagekorrigeret til normalåret, for varme i områder	kWh	kWh/m ²
Energiforbrug område B	238.408	84,2
Energiforbrug område C, Øst	323.714	95,2
Energiforbrug område C, Vest	451.350	100,5
Energiforbrug område A	344.574	111,3

Tabel 62 - Graddagekorrigerede forbrug til normalåret samt målt forbrug

Graddagekorrigerig	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Hamlets Vænge 26A	74.690	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	22.407	
Varmeforbrug (GAF)	52.283	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	67.968	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	90.375	

Tabel 63 - Energiforbruget i Hamlets Vænge 26 A

Graddagekorrigerig	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Hamlets Vænge 28A	45.551	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	13.665	
Varmeforbrug (GAF)	31.886	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	41.452	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	55.117	

Tabel 64 - Energiforbruget i Hamlets Vænge 28 A

Graddagekorrigerig	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Hamlets Vænge 30A	30.261	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	9.078	
Varmeforbrug (GAF)	21.183	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	27.538	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	36.616	

Tabel 65 - Energiforbruget i Hamlets Vænge 30 A

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 20	41.569	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	12.471	
Varmeforbrug (GAF)	29.098	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	37.827	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	50.298	

Tabel 66 - Energiforbruget i Holger Danskes Vej 20

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 22	29.634	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	8.890	
Varmeforbrug (GAF)	20.744	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	26.967	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	35.857	

Tabel 67 - Energiforbruget i Holger Danskes Vej 22

Graddagekorrigering	kWh	Graddage
Faktisk energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 24	40.282	
Normalt årets graddage Teknologisk institut		2.906
Graddage i perioden 30-4-2018 til 6-5-2019		2.175
Omregnet til varmtvand 30% af varmeforbrug (GUF)	12.084	
Varmeforbrug (GAF)	28.198	
Varmeforbrug normalt år korrigeret (GAF')	36.657	
Korrigeret energiforbrug (GAF' + GUF)	48.741	

Tabel 68 - Energiforbruget i Holger Danskes Vej 24

Forbrug graddagekorrigeret til normalåret i område B	Forbrug i kWh	Forbrug kWh/m ²
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 26A	67.968	91,8
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 28A	41.452	92,9
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 30A	27.538	71,3
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 20	37.827	84,8
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 22	26.967	69,8
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 24	36.657	86,2

Tabel 69 - Forbruget i kWh/m² i forhold til normalt året

Faktisk forbrug i område B	Forbrug i kWh	Forbrug kWh/m ²
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 26A	52.283	70,6
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 28A	31.886	71,4
Energiforbrug område B, Hamlets Vænge 30A	21.183	54,9
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 20	29.098	65,2
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 22	20.744	53,7
Energiforbrug område B, Holger Danskes Vej 24	28.198	66,3

Tabel 70 - Faktisk forbrug i kWh/m² for varmesæsonen 1 maj 2018 til 1 maj 2019

Område	kWh/m ²	Område	kWh/m ²
Energiforbrug i område C øst i normalåret	92,2	Energibehov Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 med Fjernvarme	78,8
Energiforbrug i område C vest i normalåret	100,5	Energibehov Hamlets Vænge 3 Med fjernvarme	80

Tabel 71 - Forskellen mellem beregnet energibehov og faktisk energiforbrug, i Hamlets Vænge 3 og Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54

8.8 Dynamisk varmeregnskab

Dynamisk varmeregnskab er et forsøg på at hjælpe med at forbedre indeklimaet. Nedenstående viser hvilke parameter der måles efter.

Indeklimaklasser	Dårlig	Mindre god/Kritisk	God	Mindre god/Kritisk	Dårlig
					
Temperatur °C	Under 17	17-19	19-22	22-24	Over 24
Relativ Fugtighed %			Under 45	45-55	Over 55
Frisk luft (CO ₂ indhold, ppm)			Under 800	800-1.000	Over 1.000

Figur 48 - Måleparametre for indeklima⁷³

Der er et forventet samspil mellem indeklimastyrring som dynamisk varmeregnskab og en reduktion af Boliggårdens skimmelkonti.

Kalenderåret	Renovering efter skimmelsager i DKK
2017	714.000
2018	3.642.500

Tabel 72 - Økonomien i skimmelsager i Boliggården fra årene 2017 til 2018

⁷³ (EXERGI, ICIEE, DTU, 2014)

8.9 Interview Output

Nedenstående skemaer er et udtræk fra dem der har svaret. Det er blandede svar fra de 3 områder. Der er kommet overvejende flest svar fra område C. Der er ca. kommet en svarprocent på 30 i alt. Således er validiteten beskedent, men det giver dog en indikation om forholdene. Område C står for ca. 75 % af svarene på de 30 % der har svaret.

Spørgsmål om installationer	Ja [%]	Nej [%]
Har du kendskab til anlæggene	40	60
Er din indetemperatur god	100	0
Er der varme på alle radiatorerne	90	10
Kan du aflæse dit varmeforbrug	50	50
Kender du til dit varmeregnskab	10	90

Tabel 73 - Spørgeskema om installationer i område A, B og C

Spørgsmål om Ventilation	Ja [%]	Nej [%]
Har du kendskab til jeres ventilationsanlæg	50	50
Ved du hvorfor der er udført ventilation	60	40
Er indeluften god	80	20
Har du fået instruktion i ventilationsanlæggene	0	100
Oplever du tør luft i jeres opholdsrum	100	0
Oplever du trækgener	50	50

Tabel 74 - Spørgeskema om ventilation i område C

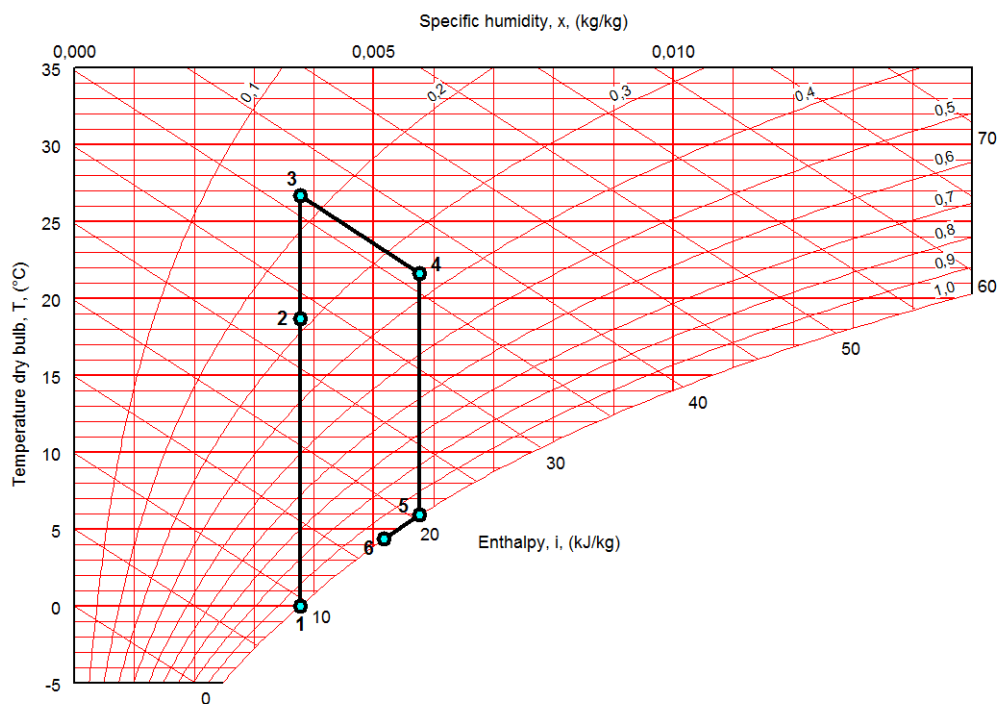
Spørgsmål om Ventilation	Ja [%]	Nej [%]
Har du et godt indeklima	70	30
Har du problemer med slimhinder	30	70
Har du svien i øjnene	30	70
Er der tegn på skimmel i din lejlighed	5	95

Tabel 75 - Spørgeskema om ventilation i område A og B

8.10 Ventilationsrate

8.10.1 Scenarie 1 – høj ventilationsrate

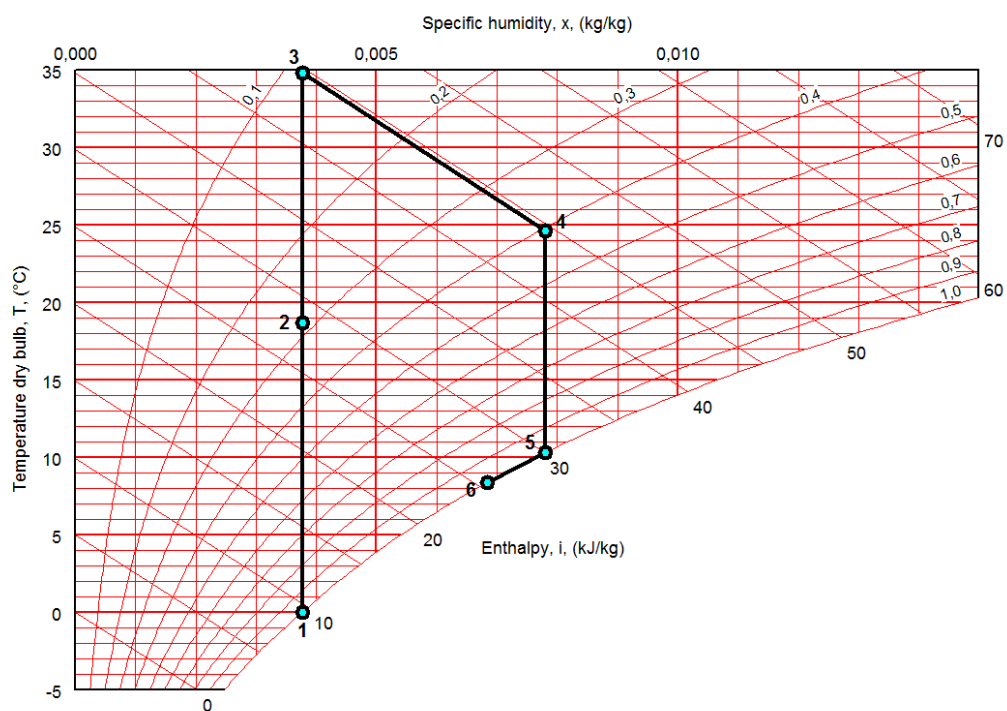
Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	0	100	3,77	9,4
2	VV1	18,7	28,3	3,77	28,4
3	Varmerum	26,7	17,4	3,77	36,4
4	FugtRum	21,6	36,0	5,77	36,4
5	VV2	5,9	100	5,77	20,5
6	EfterKondensering	4,4	100	5,18	17,4



Figur 49 – Mollierdiagram af scenarie 1 med høj ventilationsrate

8.10.2 Scenarie 1 – lav ventilationsrate

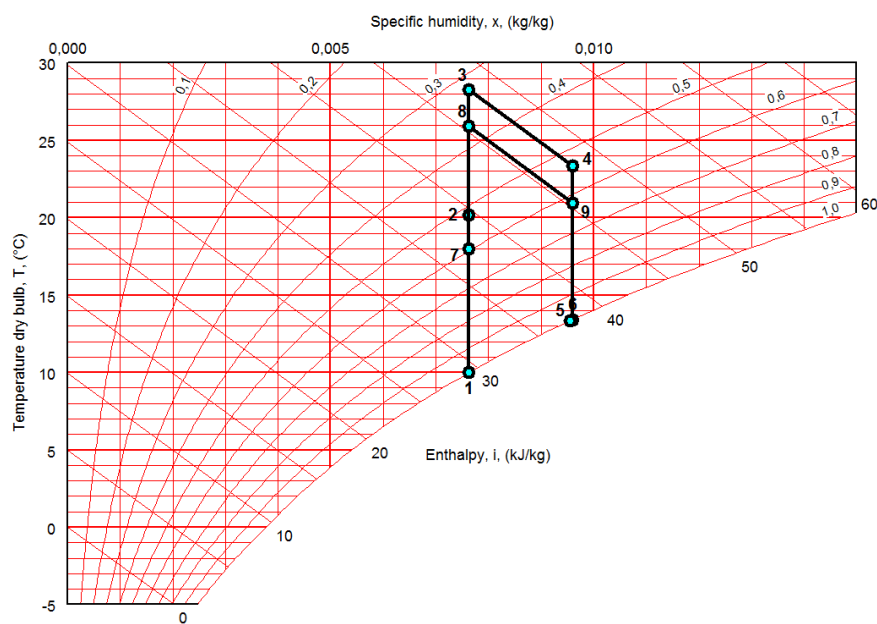
Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	0	100	3,77	9,4
2	VV1	18,7	28,3	3,77	28,4
3	VarmeRum	34,8	11,0	3,77	44,6
4	FugtRum	24,6	40,5	7,8	44,6
5	VV2	10,3	100	7,8	30,0
6	EfterKondensering	8,4	100	6,83	25,6



Figur 50 – Mollierdiagram af scenarie 1 med lav ventilationsrate

8.10.3 Scenarie 2 – høj ventilationsrate

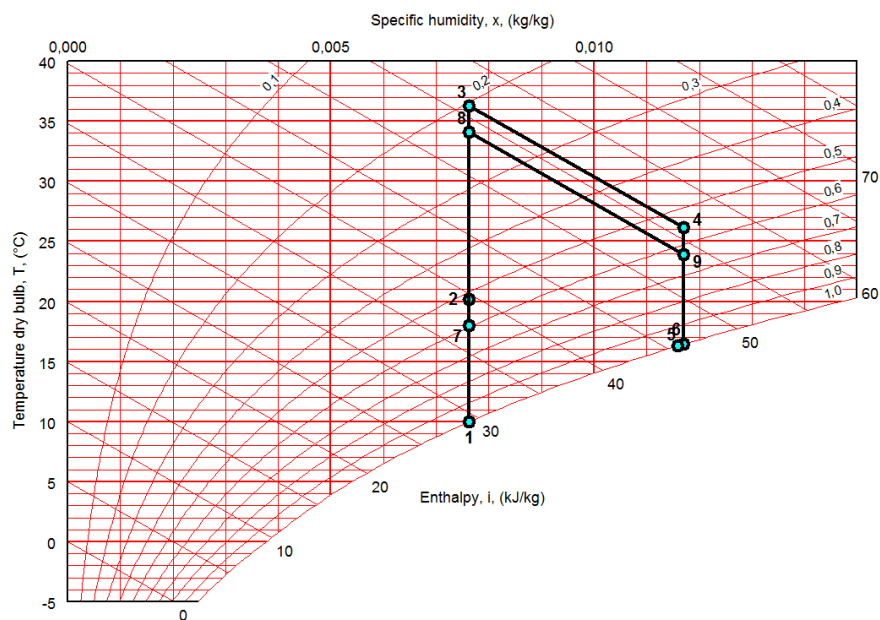
Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	10	100	7,63	29,3
2	VV1	20,2	51,9	7,63	39,7
3	Varmerum	28,3	31,9	7,63	47,9
4	FugtRum	23,4	53,6	9,6	47,9
5	VV2	13,4	100	9,6	37,7
6	EfterKondensering	13,3	100	9,54	37,5
7	VV1_Bypass	18	59,5	7,63	37,4
8	Varmerum2	25,9	36,7	7,63	45,5
9	FugtRum2	20,9	62,2	9,6	45,4



Figur 51 - Mollierdiagram af scenarie 2 med høj ventilationsrate

8.10.4 Scenarie 2 – lav ventilationsrate

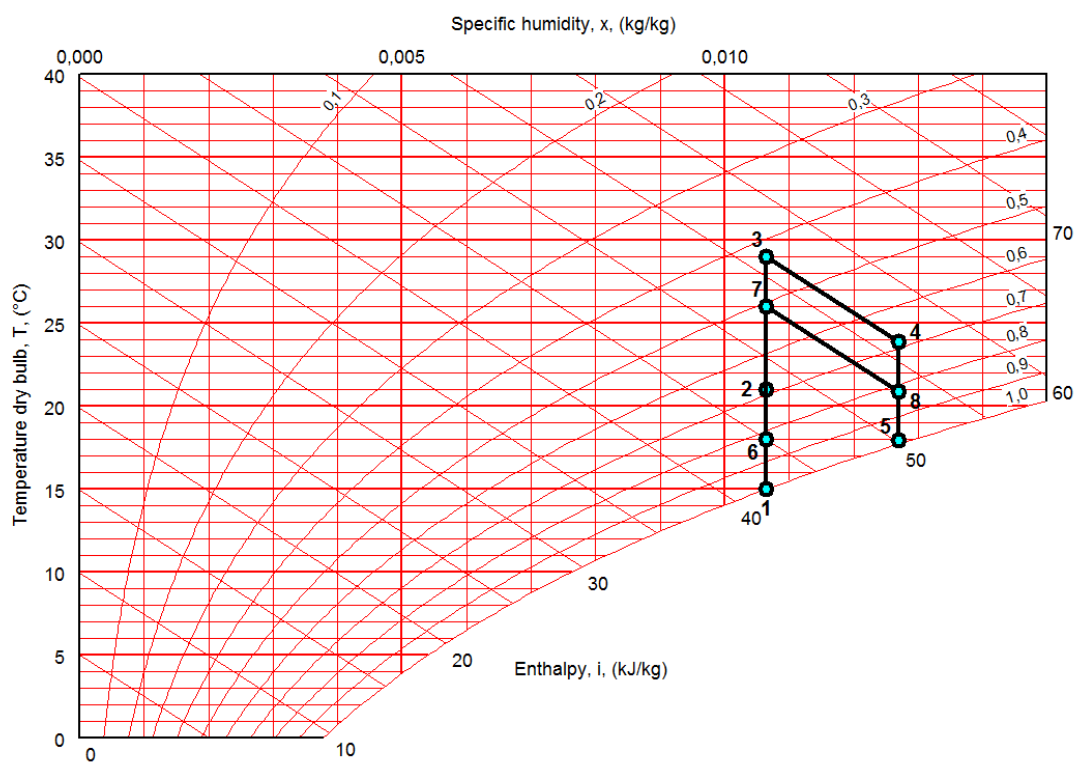
Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	10	100	7,63	29,3
2	VV1	20,2	51,9	7,63	39,7
3	Varmerum	36,3	20,3	7,63	56,1
4	FugtRum	26,2	55,1	11,7	56,1
5	VV2	16,4	100	11,7	46,1
6	EfterKondensering	16,3	100	11,59	45,7
7	VV1_bypass	18	59,5	7,63	37,4
8	Varmerum2	34,1	22,9	7,63	53,8
9	FugtRum2	23,9	63,0	11,7	53,8



Figur 52 – Mollier diagram af scenarie 2 med lav ventilationsrate

8.10.5 Scenarie 3 – høj ventilationsrate

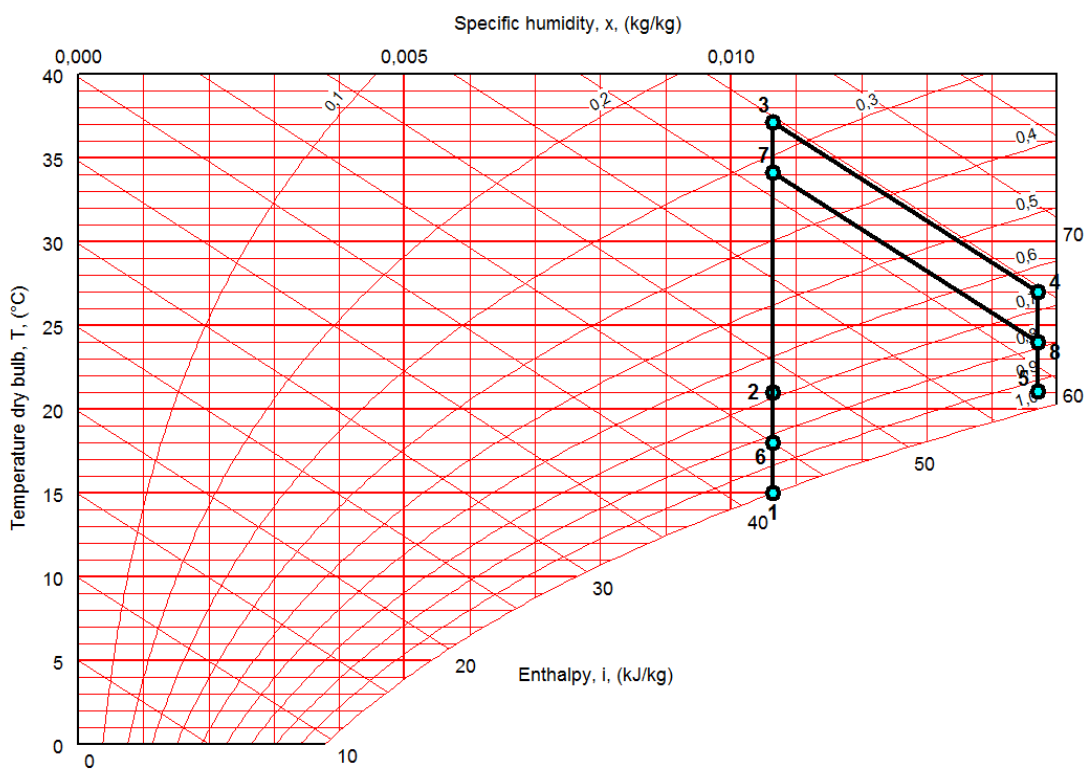
Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	15	100	10,64	42,0
2	VV1	21	68,5	10,64	48,1
3	Varmerum	29	42,5	10,64	56,3
4	FugtRum	23,9	68,5	12,7	56,3
5	VV2	17,9	98,6	12,7	50,2
6	VV1nr2	18	82,5	10,64	45,0
7	Varmerum2	26	50,7	10,64	53,2
8	FugtRum2	20,9	82,3	12,7	53,2



Figur 53 - Mollierdiagram af scenarie 3 med høj ventilationsrate

8.10.6 Scenarie 3 – lav ventilationsrate

Nbr	Name	Temp (°C)	Relative humidity (%)	Specific humidity (g/kg)	Enthalpy (kJ/kg)
1	FriskLuft	15	100	10,64	42,0
2	VV1	21	68,5	10,64	48,1
3	Varmerum	37,1	27,0	10,64	64,6
4	Fugtrum	27,0	65,7	14,7	64,6
5	VV2	21,1	93,7	14,7	58,5
6	VV1nr2	18	82,5	10,64	45,0
7	Varmerum2	34,1	31,8	10,64	61,5
8	Fugtrum2	24,0	78,5	14,7	61,5



Figur 54 - Mollierdiagram af scenarie 3 med lav ventilationsrate med by-pass

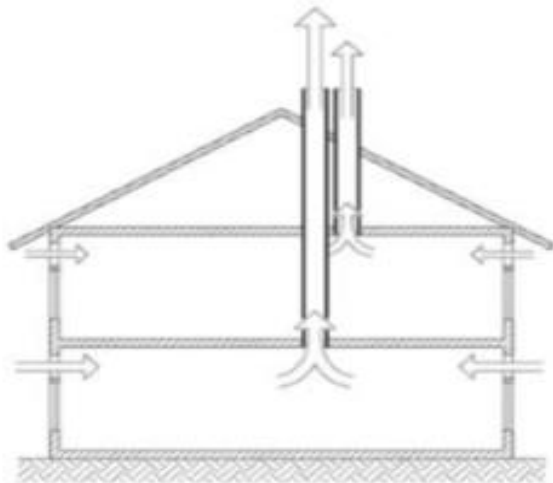
9 Diskussion

9.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation

Der er meget stor forskel på naturlig ventilation, mekanisk udsugning og mekanisk balanceret ventilation. Disse forskelle giver normalt store udsving i ventilationstabet.

Husene i Hamlets Vænge, har oprindeligt været ventileret med naturlig ventilation og for nogle med mekanisk udsugning. Fælles for begge løsninger er at overholde BR kravet til udelufttilførelse på $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$. Der er ved naturlig ventilation ikke mulighed for at varmeveksle mellem udeluften og fraluften. Ved naturlig ventilation er det i det daglige, vanskeligt at vide om man opretholder kravet til luftskifte.

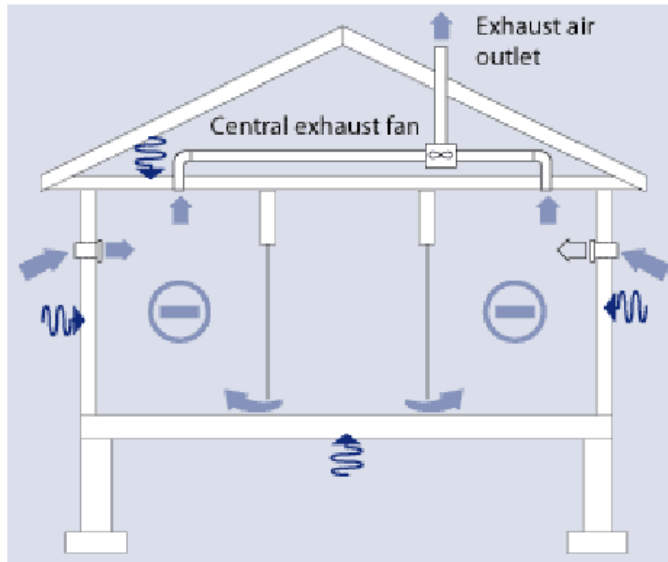
Naturlig ventilation som vist i Figur 55 drives af termiske funktioner med trykforskel således at luften flyttes som vist med de på tegnede pile.



Figur 55 - Naturlig ventilation som opdrifts ventilation. Figur taget fra undervisningsmateriale.

I denne illustration kan det ses, at der er naturlige åbninger for lufttransporten. Det er dette system der illustreres i beregningerne med naturlig ventilation. Hamlets Vænge er bygget med dette system og har løbende fået individuel mekanisk udsugning. Med naturlig ventilation er det udeluftens temperatur der afgør hvad ventilationstabet bliver.

Der er i Hamlets Vænge en del eksisterende udsugningsanlæg som mekanisk udsugning. Der bygges anlæg i Hamlets Vænge område A og D som Figur 56.



Figur 56 - Mekanisk udsugning. Figur taget fra undervisningsmateriale.

Når der ventileres med mekanisk udsugning, er det sammen metodik som naturlig ventilation, med undtagelse af en boksventilator på loftet. Ventilatoren sørger for den trykforskel der skal til, for at flytte luften på enten 10, 15 eller 20 l/s afhængigt af hvor der ventileres fra. Oftest er det henholdsvis bad på 15 l/s og køkken på 20 l/s der ventileres med. Der er, når der regnes på en bygnings luftskifte med mekanisk udsugning, ingen form for veksling af energi mellem udeluften og fraluften. Der er derfor en stort ventilationstab, da den friske tilluft der fortyndes med har udetemperaturen.

Der er i område C udført mekanisk balanceret ventilation som illustreret på Figur 57. Det betyder at der overføres energi mellem udeluften og fraluften.



Figur 57 - Mekanisk balanceret ventilation. Figur taget fra undervisningsmateriale.

Der er ved mekanisk balanceret ventilation en mulighed for stor overførelse af energi. Der regnes på en temperaturvirkningsgrad, som bruges i beregningerne for ventilationstab. Der er derfor et meget mindre ventilationstab, som bevirker at tilluften til rummet ikke skal tilføres den samme mængde eftervarme, som tilfældet med mekanisk udsugning eller naturlig ventilation.

I de beboerinformationsmøder der har været afholdt, har beboerne vist utryghed ved de nye ventilationsanlæg. Beboerne i område C mener at det generelt koster på el- og varmeøkonomien når der ventileres.

Version Be18	Beskrivelse af version	Energibehov kWh/m ² år	Ventilations tab W/m ²
Hamlets Vænge 2 / Esumvej 54.			
A	Før renovering med naturlig ventilation.	123,7	20,8
C	Som A med MBV.	82,6	6,3
Hamlets Vænge 3.			
E	Før renovering med naturlig ventilation.	126,3	20,9
G	Som E med MBV.	84,4	6,3

Tabel 76 - Forskellen med naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation

Som Tabel 76 illustrere er der stor forskel i bygningens samlede energibehov mellem naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation. Der er en meget tydelig besparelse mellem de forskellige ventilationssystemer. Der er regnet med de samme konditioner for alle andre tab. Således er det alene ventilationstabet der gør forskellen i energibehovet.

Forskellen er på hhv. $41,1 \frac{kWh}{m^2}$ pr. år samt $41,9 \frac{kWh}{m^2}$ pr. år.

I forbindelse med de afholdte beboerinformationsmøder, har der ikke været diskuteret forskellen mellem område C med mekanisk balanceret ventilation, og områderne A og D som får mekanisk udsugning. Der er ingen tvivl om, at det giver udfordringer i at skulle forklare beboerne i område A og D at deres varmeregning teknisk set ikke har samme besparelse som i område C.

Grunden til der er mekaniske udsugning i områderne A og D, er at det kun er førstesalen der renoveres. Det betyder at stueetagen og kældrene er naturligt ventileret med supplerende mekanisk udsugning nogen steder.

Skal bygningsreglementet følges efter BR10 og BR18 kan der kun afviges for varmegenvinding, hvis det ikke med rimelighed er muligt. Det kan være vanskeligt at se at dette ikke er tilfældet, da der er ikke er særlige ændringer i bygningerne i områderne A og D i forhold til område C. Med den udførelsesform områderne er renoveret efter, bør der i byggetilladelsen være forklaret at det ikke er tilfældet at den vekslede varme mellem fraluft og udeluft kan udnyttes.

Selvom der kun renoveres på første sal i områderne A og D, kunne varmen sagtens veksles. I første omgang kunne der foretages en tillufts indblæsning i kælderen. Alternativt kunne byggesagen have vurderet på samme ventilationsløsning som i område C.

Dette punkt er vigtigt for Boliggårdens tekniske afdeling, fordi der skal svares med en rimelig forklaring til spørgsmålene om ventilation over for beboerne. Dette især når det må antages, at område A og D får et større energiforbrug i forhold til område C.

9.2 Dimensionerende varmetab

Når der renoveres som i denne sag i Hamlets Vænge er der nogle forhold der kommer til diskussion. Der er i hele område C monteret varmevekslere samt varmtvandsbeholdere til fjernvarme. Disse varmevekslere samt varmtvandsbeholdere er ikke forbundet. De er gjort klar, men kan ikke forbindes til fjernvarme da det ikke forefindes i boligblokkene.

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	5.196
Døre og vinduer	3.531
Linjetab	679
Ventilationstab naturlig ventilation	5.038
I alt	14.444

Tabel 77 - Skematisk tabet i versionen inden renovering og med naturlig ventilation

Bygningsdel	Tab i W
Facade inklusive skråt tag, terrændæk, loft samt kviste og karnapper	3.544
Døre og vinduer	1.633
Linjetab	679
Ventilationstab mekanisk balanceret ventilation	472
I alt	6.328

Tabel 78 - Skematisk tabet i versionen efter renovering og med mekanisk balanceret ventilation

Ovenstående Tabel 77 og Tabel 78 viser hvilke forskelle der er på varmetabene fra da huset blev renoveret i 1980'erne og til den nuværende renovering er færdig. Der er en meget stor forskel i ventilationstabene på 4.566 W, som har stor indflydelse op det totale varmetab.

Effektbehovet efter skemasammensætningen reduceres i én blok i område C med

$$\text{Effektreduktion} = \frac{14.444 - 6.328}{14.444} = 56\%$$

Ligning 22 - Beregning af effektreduktion

For samtlige blokke på én varmecentral betyder det at der nu udnyttes 44 % af rørkapaciteten.

Virkeligheden er nok, at varmesystemet er dimensioneret før den modernisering der var i 1980'erne. Det betyder at forskellen i det dimensionerende varmetab formodentlig er større end de 4.566 W.

Da der ikke er fjernvarme i området, burde det have været undersøgt om der kunne tænkes anderledes i forhold til de tekniske installationer.

Der er en fælles varmecentral i område C Øst og en fælles varmeventral i område C Vest. Da det kun er område C der har fået en 100 % renovering, kunne varmecentralerne tænkes ind på en anden måde.

Der er i forbindelse med moderniseringen af de tekniske installationer udført nye vand, varme og ventilationsinstallationer i hver blok. Disse er tænkt afstemt efter forventning om fjernvarme.

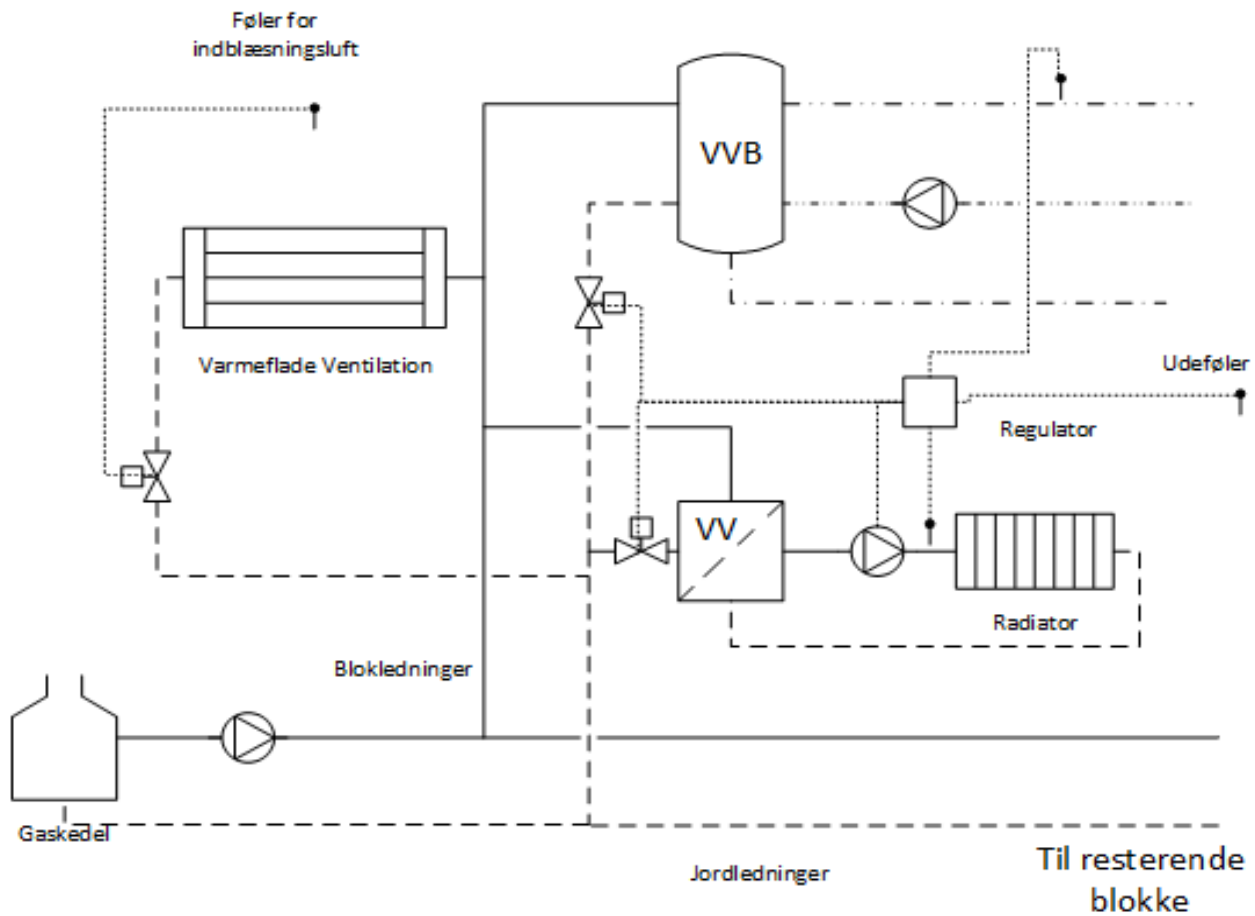
Da fjernvarmen ikke er etableret, er det valgt, at tilslutte de nye vandinstallationer, varmeinstallationer, samt varmeblæsen fra ventilationsanlægget på det eksisterende system.

Det dimensionerende varmetab bruges normalt til at dimensionere de varmegivere der skal etableres. Dette kunne i Hamlets Vænge være både radiatorer og varmeblæser. Det interessante for denne opgaves beregning af det dimensionerende varmetab er i forhold til hovedledningerne.

Da der ikke umiddelbart er godkendt fjernvarme fra beboerne, er det de eksisterende systemer, der skal bære varmebelastningerne i boligblokkene. I den fase hvor renoveringen stod på i Hamlet Vænges område C, kunne tankerne været gået på fjernelse af varmtvandsforsyningen fra den centrale varmtvandsbeholder. I dette tilfælde skal varmtvandsproduktionen flyttes ud i hver af boligblokkene i område C.

Ved at foretage beregningerne på det dimensionerede varmetab fra tidligere, og til den moderniserede udgave, skal der vurderes på det eksisterende varmeanlægs kapacitet i jorden og gennem blokkene. Der ville være muligheder for at se om varmtvandsledningerne i blokkene og i jorden kunne fjernes. Hvis det effektueres, fjernes der jordledningstab fra varmtvandsinstallationen. Der er samtidigt flere reparationer på ledningssystemet som elimineres hvis ledningerne fjernes. Der er i fremtiden en stor risiko for at installationerne bliver meget omkostningstunge i forhold til de interne installationer. Hvis man fjerner jordledningerne og blokledningerne for det varme vand i boligblokkene, skal de nye blokvisse varmtvandsbeholdere bruges.

Det kræver dog at de eksisterende kedler og de eksisterende jordledninger og blokledninger for varmedistributionen, kan bruges som "fjernvarme". Det burde umiddelbart ikke være problematisk, da der fjernes en stor del af det dimensionerende varmetab efter område C er renoveret. Det betyder, at de eksisterende installationer nu er overdimensionerede. Så hvis der vælges en løsning med varmtvands prioritering i alle boligblokkene, kan der dimensioneres i hver blok, efter den effekt der er størst, enten varmeveksleren eller varmtvandsbeholderen.



Figur 58 - Skematisk sammenhæng med gaskedlen som fjernvarme

Som det illustreres i Figur 58 kan den eksisterende varmeinstallation virke som "fjernvarme". Den illustreres her som et ledningssystem der går igennem blokkene og igennem jorden. Der forbindes så en varmecentral i hver blok. Varmecentralens virkemåde diskuteres i et senere kapitel i diskussionen. Da Hamlets Vænges renoveringssag er en støttet helhedsplan, med støtte fra Landsbyggefonden, er det problematisk, at der står støttede komponenter i de lokale varmecentraler i boligblokkene, som ikke bliver brugt.

9.3 Energibehov

9.3.1 Energibehov Version A-H

Der er stor forskel i energibehovet mellem de forskellige versioner. Der er særdeles stor forskel på den oprindelige version A og E i forhold til Version D og H med fjernvarme som vist i Tabel 79.

Version	Renovering Klasse 1 kWh/m ² år	Renovering Klasse 2 kWh/m ² år	Energiramme BR18 kWh/m ² år	Energiramme BR10 kWh/m ² år	Energiramme BR18 Lavenergi kWh/m ² år	Energibehov kWh/m ² år
A	71,6	95,5	41,6	57,2	27	123,7
D	71,6	95,5	41,6	57,2	27	59,7
E	71,6	95,5	41,6	57,2	27	126,3
H	71,6	95,5	41,6	57,2	27	61

Tabel 79 - HV 2 og HV 3 før renovering

Forskellen mellem versionerne skyldes forbedring af klimaskærmen samt forbedring af ventilationstabet, med mekanisk balanceret ventilation. Samtidigt gives der en gevinst for at have fjernvarme via en fjernvarmefaktor på 0,8. Det vil sige at der gives en reduktion på 20 % på opvarmningsformen ved fjernvarme i forhold til gas som afdelingen forsynes med.

Der er en del forskellige måder at vurdere energibehovet. I Be18 er der muligheder for at se renoveringsklasserne og energirammerne. Der er ikke viden i Boliggården om hvordan energibehovet er tiltænkt. Så det vides ikke om der er rettet forventning om renoveringsklasserne, eller der ikke er tænkt i de baner.

Der kunne godt have været en sammenligning i projektets startfase, i forhold til reduktion af energirammen for BR10. Da BR15 har været i spil på det tidspunkt, kunne der have været tænkt, om der kunne gøres mere for at opnå et mindre energibehov.

Der kunne været tænkt i VE baner som giver en reduktion af energibehovet.

Der kunne ligeledes have været set på om BR10's lavenergiklasse kunne indfries.

Det er meget muligt, bygningernes alder taget i betragtning at klarificeringen ikke kunne opnås, men så kunne der været set på hvor der realistisk kunne ligge en grænse.

Når der har været renoveret for DKK 250 millioner i Hamlets Vænge med stort fokus på område C, burde VE været taget ind i overvejelserne.

Der er en forskel i energibehovet mellem Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 og Hamlets Vænge 3. Det skyldes forskelle i bygningernes geografiske placering. Facaderne ligger fortrinsvis i nord – syd i Hamlets Vænge 2 / Esrum vej 54. Hamlets Vænge 3 har facaderne fortrinsvis mod øst og vest. Så solpåvirkningen er en anelse anderledes. Der er en god mulighed med Be18 beregningerne for at sammenligne energibehovene med det faktiske energiforbrug. Der skal omregnes til normalt året, for at foretage sammenligningen.

Der ville også være mulighed for at sammenligne energibehov i Be18 med energibehovene der er i energimærkerne.

Hvis driften konstaterer at der er stor forskel mellem det beregnet energibehov og det faktiske energiforbrug, skal der sættes fokus på de tekniske og bygningsmæssige forhold.

9.3.2 Sommerkomfort

Når der beregnes i Be18, er det ud over energibehovet interessant at se på det kritiske rum. Dette er for at se hvor mange timer der er temperaturer over 27 og 28 °C. BR18 kravet er maksimalt 100 timer over 27 °C og 25 timer over 28 °C⁷⁴. Det kritiske rum udvælges efter en vurdering om det hårdest belastede rum. Hvis der opstår tvivl, skal de andre rum gennemregnes for at sikre det er det rigtige kritiske rum.

Type	$\frac{L}{s \cdot m^2}$		Antal timer over °C		Luftskifte h ⁻¹	
	Sommerdag	Nat + Vinter	27	28	Sommer	Nat + Vinter
A	2	0,30	83	23	3,00	0,46
B	1,5	0,30	92	23	2,30	0,46
E	2,1	0,30	74	20	3,20	0,46
F	1,5	0,30	85	18	2,30	0,46

Tabel 80 - Timer over 27 og 28 °C på HV 2 og HV 3

Der er i Tabel 80 kun vist to fra hver adresse. De andre 4 er parvis ens med henholdsvis Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3.

Med ventilationsraten på $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$, skal der udluftes en del mere for at holde timerne under 27 og 28 °C.

Der er krav til 1,5, 2,0 og 2,1 $\frac{L}{s \cdot m^2}$ for at holde timerne under BR kravet om sommeren. Om natten samt om vinteren kan det normale luftskifte sagtens overholde kravene.

Der er som det ses et nødvendigt luftskifte som ligger noget over de 0,5 h⁻¹ som svarer til de $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$.

Det er derfor nødvendigt at udlufte om sommeren. Så der må påregnes en vis overtemperatur hvis en beboer er udearbejdende og hjemmefra om dagen. Der er ikke med de $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ en mulighed for at fjerne overtemperaturen. Der kan dog styringsmæssigt sikres et højere udelufttilførelse end $0,3 \frac{L}{s \cdot m^2}$ ved forcering af ventilationsanlægget. Det er ikke sikkert at det vil kunne bringe temperaturen ned til komforttemperaturen, men det ville hjælpe noget at ventilerer et tidsrum før beboeren kommer hjem.

⁷⁴ (Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen, 2018, s. Paragraf 385-392 stk. 1)

9.4 Indeklima

Der er foretaget BSim indeklimasimuleringer i henholdsvis Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3. Disse to geografisk forskellige placeringer forventes at have reference til resten af Hamlets Vænges boligblokke.

Der har i simuleringerne været fokus på det termiske indeklima. Der har i forhold til andre indeklimaparametre været foretaget spørgeskemaundersøgelse hos beboerne.

Der er simuleret i BSim i forskellige scenarier. Der er fokuseret på stuerne som er sammensat med køkkenerne i lejlighederne i stueetagen og på 1. sal. Stue og køkkener er sat sammen i en fælles termisk zone i BSim for at opnå en balanceret ventilationsrate.

Der er foretaget simuleringer for at analysere antal timer med temperaturer over 27 og 28 °C. Simuleringerne er foretaget med løsninger for at nedsætte overtemperaturen med gardiner, solafskærmninger, udluftning samt en kombination af udluftning og gardiner.

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	2365	1927
Med ophold	1576	1284
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	87	7
Med ophold	58	4

Tabel 81 - Hamlets Vænge 2 stuen - antal timer over 27 og 28 °C

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	3679	3241
Med ophold	1478	1281
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	43	7
Med ophold	13	0

Tabel 82 - Hamlets Vænge 2 1. sal - antal timer over 27 og 28 °C

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	2277	1927
Med ophold	1518	1226
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	22	0
Med ophold	4	0

Tabel 83 - Hamlets Vænge 3 stuen - antal timer over 27 og 28 °C

Scenarier	Timer over 27°C	Timer over 28°C
Grund simulering hele året		
Med og uden ophold	4117	3591
Med ophold	1609	1445
Udluftning og gardiner hele året		
Med og uden ophold	66	22
Med ophold	23	4

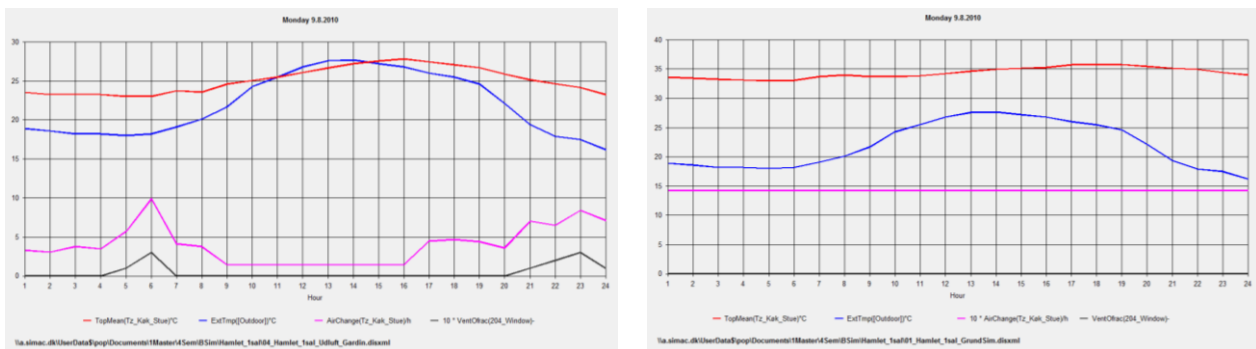
Tabel 84 - Hamlets Vænge 2 1. sal - antal timer over 27 og 28 °C

Der er en klar forbedring af timer over 27 og 28°C med udluftning og gardiner i forhold til grundsimuleringen som er uden udluftning.

Der vil, når udluftningen er nødvendig, være risiko for overtemperaturer når beboerne er længe væk fra boligen f.eks. i en arbejdsituation. Det kan muligvis afhjælpes ved at lade udelufttilførelsen stige over $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$. En forudsætning er at udelufttemperaturen er lavere end rumtemperaturen.

Den opnået komfort ved at vende hjem til en afkølet bolig skal vejes op i mod meromkostningen for energiforbruget til ventilationsanlægget. En kraftig udluftning ved hjemkomst kan nedsætte overtemperaturen relativt hurtigt som et alternativ til forhøjet ventilationsrate.

Årsagen til at der kun er 66 timer over 27 °C og 22 timer over 28 °C er at boligen afkøles om natten ved udluftning. Denne natkøling afhjælper det høje antal timer over 27 og 28 °C der fremgår af grundsimuleringen. I Figur 59 er den røde kurve rumtemperaturen og den blå kurve er udelufttemperaturen. Det to sidste kurver viser åbningsgrad af vindue og udluftning.



Figur 59 - Sammenligning af rumtemperatur ved hhv. udluftning med gardin og grundsimulering

Der er i de forskellige scenarier også foretaget en analyse af varmebalancen, for at kunne vurdere hvad der sker inde i rummet. Der er en forskel på de tab der er i forhold til den belastning der er simuleret med. Der er derfor et større transmissionstab når der ikke udluftes. Transmissionstabet falder herefter i takt med der udluftes.

9.5 Tekniske installationer

Der skal sikres, at der udføres funktionstest, på alle de anlæg der er opbygget omkring den tekniske infrastruktur. Dette gælder især i område A, C og D.

9.5.1 Ventilation

Der er foretaget en indregulering af ventilationsanlæggene af den udførende vvs-installatør. Boliggården har alle indreguleringerne. Der er generelt meget beskedne forskelle på luftmængderne mellem det dimensionerede og det målte. Boliggården har ønsket en kontrol af målingerne. Der er derfor sat en ventilationsrådgiver på denne opgave af Boliggården. Der blev her målt meget store forskelle mellem de dimensionerede og faktiske luftmængder. Der er også af rapportens forfattere foretaget målinger i to blokke, Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3.

Adresse	Udførende VVS - installatør		Ekstern ventilationsfirma		Egne målinger Patrick/Henrik	
Hamlets Vænge 2 Esrumsvej 54	Fraluft	586 m ³ /h	Fraluft	490 m ³ /h	Fraluft	360 m ³ /h
	Tilluft	572 m ³ /h	Tilluft	110 m ³ /h	Tilluft	198 m ³ /h
Hamlets Vænge 3	Fraluft	587 m ³ /h	Fraluft	450 m ³ /h	Fraluft	418 m ³ /h
	Tilluft	580 m ³ /h	Tilluft	145 m ³ /h	Tilluft	163 m ³ /h

Tabel 85 - Målte luftmængder i de to beregnede blokke

Der er en vis sammenligning mellem Boliggårdens ventilationsrådgivers målinger, samt målinger fra rapportens forfattere. Derimod er der ganske stor margen op til de målte luftmængder fra entreprenøren. Der er en vis risiko for, at der er foretaget en indregulering på stedet af entreprenøren som ikke er korrekt i forhold til de projekterede værdier. Der bør kontrolmåles på alle ventilationsanlæggene så de bliver indreguleret korrekt.

Da det især er luftmængden for tilluft der er meget mindre end det beregnede, er der ikke den optimale veksling af varme mellem fraluften og udeluften. Undertrykket i lejemålene vil derfor være høje og der vil så automatisk blive suppleret med en meget stor infiltration. Det betyder at energiforbruget stiger da ventilationstabet stiger. Der er målt ned til $110 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ hvor der skulle have været $447 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$. Men i forhold til dimensioneringsraten burde det være endnu større. Der er regnet i dimensioneringen med balance mellem tilluft og fraluft.

Hovedluftmængder m ³ /h	Fraluft m ³ /h	Fraluft forceret m ³ /h	Tilluft
	576	864	447

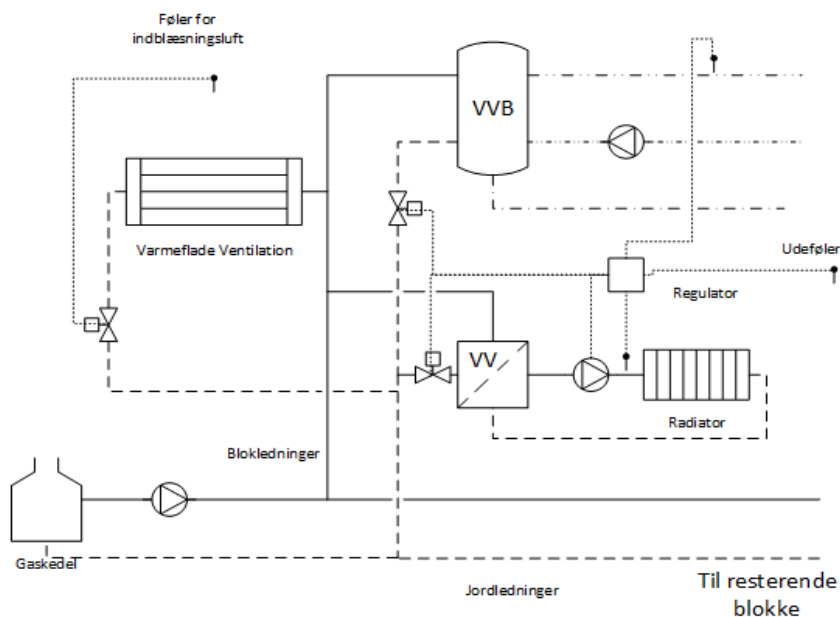
Tabel 86 - Hovedluftmængder i hver af de to beregnede blokke

Tabel 86 viser en fraluftmængde på $576 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$ som også i dimensioneringsforudsætningerne skal være samme luftrate på udelufttilførelsen. Der er derfor yderligere en forskel på $576 - 447 = 129 \frac{\text{m}^3}{\text{t}}$.

9.5.2 Varme

Der er i den beregnede blok et årligt tab på 6.018 kWh. Dette tab reduceres til 1.682 kWh ved overgang til ekstern fjernvarmeforsyning. En del af ledningstabet vil dog gå til opvarmning af bygningen.

Nedenstående tegning viser de interne varmecentraler i område C. Der er fokus på varmeanlæggenes interne opsætning i område C.



Figur 60 - Styringen af de lokale varmecentraler i område C

Hvis der ikke kommer fjernvarme i Hamlets Vænge, skal de interne blokvarmecentraler styres på en anden måde. Der er på nuværende tidspunkt en centralstyring på begge varmecentraler i område C øst og område C vest. Så fremløbstemperaturen styres centralt. Der er vejrkompenseret drift i områderne.

Hver af de to gasopvarmede kedelanlæg har en afgrening til den centrale varmtvandsforsyning, og varmeledninger gennem blokkene og i jorden. Den vejrkompenseret drift giver mulighed for at styre efter varmekurver. Det er dog således, at der drives ret høje temperaturer ud i radiatorkredsene på grund af u hensigtsmæssigt stillede varmekurver. Dette forhold er for nyligt ændret. Det kan betyde at varmetabet / ledningstabet muligvis har været højere end det estimerede på DKK 65.000,-.

Hvis varmtvandskredsen frasorteres og der produceres varmt vand i hver blok, kan de tekniske installationer styres internt i blokkene som vist i Figur 60. Ledningstabet fra varmtvandsforsyningen fjernes som en ekstra gevinst. Der er både med fjernvarme i forhold til egen kedeldrift som blokvarme, og med fjernvarme fra forsyningen, mulighed for at styre anlæggene med de tre motorventiler vist i Figur 60. Der er en varmeveksler som alene leverer varme til radiatorkredsen. Den styres af en varmekurve som sikrer den nødvendige fremløbstemperatur til radiatorkredsen. Der styres efter en udetemperatur som sætter den nødvendige fremløbstemperatur. Ved en given udetemperatur f.eks. 18°C stopper pumpen og ventilen lukker. Det er normalt udtrykt som sommerstop.

Der er så ud over radiatorkredsen en varmeplade i ventilationsanlægget som styres af en motorventil med en reference til indblæsningstemperaturen. Dermed forsøges det at holde en ensartet tilluft på 18 °C. Der er ligeledes en lokal varmegvandsbeholder som styres af varmekredsen. Der er mulighed for at styre de forskellige komponenter fra den samme regulator. Som opsætningen er nu, styres varmepladen til ventilationen, på panelet som styrer ventilationsanlægget.

Vi kender ikke dimensioneringsforholdene i radiator kredsen, men de er formodentlig dimensioneret til minus 12 °C plus 20 °C. Der kan derfor eksperimenteres med lavere fremløbstemperatur, da der er et mindre ventilationstab, med mekanisk balanceret ventilation end ved naturlig ventilation. Hvis der er god afstemning i alle tre kredsløb, kan det have en positiv indflydelse på periodeafkølingen og dermed årsafkølingen. Dette er især vigtigt med fjernvarme. Hvis afdelingen ikke får fjernvarme, kan der når der skiftes gaskedel tænkes i kondenserende drift. Med kondenserende drift kræves en lav returløbstemperatur. Årsafkølingen i forsyningen er vigtig da der er afregning af både energimængden i MWh, men også afregning for den brugte vandmængde i m³.

De interne systemer omkring varmekredsløbene er opdelt i det antal lejemål der er. Således er der fire opdelinger på Hamlets Vænge 2 / Esrumvej 54 samt Hamlets Vænge 3. På kredsløbene er der energiafmåling over en energimåler. Så den energimængde der aftages i en enkelt lejeboelig i område C måles efter Ligning 15.

$$E = m * c * \Delta T * t$$

Det betyder at der er fuld afregning for hvert lejemål. Der skal så afregnes for det tab der er i distributionssystemet, samt energiforbruget til ventilationsvarmeffladen og varmtvandsbeholderen. Det kan aflæses ved at måle energiforbruget til fjernvarmen eller uden fjernvarme med en intern varmemåling. Der kan så stilles et forbrugsregnestykke i forhold til m²-tab op med Ligning 23:

$$E_1 = E_2 - E_3 - E_4 - E_5$$

Ligning 23 - Summeret energitab

Symbol	Forklaring og enheder
E ₁	Tab til m ² fordeling i kWh
E ₂	Forbrug på hovedmåleren i kWh
E ₃	Forbrug til varmtvand i kWh
E ₄	Forbrug ventilationsvarmefflade i kWh
E ₅	Forbrug, sum af alle 4 energimålere i kWh.

Tabel 87 - Symboler og enheder

Derfor er det vigtigt for et fair varmeregnskab at skabe så gode betingelser for afmåling som muligt. Boliggården skal så kunne håndtere denne regnskabsmodel.

Der er udover ovenstående mulighed for at spare på ledningstabet hvis der ikke kommer fjernvarme, dette ved at isolerer bedre på varmedistributionssystemet.

Det kan ses i resultatafsnittet, at der spares en del på varmetabet for rørene gennem boligblokkene og i jorden, hvis der kommer fjernvarme. Med fjernvarme er stækningerne korte og med den rigtige isoleringstykkelse.

Der kan skabes mulighed for, at der yderligere kan styres lokalt i lejemålene med automatiske termostatventiler. Der kan ved denne styreform styres med forskellige zoner. Det er en meget god styringsform, at der styres centralt efter en given udetemperatur, og beboeren har en mulighed for at styre i zoneopdeling.

9.5.3 Varmtvand

Der er i den beregnede blok et årligt tab på 5.528 kWh. Dette tab reduceres til 2.610 kWh ved overgang til ekstern fjernvarmeforsyning. En del af ledningstabet vil dog gå til opvarmning af bygningen.

Med udgangspunkt i Figur 60, er der muligheder for at styre varmtvandssystemet på en anden måde end det er nu. Dette gælder både med blokvarme som fjernvarme og egentlig fjernvarme. Når de nye interne varmtvandsbeholdere i boligblokkene benyttes, bliver rørstækningen så kort, at risikoen for legionella nedsættes drastisk.

Varmtvandsbeholderen styrer efter en temperatur i enten varmtvandsledningen eller i varmtvandsbeholderen. Der skal stadig holdes minimum 50°C på hele varmtvandssystemet. Det er ligeledes en stor fordel, at der ikke skal fejlsøges på f.eks. legionella på et stort system som det er i øjeblikket. Fordelingen af energiforbruget til opvarmning af varmt brugsvand skal afregnes efter varmtvandsmålere. Således omregnes energimåleren over varmtvandsbeholderen til liter varmtvand som der afregnes efter.

Der kan opsættes enten termiske ventiler eller statiske ventiler til styring af varmtvandscirkulations temperaturen. Det betyder at der hele tiden holdes en temperatur der kan give en legionellafri drift.

Der er som illustreret i afsnit 8, en del at spare på ledningstabet på varmtvandsinstallationerne, når der regnes på de nye installationer med fjernvarme, i forhold til ledningerne gennem blokkene og i jorden.

9.5.4 Jordledninger

Jordledningstabet er estimeret fra rådgiver. Der er foretaget en beregning for sammenligningen. Nedenstående er skemaer for estimatet og en beregning for varme og varmtvand.

Jordledninger	Besparelse i DKK	Besparelse omregnet til m ³ N-gas	Besparelse omregnet til kWh
Varmt vand	65.000	8.125	89.375
og			
Centralvarme			

Tabel 88 - Estimeret årligt jordledningstab

Varmetransmissionskoefficienterne samt rørlængderne og temperaturer i nedstående tabeller er estimeret.

For beregning af ledningstabet beregnes der efter Ligning 24.

$$Q = U_1 * L * (T_{rør} - T_{omgivelser})$$

Ligning 24 - Ledningstab

Varmetransmissions-koefficient [W / mK]	Rørinstallationer Varme [m]	Temp. rør [°C]	Temp. jord [°C]	Tab i installationer [W]
0,29	300	65	10	4.785
0,29	300	50	10	3.480
Sum				8.265

Tabel 89 - Beregning af jordledningstab for varmeinstallation

Årligt varmetab i varmeinstallationen i jorden er

$$E_{tab} = 8.265 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 72.401 \text{ kWh}$$

Varmetransmissions- koefficient [W / mK]	Rørinstallationer Varmtvand [m]	Temp. rør [°C]	Temp. jord [°C]	Tab i installationer [W]
0,29	300	60	10	4.350
0,24	300	55	10	3.240
Sum				7.590

Tabel 90 - Beregning af jordledningstab for varmtvandsinstallation

Årligt varmetab i varmtvandsinstallationen i jorden er

$$E = 7.590 \text{ W} * 24 \text{ timer} * 365 \text{ dage} = 66.488 \text{ kWh}$$

Den samlede sum for det beregnede ledningstab er

$$\sum E_{tab} = 72.401 \text{ kWh} + 66.488 \text{ kWh} = 138.890 \text{ kWh}$$

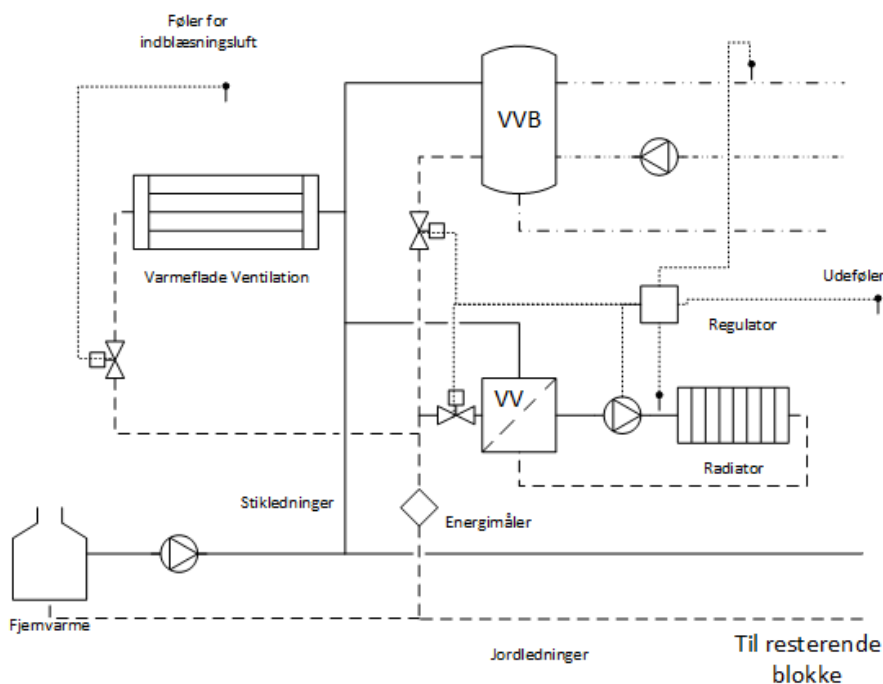
Der er altså en stor difference imellem det estimerede tab og det faktiske tab.

Der er derfor en besparelse om året på 66.488 kWh, hvis varmtvandsforsyningen alene fjernes. Der vil komme en mindre stigning i ledningstabet på varmesiden hvis blokvarmecentralerne bruges som fjernvarme. Der er så ud over energibesparelse, besparelser på de løbende omkostninger der må forventes på det gamle jordledningssystem.

Varmetransmissionskoefficienten U_1 er et gennemsnit taget fra Energistyrelsens håndbog for energikonsulenter. Der er regnet med $\varnothing 60$ mm rør for varme og $\varnothing 60$ mm samt $\varnothing 32$ mm rør for varmtvand.

9.5.5 Fjernvarme

Det er muligt for hele Hamlets Vænge at få fjernvarme i alle boligblokkene. Der kan for en årlig omkostning på DKK 108.000 for hele Hamlets Vænge sikres fjernvarme i alle boligblokkene. NEM fjernvarme hedder konceptet, og det inkluderer alt arbejde med at lægge fjernvarme ind på primærsiden i boligblokkene, inklusiv en varmeveksler til varme og varmtvand i hver boligblok. Forsyningen forventer at de nye blokvisse varmecentraler i område C kan benyttes til fjernvarme. Der er ligeledes i mulighed for individuel fjernvarme til hver forbruger. Dette har en årlig omkostning på DKK 399.000 for hele Hamlets Vænge. Dette koncept er dog problematisk i områderne A, B og D fordi der her er centrale systemer med stigestrange som er svære at separerer.



Figur 61 - Styringen af de lokale varmecentraler med fjernvarme i område C

Fjernvarme i Hamlets Vænges boligblokke ville se ud som ovenstående tegning. Der ville være mulighed for at kunne styre anlæggene på samme måde som ved at bruge blokvarmen som fjernvarme. Der er en styringsreference til henholdsvis varmeveksler, varmtvandsbeholder og varmefladen til ventilationsanlægget. Der er en stor fordel i at overgå til fjernvarme, da der ikke skal investeres i nye kedler og ledningstab samt omkostninger for vedligehold af jord- og blokledninger elimineres. Der er på sigt en klar fordel i at afdelingen overgår til fjernvarme. Det bliver væsentlig nemmere for både driften og for afdelingen, hvis fjernvarme indføres. Det vil også give afdelingen en bedre forsyningssikkerhed, end der er nu med den eksisterende tekniske infrastruktur. Der er ligeledes en helt anden sikkerhed i forhold til legionellaproblematikken.

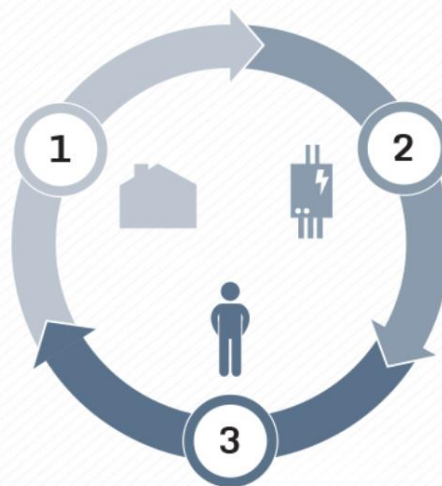
9.6 Strategisk styring

Når varmecentralerne i Hamlets Vænge skal producere varme og varmtvand giver det mening, at det gøres bedst muligt. Der er i nedenstående 3 trin en god indikation for hvordan man forbedrer forhold til en lavere varmeregning.

De 3 trin til en lavere varmeregning

1. Se på boligen

Din boligs ydre dele er det, der betyder mest for din varmeregning. Hvis du forbedrer den ved at isolere og skifte eller renovere vinduer, er du godt på vej mod en lavere regning.



2. Overvej din varmeform

Når din bolig er tæt og holder varmen inde, bør du kigge på din opvarmningsform. Måske kan du spare ved at skifte opvarmningsform?

3. Se på vanerne

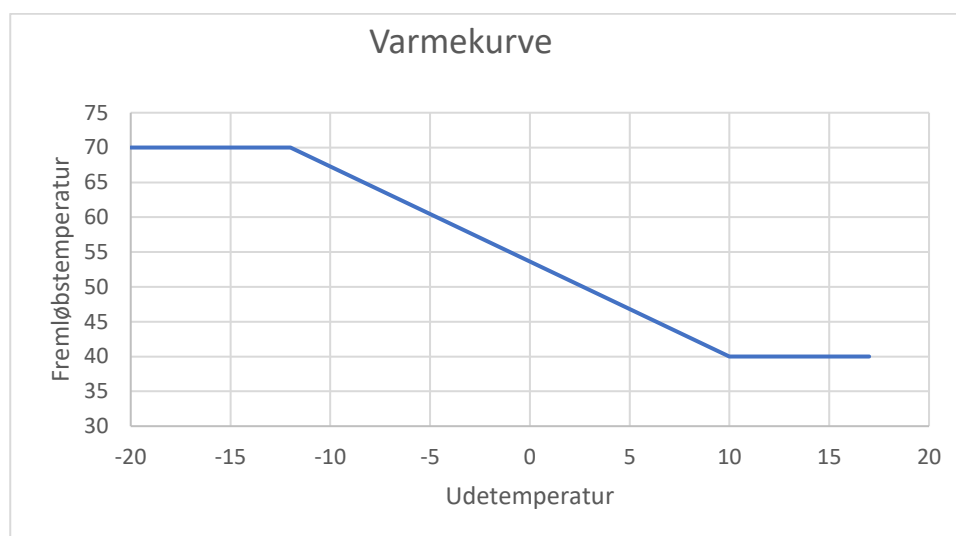
Den sidste indsats, du kan gøre for din varmeregning, er at gå dine vaner efter i sømmene. Gode energivaner giver en lavere varmeregning.

Figur 62 - Energistyrelsens 3 trin til en lavere varmeregning

En god styringsstrategi skal først og fremmest være god for komforten i en bolig. Dernæst er det vigtigt, at styringsstrategien giver det bedste udgangspunkt til energiforbruget. Således kan den skitsering der er i Figur 62 med de 3 trin, være en god rettesnor.

9.6.1 Varme

Når der styres med vejrkompenseret drift, kan nedenstående varmekurve bruges. Dette gælder for de fælles varmecentraler i område C. Hvis der er fjernvarme ved blokvarme eller lokal forsyning styres de lokale varmecentralerne i blokkene i område C med samme type varmekurve.



Figur 63 - Varmekurve

Varmekurven kan justeres efter behov. Det handler dog om at sikre en temperatur på den fjerneste stigestreg, som kan opretholde en inde temperatur på 21°C. Varmkurven styres efter en udetemperatur og en fremløbstemperatur. Der reguleres over en motorventil som refererer til en regulator der får signaler fra en fremløbsføler samt en udeføler. Denne styreform er rigtig god til at styre som centralstyring. Styringerne kan i dag fås med webmonterede moduler. Det giver driftspersonalet god mulighed for at kunne styre fremløbstemperaturen ned på et leje hvor der rammes en indetemperatur som ønsket.

Styreformerne kan overføres til energistyringssystemer. Der vil herefter være muligheder for at se på forbrugende løbende i energistyringssystemet, og rette den tekniske infrastruktur til, så der opnås god komfort over en energirigtig platform.

9.6.2 Varmtvandsforsyning

I forhold til at bruge varmecentralerne som fjernvarme, og fjerne varmtvandsforsyningen som den er nu, fjernes der en stor problemstilling i forhold til legionella. Det store varmtvandssystem mangler overvågning af temperatur. Således er der ikke nogen som egentlig ved hvordan temperatursættet er hen over systemet. Der er derfor en markant risiko for, at systemet kan få et u hensigtsmæssigt niveau af legionellabakterier.

Der vil i område A og i område D være de samme muligheder hvis der kommer fjernvarme. Hvis der ikke kommer fjernvarme, har de ikke muligheder for lokal blokstyring som område C. I Så fald skal der være væsentligt mere fokus på installationernes driftstilstand. Der skal opstilles kriterier for hvor der skal måles for at sikre en god og sund varmtvandsforsyning.

I forhold til legionellabekæmpelse er der mulighed for at doserer med saltanlæg, hvor en klorbrine doseres i varmtvandsforsyningen afhængigt af forbruget. Kloret nedbryder legionellabakterierne, men det bedste er at undgå stor opblomstring af bakterierne ved at styre anlæggene korrekt. Dette gælder både for de store anlæg i Hamlets Vænge og de små lokale anlæg som forhåbentligt kommer i brug i fremtiden.

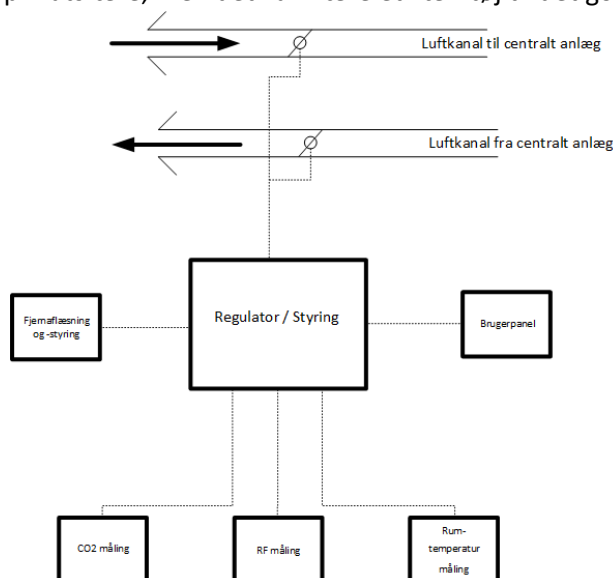
9.6.3 Rådgivning

Når styreprocessen gennemgås, kan det undre lidt, at der ikke har været tænkt over forhold som brug af blokvarmecentralerne, som fjernvarme. Det burde have været et logisk tiltag at se på. Ligeledes har der været mulighed for at forme installationer efter principper med (VE).

Det er lidt underligt at der har været forskellige rådgiver på sagen inklusive bygherrerådgivere fra Boliggården, men ingen har tænkt de mulige styringsstrategiske forhold. Ligeledes er det problematisk, at der ikke fra starten af helhedsplanen har været lavet en styringsstrategi for de meget store varmtvandsforsyninger.

9.6.4 Ventilation

Der er en del udfordringer med de centrale ventilationsanlæg som er brugt i Hamlets Vænge. Der er blandt andet ikke mulighed for at styre egen ventilationsrate. Selv om udeluftstilførelsen skal afstemmes efter $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ generelt kunne der tænkes installeret decentralstyring. Hvis der individuelt styres efter parametre som vises i Figur 64 ville der skabes mulighed for variable ventilationsrater. Hvis bygningsreglementet sætter krav til udelufttilførelsen på baggrund af fugtproblemer, kan der styres efter det. Styringen i Figur 64 viser at der kan styres efter spjæld i kanalerne til de enkelte rum. Spjældene styres efter en regulator som referere til IC-Meter med målinger på RF, CO₂ samt indetemperatur. Det ville kunne sættes sammen med et brugerpanel til beboeren og, hvis det tillades, en fjernaflæsning til driften. Det er selvfølgelig et indgreb i den enkelte lejers privatsfære, men det kan være et værktøj til det gode indeklima.



Figur 64 - Styring af ventilationsrater

9.7 Forbrug, varme og varmtvand

Der er et større varmekonsum i område C end det beregnede energibehov. Det er endda et ret stort forskel mellem disse forhold. Der generelt en markant forskel på de forskellige områder som vist i Tabel 91. Der er ligeledes en forskel mellem blokkene i område B målt i kWh/m². Der må derfor være en styringsmæssig og en beboeradfærdsmæssig udfordring i område B.

Boliggårdens afdeling 10 Hamlets Vænge	kWh /m ²	Bemærkninger
Område C Øst	95,2	Omregnet til normalt år
Område C Vest	100,5	Omregnet til normalt år
Område A	111,3	Omregnet til normalt år
Område B	84,2	Omregnet til normalt år
Boliggårdens afdeling 7 Peder Skrams Vej	123,8	Omregnet til normalt år
Boliggårdens afdeling 2 Kongevejen	94,8	Omregnet til normalt år

Tabel 91 - Sammenligning mellem afdelinger i Boliggården

Der foretages en sammenligning mellem områderne i Hamlets Vænge og to etageboliger i to af Boliggårdens andre afdelinger. Her er der i Tabel 91 foretaget en sammenligning med normalt år som udgangspunkt. Der er i afdeling 7, Peder Skrams Vej, fire blokke med jordledninger mellem blokkene. I afdeling 2, Kongevejen, er der ingen jordledninger. Tabel 91 viser helt klart ulemperne i at have systemer med jordledninger mellem bygningerne. Det er jo ligeledes i Hamlets Vænge interessant at se forskellen i de forskellige områder. Her er det også et klart større forbrug i områderne med jordledninger. Samtidigt er der i område C mekanisk balanceret ventilation som giver et mindre ventilationstab. Område C burde ligge lavere men fordi der ikke ventileres med den ventilationsrate som er planlagt, betyder det at der er et stort infiltrationstab.

9.8 Dynamisk varmeregnskab

Da varmemeforbrug skal fordeles via et varmefordelingsregnskab, bliver der ikke nødvendigvis fokus på varmemeforbruget over året for den enkelte beboer. Det opleves i Boliggården, at der først er interesse for varmeregnskabet, når en beboer skal betale for et merforbrug, på grund af et større varmemeforbrug. Der er her en god mulighed for at afprøve det dynamiske varmeregnskab. Det er ikke altid retfærdigt når der afregnes efter varmefordelingsmetoden. Der er folk som ikke sætter varme på deres lejemål og dermed er årsag til naboernes varmeregninger bliver større. Det betyder samtidigt at der er risiko for det lejemål som ikke sætter varme på, og måske ikke skifter luften med en given ventilationsrate, får skimmel problemer. Ved disse problemer kan de dynamiske varmeregnskab give en mere retfærdig metode. Der er som illustreret nedenstående, klare krav i det dynamisk varmeregnskab som giver det gode indeklima.

Indeklimaklasser	Dårlig	Mindre god/Kritisk	God	Mindre god/Kritisk	Dårlig
					
Temperatur °C	Under 17	17-19	19-22	22-24	Over 24
Relativ Fugtighed %			Under 45	45-55	Over 55
Frisk luft (CO ₂ indhold, ppm)			Under 800	800-1.000	Over 1.000

Figur 65 - Måleparametre for indeklima

Der er en god rimelighed i at se på måden den enkelte beboer lever i sit indeklima. Når Boliggårdens skimmelkonti stiger fra 2017 til 2018 med DKK 3 millioner, er der et besparelspotentiale i at leve i et godt indeklima. Så udover at spare på driften ved det gode indeklima, bor beboeren jo også i et sundere miljø. I skemaet fra IC-Meter er der ikke sat et minimum % RF. Men der kan sagtens tages udgangspunkt i arbejdstilsynet anbefalinger på minimum 25 % RF. Hvis beboerne kan forliges med indeklimamodellen i forhold til varmeregnskaber, er der absolut muligheder for at skabe et godt indeklima. Systemet giver masser af muligheder for at følge sit eget forbrug. Samtidigt kan det tillades på et beboermøde, at driften kan følge med i forbrugsudviklingen på månedsbasis. Ydermere kan der produceres et dynamisk energimærke løbende. Det er helt klart et system som kan udvikles i en rigtig god retning. Der skal dog gives tilladelse fra staten til denne form for varmeregnskab.

9.9 Interview

Der er i forhold til spørgeskema til beboerne en forholdsvis beskeden feedback. Det betyder, at outputtet ikke er fuldstændigt validt i forhold til alle lejemålene. Det kan dog give en vis indikation om hvordan forholdene opfattes. Der er generelt en opfattelse af at indetemperaturen er god. Det vil sige at det termiske indeklima er godt.

Der er ikke mange der kender deres varmeregnskabsprincip. Der er dog heldigvis et overvejende flertal der har varme på alle radiatorerne.

Der er mange som mener at luftkvaliteten er god, hvilket er af stor betydning. Det betyder at parametrene omkring termisk indeklima og luftkvalitetsmæssigt indeklima er rigtigt godt. Der er dog mange af de adspurgte der mener, at der er tør luft i opholdsrummene. Der er blandede opfattelser af trækgener. Der er overvejende flertal der mener de har et godt indeklima. Der er ikke mange som oplever problemer med slimhinder.

Driftspersonalet har en oplevelse af at have stået med en stor viden om beboerne og byggeriet som ikke er sat i spil. De mener ikke at have været en del af en proces der kunne give dem medejerskab til helhedsplanen. Driftspersonalet får de problemer beboerne står med i dagligdagen og skal håndtere dem. Driftspersonalet har ikke indsigt i hvad der er bygget ind i de forskellige områder og hvordan det virker. Det giver dem en del frustrationer i hverdagen. Driftspersonalet hører om forhold som f.eks. runde ringe omkring indblæsningsarmaturerne på grund af coandaeffekten som de ikke kan forklare ordentligt til beboerne. Tilbage står driften med en dårlig fornemmelse i forhold til helhedsplanen. Det er ærgerligt da det er driften der skal overtage renoveringen og drifte bygningerne i mange år fremover.

Projektlederen forklarer at der har været mange problemer i helhedsplanen. Han er dog først kommet på sagen for halvandet år siden. Men han kan se at der ikke er tænkt processer på en fornuftig måde. Samtidigt er økonomien en hæmsko for resten af renoveringen. Der er et dårligt samarbejde mellem entreprenør, rådgivere og Boliggården. Projektlederen har haft travlt med at styre sagen som har været vanskelig. Han er også uforstående over for de meget store beløb der renoveres for og de meget beskedne løsninger der er fremkommet.

9.10 Ventilationsrate

Scenarierne illustrerer de værste tænkelige tilstande ved tre perioder af året, vinter, forår/efterår og sommer. Den relative fugtighed er sat til 100 % for at finde ud af om en lavere ventilationsrate vil kunne opretholde en tilfredsstillende indeklima med hensyn til RF mellem 25 og 45 %

Scenarie	Udetemp [°C]	Temp. Indblæs [°C]	Temp. Rum [°C]	RF [%]	Absolut fugt [g/kg]	Entalpi [kJ/kg]
1 Høj	0	18,7	21,6	17,4	3,77	36,4
1 Lav	0	18,7	24,6	40,5	7,8	44,6
2 Høj Bypass	10	18	20,9	62,2	9,6	45,4
2 Lav Bypass	10	18	23,9	63,0	11,7	53,8
3 Høj Bypass	15	18	20,9	82,3	12,7	53,2
3 Lav Bypass	15	18	24,0	78,5	14,7	61,5

Tabel 92 - Resultatoversigt af ventilationsscenarier

I scenarie 1 er RF så lav ved høj ventilationsrate at det kan virke generende for beboerne. Det er et normalt fænomen man oplever om vinteren, og det giver beboerne i Hamlets Vænge udtryk for. Ved at sænke ventilationsrate til det halv opretholdes en fornuftig RF men temperaturen i boligen er uforholdsmæssig høj. Der bør foretages en mere detaljeret beregning for at finde den perfekte balance mellem temperatur og RF.

I scenarie 2 og 3 er det ikke muligt at opretholde en RF på under 45 % hverken med høj eller lav ventilationsrate på grund af den høje fugtmængde i udeluften. For at afhjælpe denne problemstilling er det nødvendigt at installere en køleflade for at slå vandet ud af luften.

10 Konklusion

10.1 Ventilation med og uden mekanisk balanceret ventilation

Vi kan konstatere at der er et besparelspotentiale ved at genvinde energi mellem fraluften og udeluften.

10.2 Dimensionerende varmetab

De eksisterende blokvarmecentraler i område C samt jordledninger og blokledninger kan bruges som "fjernvarme", og dermed kan de nye varme- og varmtvandsinstallationer i blokkene udnyttes fuld ud.

For områderne A og D er dette ikke tilfældet da de stadig har fælles sammenhængende installationer.

10.3 Energibehov

10.3.1 Energibehov Version A-H

Der opnås det laveste energibehov ved den renoverede udgave med fjernvarme i forhold til blokvarme. Det skyldes fjernvarmefaktoren.

Mekanisk balanceret ventilation bidrager til et lavere energibehov.

10.3.2 Sommerkomfort

For at opretholde sommerkomfort skal der udluftes gennem vinduerne.

10.4 Termisk indeklime blok Hamlets Vænge 2/Esrumvej 54 og Hamlets Vænge 3

For at opretholde et godt termisk indeklime i forhold til overtemperatur i henhold til kravene i BR18, skal der benyttes gardiner ved kraftigt solindfald, samt udluftes når beboerne er hjemme.

Temperaturudsving for stuen og 1 sal skyldes forskelle i bygningskonstruktionerne.

10.5 Tekniske installationer

10.5.1 Ventilation

Den indreguleringsrapport der foreligger afviger kraftigt fra kontrolmålerapporten.

Varmeforbruget er uforholdsmæssigt højt i forhold til det beregnede energibehov fordi udeluftmængden er meget lavt i forhold til fraluftmængden.

Yderligere indregulering bør foretages.

10.5.2 Varme

Ved at bruge de eksisterende varmecentraler i område C som fjernvarme, kan de nye blokvis centraler udnyttes som de er tiltænkt. Det er muligt at lave sammensat styring blokvis.

10.5.3 Varmtvand

Ved brug af varmecentralerne som fjernvarme, kan de varmtvandsbeholdere der er sat op i område C benyttes. Dermed minimeres ledningstab i jorden og gennem boligblokkene samt legionellaproblemet.

10.5.4 Jordledninger

Der kan opnås en reel besparelse på ledningstabet i jorden, ved at fjerne varmtvandsinstallationerne i jorden og omlægge varmvandsproduktionen internt i blokken.

10.5.5 Fjernvarme

Det er muligt at få fjernvarme uden større etableringsomkostninger. Ved overgang til fjernvarme elimineres ledningstab i det gamle jordledningsnet samt installationerne igennem blokkene.

10.6 Strategisk styring

Der kan etableres styring som centralt kan styre og overvåge alle tekniske installationer.

Varmeforbruget kan nedsættes ved at informere beboere om forbrugsmønstre.

Styring af varme kan optimeres til lavere fremløbstemperatur.

Overvågning af varmtvandssystemet kan forhindre opblomstring af legionella.

Der er mulighed for individuel styring af de tekniske installationer hvor der samtidigt tages hensyn til indeklima og varmekonsum.

10.7 Forbrug, varme og varmtvand

Område C har lavere varmekonsum pr. m² end område A. Sammenlignet med Boliggårdens etageejendom i afdeling 7, som også har jordledninger, ligger område C væsentlig lavere og område A noget lavere.

Der er blandt andet på grund af jordledninger et højere varmekonsum i område A og C i forhold til område B.

Der er forskel på varmekonsumet mellem blokkene i område B, som er uden jordledninger. Det antages at være styrings og brugeradfærd.

10.8 Dynamisk varmeregnskab

Det vurderes at dynamisk varmeregnskab er en fair måde at afregne varmekonsum på for de forbrugere der opretholder et sundt indeklima.

10.9 Interview

Beboerne i område C syntes de har fået et forbedret indeklima.

Beboerne forstår generelt ikke brugen af de tekniske installationer.

Der mangler overblik over samarbejdet mellem byggeafdelingen og driften.

Der har været et dårligt samarbejde mellem entreprenør, rådgivere og Boliggården

10.10 Ventilationsrate

Ved udeluft med temperatur under 0 °C og RF på 100 % kan man balancere ventilationsraten under kravet til udelufttilførelse på $0,3 \frac{l}{s \cdot m^2}$ for at opretholde et fornuftigt indeklima i forhold til temperatur og RF i boligen.

11 Perspektivering

11.1 Energibehov

I forhold til helhedsplanen i Hamlets Vænge er der forhold som kunne være ønsket tænkt anderledes. Der er inden renoveringens opstart, udpeget i prøveblok som er gennemrenoveret. Det virker ikke helt som om den er blevet taget i spil, i forhold til de mange udfordringer renoveringen har været udsat for. Der er ikke viden i Boliggården om det faktiske energibehov ved renoveringen. Det havde været godt, hvis der i helhedsplanen havde været synliggjort fremtidige energibesparelser.

Der kunne laves et antal af Be18 beregninger for at komme tættere på den enkelte bloks egentlige energibehov. Det er selvfølgelig en udfordring, at der i Boliggården ikke er sikker viden om konstruktioner/klimaskærmen før renoveringen.

Når Hamlets Vænge var gennemregnet i forhold til energibehov, kunne det sammenlignes med energiforbruget i de forskellige områder. Det giver en fin indsigt for Hamlets Vænges beboere. Vi er ikke bekendt med, at beboerne kender til forskellen i energiforbrug imellem afdelingerne.

Der kunne sagtens være et godt styringsredskab at foretage Be18 beregninger på alle Boliggårdens afdelinger. Der ville så være mulighed for at sammenligne energibehov og energiforbrug i den enkelte afdeling. Det ville samtidigt give en mulighed for at se hvilke afdelinger der har et stort spænd mellem energibehov og energiforbrug. Der kunne med denne metode måles forskelle i afdelingerne, som en slags konkurrenceparameter. For at få den bedste sammenligning mellem energibehov og energiforbrug, stilles der krav til at Be18 modellen er meget tæt på virkeligheden.

11.2 Ventilation

Ventilationssystemerne i Hamlets Vænge er bygget på forskellige måder. Mekanisk udsugning som der er i område A og D er årsag til større ventilationstab end i område C hvor der er mekanisk balanceret ventilation med høj varmegenvindingsgrad. Det giver et større varmetab i boligblokkene i område A og D. Det betyder at beboerne i områderne A og D er udsat for en større varmeregning i forhold til beboerne i område C.

Der vil utvivlsomt blive udfordringer når alle beboerne er flyttet tilbage og der muligvis kommer store forskydninger i varmeregnskaberne. Beboerne har på mange møder stillet spørgsmål til deres varmeregning efter installation af centralt ventilation. Beboerne er nok for det meste gået fra møderne med en forsikring om, at de ikke blev belastet, men sparede penge på varmeregningen. Det er selvfølgelig et problem når der er sammenlignet mellem naturlig ventilation og mekanisk balanceret ventilation. Beboerne i område A og D ved ikke nødvendigvis at mekanisk udsugning giver de samme ventilationstab som naturlig ventilation ved samme ventilationsrate.

Boliggården har mange udfordringer med skimmelsvamp. Der er en meget stor stigning i skimmelsagerne i Boliggården. Ud over de i rapporten angivne stigninger i 4 år er der andre afdelinger som er i gang med massive helhedsplaner hvor skimmelsvamp har været den direkte årsag. De mange skimmelsager skyldes ofte et samspil mellem mangel på udluftning og opvarmning. Det er i sær ved kuldebroer og bag store møbler skimmelen udvikler sig. Boliggården kunne overveje om "tvangsventilering" med mekanisk balanceret ventilation kunne løse størstedelen af disse skimmelsager.

11.3 Dynamisk varmeregnskab

Rapporten har undersøgt en ny metode for sikring af retfærdige varmeregnskaber. Systemet bygger på at der er mulighed for at afregne den enkelte forbruger, i forhold til deres indeklima. Der måles på parametre som temperatur, relativ luftfugtighed samt CO₂. Der er sat rammer op for hvad der tre parametre skal være for det gode, knap så gode samt det dårlige indeklima. Der måles i de forskellige rum med en IC-Meter måler som kommunikerer med en elektronisk platform. Det er muligt for beboeren at følge sit eget indeklima og energiforbrug og justere hvor det er muligt. Ud over denne individuelle mulighed kan der måles totalt på ejendommen som en slags energistyring. Der er samtidigt et dynamisk energimærke som følger forbrugende. IC-Meter systemet er i drift i nogle udvalgte boligblokke uden for Boliggårdens regi. Det er et spændende projekt som følges tæt i den almene sektor. Der skal vedtages en anden lovgivning for at måle og afregne efter metoden dynamisk varmeregnskab. Det vurderes at det vil være en god model for at afregne varmeregnskaber i Boliggården.

11.4 Byggehåndbog

I forhold til læringen i Hamlets Vænge om de manglende styringsstrategier, er der ikke tænkt meget over hvad der sker i forskellige scenarier. Der er dog en læring i dette projekt som kan overføres til Boliggårdens fremtidige projekter. Der bør være en beskrevet styringsstrategi for alle boliggårdens afdelinger, som det er i dag, men også for de fremtidige renoveringer.

Det ville i forhold til styringsstrategier, men også generelt i byggesager i Boliggården, være ide i at få en Byggehåndbog. Det bør være Boliggården der med en god byggehåndbog, sætter krav til rådgiverne og ikke mindst entreprenørerne. I denne proces skal der i byggehåndbogen beskrives hvilket tegningsmateriale der skal gemmes til/af Boliggården og ikke mindst hvor. Dette oplæg vil betyde, at der altid kan findes tegningsmateriale generelt, og ikke mindst til kommende renoveringer. Samtidigt bør en byggehåndbog give viden om hvordan Boliggården går ind til aftaler med rådgivere og entreprenører. Denne del kan udføres med et advokatfirma der er specialiserede i udbudsret og tilbudslovgivning.

En byggehåndbog kan også indehold afsnit om samarbejdet mellem byggeafdelingen, driftsafdelingen og beboerne. Hvis en helhedsplan eller en anden byggesag starter på denne måde, findes der et helt andet ejerskab til opgaven.

11.5 Vedvarende energi

Der kunne i Hamlets Vænge godt være tænkt Vedvarende Energi (VE) ind i renoveringen. Der kunne generelt i Boliggården og især i renoveringssager tænkes mere i VE baner. Boliggården er som boligselskab interesseret i, at være miljø og energirigtig. Ideerne til VE i projekter skal oftest dog komme fra byggeafdelingen i samspil med driftsafdelingen og beboerne. Det er bygge og driftsafdelingens forpligtelse, at klæde beboerne på til afstemninger om VE i kommende helhedsplaner og byggesager.

11.6 Indeklima

Der kunne i forhold til indeklimaet godt tænkes BSim beregninger på flere boligblokke i Hamlets Vænge. Der kunne også generelt i Boliggården bruges kræfter på BSim beregninger på de afdelinger, eller lejemål hvor der åbenlyst er udfordringer med indeklimaet. Der kunne tænkes i retninger af, at indeklimaet over tid kunne være bestemt af DS 3033 som frivillig indeklimaparametre. Der kunne i Boliggården op startes nogle pilotprojekter, startende med Hamlets Vænge, som ser på implementeringen af DS 3033, i Boliggårdens afdelinger.

12 Anbefaling

I Hamlets Vænges byggesag kunne flere forhold have været tænkt anderledes. Der er derfor nogle forhold som bør tænkes ind i en anbefaling. Vi har derfor nedenfor lavet en liste omkring anbefalinger for Hamlets Vænge, men også anbefalinger for hele Boliggården, som en udløber af denne rapport.

12.1 Hamlets Vænge

1. Der er rigtigt godt potentiale i at få fjernvarme i hver blok. Det er en forholdsvis ukompliceret løsning. Der er i forhold til fjernvarme på individuelt basis udfordringer med installationerne i område A, B og D. Vi anbefaler afdelingsbestyrelsen til snarligt at indkalde til et ekstraordinært beboermøde, så der forhåbentlig kommer fjernvarme i Hamlets Vænge i nærmere fremtid.
2. Anden prioritet i forhold til fjernvarme er, at de eksisterende kedelanlæg i område C bruges til fjernvarme. Derved fjernes den centrale varmtvandsforsyning og legionellafaren mindskes. De nye varmevekslere og varmtvandsbeholdere kan bruges. Varmtvandsforsyningen kan drives med prioritering.
3. Der skal informeres om ventilationstabene i forholdet mellem mekanisk udsugning og mekanisk balanceret ventilation. Det vil give store udfordringer i fremtidens varmeregnskaber.
4. Der skal foretages nye indreguleringer af alle ventilationsanlæg. Når der er så markant forskel på de to blokkes indregulering, bør alle gennemgås. Vi har et indtryk af at den oprindelige indregulering ligger urealistisk tæt på de beregnede luftmængder.
5. Der skal arbejdes på styreformer generelt i den tekniske infrastruktur. Således at der etableres en fuldstændig fast og nem styringsstrategi.
6. Hvis den eksisterende varmtvandsforsyning bibeholdes, skal der foretages målepunkter, så der kan måles temperaturer i de fjerneste ender af rørinstallationen. Der kan også installeres et kloranlæg som beskytter installationerne mod bakterier og dermed også legionellabakterien.
7. Beboerne skal oplyses om coanda effekten på en nem måde. Der er beboere der nære mistanke om at de sorte pletter der skabes rundt om indblæsningsventilen, er forurening ude fra og tilføres via ventilationsanlægget.
8. Driftspersonalet skal have en fuldstændig gennemgang af helhedsplanen. Driftspersonalet "arver" hele renoveringen i løbet af 2019. De mangler markant viden om forskellige tekniske forhold i Hamlets Vænge.
9. Der skal i Hamlets Vænge generelt, etableres en ny måde at lave varmeregnskaber på, som f.eks. dynamisk varmeregnskab. Der bliver i denne proces, udfordringer da der er blandede områder med energimåling sammen med varmefordelingsmåling.
10. Hamlets Vænges område A, B og D bør løbende over tid, få opgraderet områderne så de ligger tæt op af område C.

11. Det ville give en lidt bredere indsigt i indeklimaet, hvis der blev foretaget flere Be18 og BSim simuleringer i Hamlets Vænge.
12. Denne rapport har en del emner der kan detaljeres med tillægsrapporter. Det bør Boliggården overveje på vejene af Hamlets Vænge.

12.2 Boliggården

1. Boliggården bør overveje at få alle afdelinger beregnet i Be18. Herefter kan energibehovet sammenlignes med energiforbruget.
2. Boliggården bør arbejde på styringsstrategier, som kan etableres i alle Boliggårdens afdelinger. Det giver en meget nem og kontrolleret styring af alle afdelingerne.
3. Energistyringen som er etableret i Vapnagaard, bør etableres i alle Boliggårdens afdelinger.
4. Der bør generelt i Boliggården etableres strategier i forhold til indeklimaet. Det kunne f.eks. være med indførelse af DS 3033.
5. Der bør i afdelinger med jordledninger opbygget som Hamlets Vænges område C, foretages beregninger i forhold til dimensionerende varmetab. Således kan de meget store varmtvandsforsyningsanlæg fjernes.
6. Der bør i Boliggården være en byggehåndbog som beskriver samarbejdet med og hvor der stilles krav til rådgivere og entreprenører, og ikke mindst kvalitetskrav. Der skal sættes krav i byggehåndbogen omkring forundersøgelser og brugbare reference boliger.
7. Boliggården bør have et team af teknikere, som tager sig af den tekniske infrastruktur. Der er bruges store summer på driften af den tekniske infrastruktur. Lige nu er det mest den enkelte eksterne vvs-installatør der er rådgiveren.
8. Boliggården skal sikre et bedre samarbejde mellem byggeafdelingen og driften, således at driften tages med på råd og får ejerskab til byggesagerne.

Listerne i henholdsvis Hamlets Vænge og Boliggården er ikke udtømmende. Der kan sagtens ved dybere analyser i forskellige punkter, komme flere forhold som bør anbefales.

13 Bilag

Be18 filer vedlagt som zip-fil.

BSim filer vedlagt som zip-fil.

14 Bibliografi

De anvendte illustrationer og billeder i rapporten er godkendt af kilderne.

Aggerholm, Søren & Grau, Karl. - SBI 213 4-udgave bygningers energibehov. (2016). *Bygningers energibehov*. København: Statens Byggeforskningsinstitut .

Boligselskabernes Landsforening. (Februar 2019). www.BL.dk. Hentet fra Boligselskabernes Landsforening: <http://www.bl.dk>

Bolius. (u.d.). Hentet fra <https://www.bolius.dk/hvor-hoej-maa-luftfugtigheden-vaere-indendoers-24946/>

By og Byg . (2002). *By og Byg anvisning 202 naturlig ventilation i erhvervsbygninger*. Hørsholm: By og Byg, Statens Byggeforskningsinstitut.

Byggeteknisk Højskole Horsens. (1997). *Mindre varmeanlæg*. Horsens: Byggeteknisk Højskole Horsens.

Cecilie vej-hansen Carsten Rode . (2010). *Forelæsningsnotat, DTU Byg, Varmetransmission ved ledning, konvektion og stråling*. Lyngby: DTU.

Climate Consult. (u.d.). *Teknisk Håndbog, Lufttbehandling*. Albertslund: Climate Consult.

Dansk Standard. (2011). *3033, Frivillig klassificering af indeklimaets kvalitet i boliger, skoler, daginstitutioner og kontorer*. Charlottenlund: Dansk Standard.

Dansk Standard. (2015). *DS 418*. Charlottenlund: Dansk Standard.

DS 418. (2011). *DS 418 Beregning af bygningers varmetab*. København: Dansk Standard.

DTU BYG og EXERGI. (2014). *Dynamisk varmeregnskab med fokus på indeklima i lejligheder*. DTU BYG og EXERGI.

Energistyrelsen. (2. juni 2014). <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=163405>. Hentet fra <https://www.retsinformation.dk/forms/r0710.aspx?id=163405>

Energistyrelsen. (2018). *Standardfaktorer for brændværdier og CO₂-emissioner - indberetning af CO₂udledning for 2017*. Energistyrelsen.

EXERGI, ICIEE, DTU. (2014). *Dynamisk varmeregnskab med fokus på indeklima i lejligheder*.

Force technology, <https://forcetechnology.com/da/ydelser/effektiv-energistyring>. (u.d.). *Effektiv energistyring*. Hentet fra <https://forcetechnology.com/da/ydelser/effektiv-energistyring>

Guldager A/S. (2010). *Sundt Vand*. Allerød: Guldafer A/S.

Gunnarsen, P. L. (2014). *Inde- og udeklima*. København: SBI under Aalborg Universitet.

Göran Wilke. (u.d.). *IC Meter*. Hentet fra www.ic-meter.com

- Icopal. (2012). *Tabeller, Håndbog 9*. Herlev: Icopal.
- Ole B. Stampe. (2000). *Varme- og Klimateknik - Venrtilationsteknik*. Lyngby: DANVAK.
- Ole B. Stampe. (2013). *Varme- og Klimateknik - Grundbog*. Danvak.
- Polak, J. (2017). *Mollier Chart struture and application*. København : Aalborg Universitet.
- Professor Lars Gunnarsen . (2014). *Kompendium, Inde og Udeklima*. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Professor Lars Gunnarsen. (u.d.). *Master i bygningsfysik Kurset Inde- og udeklima, indklimaets påvirkninger*. København: Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet.
- Rockwool. (2017). *ROCKWOOL GUIDE - efterisolering*. Hedehusene: Rockwool.
- SBI (AAU) Eva B. Møller. (30. August 2017). Hvor kommer fugten fra og hvordan lagres den? København, Denmark.
- SBI 224, Erik Brandt m. fl. (2013). *Fugt i bygninger*. København: Statens Byggeforskningsinstitut AAU. .
- Spar Energi dk. (u.d.). *varme forbruger*. Hentet fra <https://sparenergi.dk/forbruger/varme/dit-varmeforbrug>
- Spar Energi dk. (u.d.). *Vedvarende energi*. Hentet fra <https://www.sparenergien.dk/vedvarende-energi-nu/>
- Statens Serums Institut. (9. August 2017). <https://www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsleksikon/l/legionaersygdom>. Hentet fra <https://www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsleksikon/l/legionaersygdom>: <https:http//www.ssi.dk/sygdomme-beredskab-og-forskning/sygdomsleksikon/l/legionaersygdom>
- Teknologisk Institut. (1999). *Uddannelsen til ELO konsulent*. Taastrup: Teknologisk institut.
- Teknologisk Institut Graddage. (u.d.). Hentet fra <https://www.teknologisk.dk/graddage/hvad-er-graddage>)
- Teknologisk Institut. Kontrolordninger-Oversigt. (u.d.). <https://www.teknologisk.dk>. Hentet fra Kotrolordninger-Oversigt: <https://www.teknologisk.dk/ydelser/kontrolordninger-oversigt/22964?cms.query=Vent+ordningen>
- Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. (2014). *Bygningsreglement 2010*. København: Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.
- Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen. (2018). *Bygningsreglement 2018*. København: Trafik-, Bygge- og Boligstyrelsen.
- Vent Ordningen. (u.d.). <https://vent.dk/om-vent-ordningen/>. <https://vent.dk/om-vent-ordningen/>. Hentet fra <https://vent.dk/om-vent-ordningen/>: <https://vent.dk/om-vent-ordningen/>
- www.lbf.dk. (februar 2019). Hentet fra Landsbyggefonden: <http://www.lbf.dk>