



AALBORG UNIVERSITET
KØBENHAVN

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

Studiesekretær: Julie Kastoft-Christensen
Telefon: 9940 2321
jkc@sbi.aau.dk

Studenterrapport

Uddannelse: Master i Bygningsfysik

Semester: 4. semester, foråret 2015

Titel på masterprojekt: Energirenovering ved byfornyelse

Projektperiode: 2015-02-01- 2015-06-01

Vejleder: Ernst Jan de Place Hansen

Studerende: Ole Emborg

Ole Emborg

[Underskrift]

[Indsæt navn]

Antal normalsider: 56

Afleveringsdato: 2015-05-29

Masterprojekt, energirenovering ved byfornyelse

4. semester 2015



Figure 1 - forsidebillede foto af ejendommen Nordre Frihavnsgade 50 m.fl.

Energirenovering og bygningsfornyelse af
ejendommen Ndr. Frihavnsgade 50-
A.L. Drewsensvej 14, 2100 København Ø

Indholdsfortegnelse:

1	Resumé på dansk	<u>4</u>
	1.1 Resumé in english.....	<u>4</u>
2	Introduktion, baggrund og problemformulering	<u>5</u>
	2.1 CO ₂ - udledning.....	<u>5</u>
	2.2 Energiforbrug i bygninger.....	<u>5</u>
	2.3 Problemformulering.....	<u>5</u>
	2.4 Masteropgaven bliver udført som demonstrationsprojekt.....	<u>5</u>
3	Baggrundsteori, begreber	<u>7</u>
	3.1 Varmelære.....	<u>7</u>
	3.2 Fugtlære.....	<u>9</u>
4	Forundersøgelser og førregistrering	<u>13</u>
	4.1 Ejendommens forhistorie og anvendelse.....	<u>13</u>
	4.2 Ejendommens arkitektoniske og byggetekniske typisering.....	<u>13</u>
	4.3 Bygningstypens forventelige byggetekniske problemer.....	<u>13</u>
	4.4 Førregistrering.....	<u>14</u>
	BD-01 Tagværk.....	<u>16</u>
	BD-03 Facader/ sokkel.....	<u>19</u>
	BD-04 Vinduer.....	<u>23</u>
	BD-08 Etageadskillelser.....	<u>27</u>
5	Resultatet af førregistreringen	<u>30</u>
	5.1 De nødvendige renoveringsarbejder.....	<u>30</u>
	5.2 De udvalgte energirenoveringsarbejder.....	<u>30</u>
6	Beregningsmetoder, instrumenter og randbetingelser	<u>31</u>
	6.2 Energiberegninger i Be10.....	<u>31</u>
	6.3 Fugtsimulering i WUFI.....	<u>32</u>
	6.4 Kuldebrosanalyse i HEAT.....	<u>32</u>
	6.5 Randbetingelser.....	<u>33</u>
7	Resultater, energiberegninger, fugt og økonomi	<u>34</u>
	7.1 Energibesparelspotentiale beregning i Be10.....	<u>34</u>
	7.2 Ejendommens energimærkning, beregninger.....	<u>35</u>
	7.3 Ejendommens energimærkning, trin for trin.....	<u>35</u>
	7.5 Resultaterne af fugtberegninger udført i WUFI.....	<u>38</u>
8	Diskussion	<u>42</u>
	8.1 Energimæssige overvejelser.....	<u>42</u>
	8.2 Fugtmæssige overvejelser.....	<u>42</u>
	8.3 Grænseværdier.....	<u>43</u>
	8.4 Fugtprofil.....	<u>44</u>
	8.5 Max. fugtindhold.....	<u>45</u>
	8.6 Rentabilitet.....	<u>51</u>
	8.7 Æstetik, bæredygtighed og bygbarhed.....	<u>52</u>
	8.8 Gode løsninger, men også begrænsninger.....	<u>53</u>
	8.9 Flere løsninger, samme mål.....	<u>54</u>
	8.10 Anbefalede foranstaltninger, varmebehov og økonomi.....	<u>55</u>

9	Konklusion.	57
	9.1 Anbefalede foranstaltninger, energirenovering.	57
	9.2 Anbefalede foranstaltninger, overvejelser.	57
	9.3 Anbefalede foranstaltninger, perspektivering.	57
10	Illustrationsliste.	59
11	Bilagsfortegnelse.	60
12	Litteraturliste.	60

Den elektroniske udgave af dokumentet er udført i Adobe Acrobat Pro ver. XI, hvorfor funktionen bogmærker skal slås til, så er der en dynamisk indholdsfortegnelse med links, således at man ved klik i indholdsfortegnelsen springer frem til den valgte side.

1 Resumé på dansk

Københavns Kommune har som erklæret mål at blive verdens første CO₂-neutrale hovedstad senest i år 2025, og derfor vil den offentlige byfornyelsesstøtte i årene fremover i højere grad blive kanaliseret over i energirenovering, hvor "adgangskravet" for støtten, populært sagt, vil være at karakteren i det gældende energimærke hæves med minimum to karakterer.

For den valgte ejendom er det undersøgt hvordan kommunens energimål bedst opfyldes: I dette indgår udskiftning af vinduer, udvendig facadeisolering, indvendig brystnings- og facadeisolering, isolering af etageadskillelser, teknisk isolering af eksist. installationer, ventilation med genvinding og endelig opsætning af solceller.

I opgaven er beskrevet hvilke trinvisse forbedringer de enkelte arbejder medfører og hvilke udfordringer de enkelte arbejder indebærer. Desuden er den indvendige isolering mere indgående behandlet mht. materialevalg, dimensioner, løsningsprincip samt orientering ifht. verdenshjørners betydning.

Opgaven har vist at energimålet kan nås ved udførelse af de foreslåede arbejder, og det har været muligt at nøjes med at isolere indvendigt på de to øverste etager hvor murværket er 1,5 sten og udbyttet dermed også er størst i energimæssig henseende.

Varmebehovet falder således fra 252 MWh/år til 115 MWh, hvilket svarer til ca. 55 %.

Økonomisk er det rentabelt at udføre de planlagte arbejder, men der ses meget stor forskel på rentabiliteten målt ifht. rentabilitetskravet i bygningsreglementet BR2010 kap. 7.4.1 stk. 1

1.1 Resumé in english

Copenhagen has a declared goal of becoming the world's first CO₂-neutral capital by 2025, and therefore the "public urban development subsidies" in the years ahead will increasingly be channeled into energy renovation, where the "admission ticket" for the aid, in popular terms, will be to increase the existing energy label a minimum of two characters.

For the selected building it's examined how the municipal energy goals best is met: This includes replacement of windows, exterior facade insulation, interior insulation of facades, insulation of floor constructions, technical insulation of the existing building installations, ventilation recycling and finally adding solar cells.

It's described what incremental improvements each work entails and what challenges each work represents. Furthermore, the inner insulation is treated in more detail with respect to choice of materials, dimensions, assembly, and geographical orientation to decide whether the method safely can be applied or whether as a consequence moisture build up can be foreseen.

The thesis has shown that the energy target can be achieved by carrying out the proposed renovation and renewal works, and it's possible to minimize the interior insulation of masonry to the top floor where the masonry is only one and a half brick thick, and the benefit thus is highest in energy terms.

The heat demand thus is reduced from 252 MWh / year to 115 MWh, which corresponds to approximately 55%.

Economically it's viable to carry out the planned work, but with big difference in profitability measured as described in the building regulations BR2010 Sec. 7.4.1 § 1

2 Introduktion, baggrund og problemformulering

2.1 CO₂- udledning

Den danske regering har d. 14. august 2013 fremlagt en samlet klimaplan, hvoraf det fremgår "Regeringens mål er, at udledningen af drivhusgasser skal reduceres med 40 procent i 2020 i forhold til 1990. Et stort skridt er taget med energiaftalen, der blev indgået i marts 2012. Resten skal primært komme fra transportsektoren, landbruget, bygninger og affaldssektoren" (kilde:eu.dk - se kildehenvisning 12.1)

På europæisk plan er der pt. bindende tilsagn om det halve altså: "at udlede 20 % mindre CO₂ i 2020, i forhold til 1990" (kilde:eu.dk - se kildehenvisning 12.1)

Københavns Kommune har som erklæret mål at være verdens første CO₂-neutrale hovedstad i år 2025. (kilde: www.kk.dk/artikel/co2-neutral-hovedstad - se kildehenvisning 12.2), og som et led i bestræbelsen bliver den offentlige byfornyelsesstøtte fremover i højere grad kanaliseret over i energirenovering, hvor adgangskravet for tildeling af støtte for tiden, populært sagt, er at karakteren i det gældende energimærke kan hæves minimum to karakterer.

2.2 Energiforbrug i bygninger

En af hovedårsagerne til CO₂ udledning i den vestlige verden er energifremstilling til opvarmning af bygninger, der skønsmæssigt andrager ca. 40 % af det samlede energiforbrug. Energieffektivitet i bygninger er derfor en selvstændig målsætning i EU, med krav om at effektiviteten i sig selv skal stige med 20 % frem mod 2020 samt at andelen af vedvarende energi skal udgøre 20 % i 2020 (kilde: eu-oplysningen.dk)

I 2010 stod varme- og elforbruget i bygningerne i København for, hvad der svarer til 64 pct. af den samlede CO₂-udledning i København (kilde: kk.dk). For at opnå målet om CO₂ neutralitet, skal det samlede energiforbrug derfor reduceres kraftigt, og det vil være nødvendigt med en lang række tiltag, hvoraf nogle egner sig til mange bygninger og andre tiltag kun til få.

2.3 Problemformulering

Opgaven vil med udgangspunkt i en konkret bygning, for hvilken der er søgt om byfornyelsesstøtte pr. 1 februar 2015 (se fig. 2), fokusere på at optimere de anbefalede arbejder således at de energimæssige mål som stillet af Kbh's Kommune som forudsætning for tildeling af byfornyelsesstøtte kan opfyldes ved gennemførelse af de samlede anbefalede arbejder.

Det vil blive undersøgt om de foreslåede delarbejder iht. bygningsreglementet BR2010 pkt. 7.4.1 stk. 1 er rentable samt om de iht. pkt. 7.4.1 stk. 6 kan gennemføres uden at der løbes unødige risici i fugtmæssig henseende.

Der vil blive fokuseret på at den foreslåede indvendige isolering udføres, hvor der opnås den største effekt kombineret med den mindste risiko.

Der vil for den indvendige isolering blive regnet på forskellige løsninger mht.: Materialevalg, dimensionering, konstruktion med og uden membran, orientering ifht. verdenshjørner og andre parametre, der skønnes at have indflydelse på løsningens effektivitet, bygbarhed og "brugervenlighed"

2.4 Masteropgaven bliver udført som demonstrationsprojekt

Som nævnt i pkt. 2.3 bliver der i masteropgaven taget udgangspunkt i en konkret bygning for hvilken der af samme forfatter parallelt med udførelsen opgaven er ansøgt om byfornyelsesstøtte til. Det vil sige at den i opgaven anvendte førregistrering og tilhørende budgetter er udarbej-

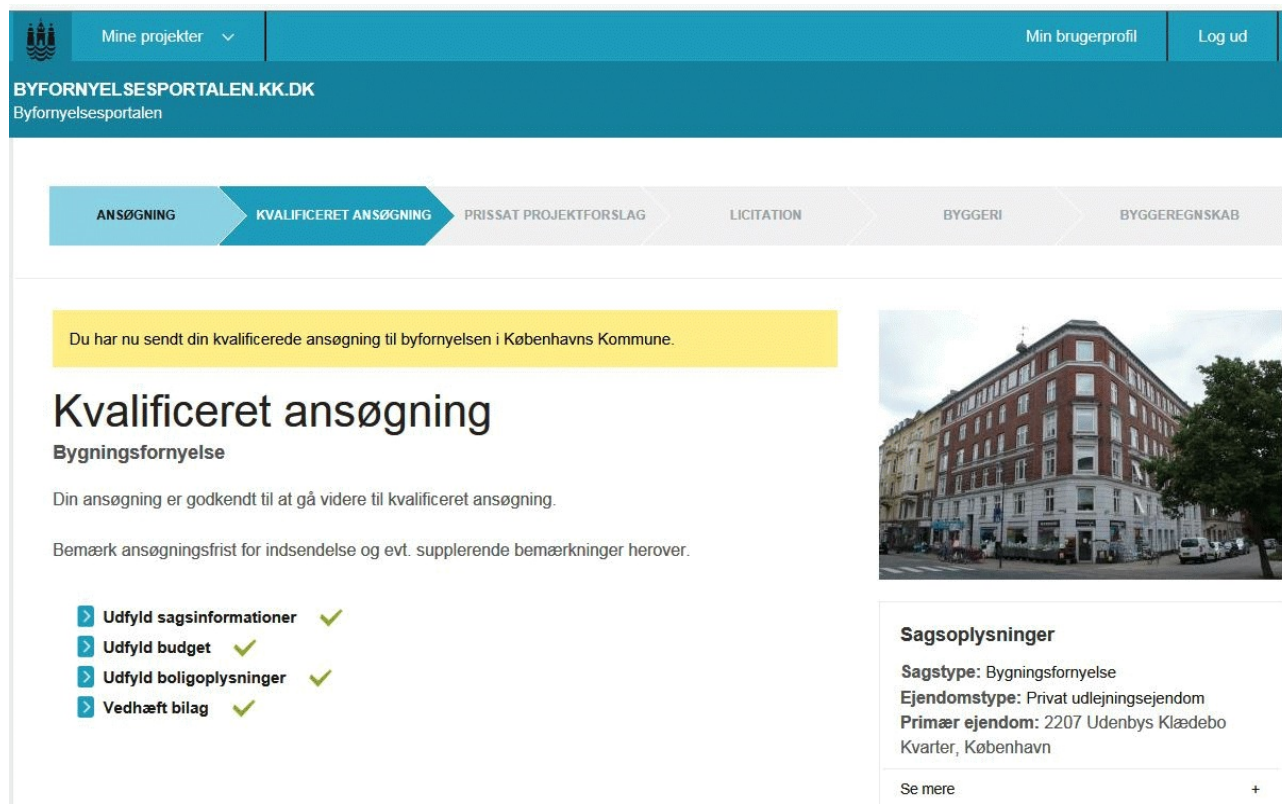
det af forfatteren som en del af den kvalificere ansøgning om støtte.

Det bliver i løbet af forsommeren 2015 afgjort, hvorvidt projektet af Københavns Kommunes Borgerrepræsentation bliver bevilliget byfornyelsesstøtte, således som Teknik- og Miljøudvalget ved beslutning den 2015-05-18 har indstillet.

Afdeling for Område- og Byfornyelse har i sin indstilling til Borgerepræsentationen anbefalet projektet gennemført som et demonstrationsprojekt om hvilket man gør opmærksom på *“at større demonstrationsprojekter kan indebære ekstra arbejde fra rådgiveren, og at projekterne kan kræve et tættere samarbejde mellem de forskellige aktører, der er involveret i projekterne.*

I nogle tilfælde er det en god idé at inddrage forskningsområdet, hvis projektet er et mere omfattende forsøg eller indeholder noget helt særligt”, hvilket anses imødekommet ved at udføre nærværende masteropgave for den konkrete ejendom.

Københavns Kommune gør endvidere opmærksom på at det er vigtigt for at succesen af demonstrationsprojekterne kan måles, at projekterne evalueres i både opstartsfasen, midtvejs og efter afslutning af projektet samt at resultaterne formidles.



The screenshot shows the user interface of the 'Byfornyelsesportalen.kk.dk' website. At the top, there is a navigation bar with 'Mine projekter' and 'Log ud'. Below this is a breadcrumb trail: 'ANSØGNING' > 'KVALIFICERET ANSØGNING' > 'PRISSAT PROJEKTFORSLAG' > 'LICITATION' > 'BYGGERI' > 'BYGGEREGNSKAB'. A yellow notification box states: 'Du har nu sendt din kvalificerede ansøgning til byfornyelsen i Københavns Kommune.' The main heading is 'Kvalificeret ansøgning' with the sub-heading 'Bygningsfornyelse'. Below this, it says 'Din ansøgning er godkendt til at gå videre til kvalificeret ansøgning.' and 'Bemærk ansøgningsfrist for indsendelse og evt. supplerende bemærkninger herover.' A checklist shows four items, all marked with green checkmarks: 'Udfyld sagsinformationer', 'Udfyld budget', 'Udfyld boligoplysninger', and 'Vedhæft bilag'. To the right, there is a photograph of a multi-story brick building. Below the photo, a box titled 'Sagsoplysninger' contains the following text: 'Sagstype: Bygningsfornyelse', 'Ejendomstype: Privat udlejningsejendom', and 'Primær ejendom: 2207 Udenbys Klædebo Kvarter, København'. At the bottom of this box is a 'Se mere' link with a plus sign.

Figure 2 - kvittering for indgivelse af kvalificeret byfornyelsesansøgning

3 Baggrundsteori, begreber

For udførelse af de nødvendige beregninger og analyser af resultaterne er det nødvendigt at have nogle overordnede begreber omkring varme og fugt på plads. I det efterfølgende afsnit vil begreber som har direkte relevans til den konkrete energirenovering blive gennemgået.

3.1 Varmelære

Som baggrund for arbejdet med energiberegning skal enkelte grundbegreber kort behandles i dette afsnit om hhv. varmemestrøm, varmeledningsevne, varmetab, transmissionstab.

En varmemestrøm bevæger sig fra varm mod kold enten ved:

- Ledning i fast stof
- Konvektion via luftstrømme
- Stråling til omgivelserne

Beregning af varmemestrømmen bruges til at bestemme varmetabet til omgivelserne gennem hhv. materialer, konstruktioner og kuldebroer for ad denne vej at beregne u-værdier og efterfølgende besparelser ved efterisolering.

Ved beregning af varmeledning tages udgangspunkt i den materialespecifikke egenskab **varmeledningsevnen** (λ) eller Lambda-værdi som måles i W/mK (Watt pr. meter pr. grad Kelvin), i praksis jo højere værdi desto ringere isoleringsevne (f.eks. aluminium = 210 og stillestående atmosfærisk luft 0,024 og mineraluld = 0,037).

Da det faste stof i de fleste materialer leder varmen flere hundrede gange så godt som luften, så bliver mængden af luft (og dermed porøsiteten) afgørende for materialets λ -værdi.

Varmestrømmen beregnes iht. Fouriers varmeledningsligning, hvor:

- (Φ) Phi = varmemestrømmen og
- (λ) = varmeledningstallet
- A = areal og d = tykkelse og
- $\Delta\theta$ = temperaturforskul

$$\Phi = \lambda \cdot \frac{A}{d} \cdot \Delta\theta$$

Figure 3 - Fouriers ligning

Isolansen (R), enhed (m^2K/W) der svarer til tykkelsen/ varmeledningstallet og udtrykker varmemodstanden. For sammensatte konstruktioner beregnes R_{tot} ved at lægge R sammen for alle lagene i konstruktionen ΣR , herunder også indv. og udv. overgangsisolans der opstår fordi den stillestående luft opad konstruktionen også er isolerende. I DS 418 fastsættes værdier for overgangsisolansen afhængig af varmemestrømmens retning hhv. inde på 0,1 (opad), 0,13 (vandret) og 0,17 (nedad) og endelig udvendig på 0,04 (vandret) (DS 418 6.2)

U-værdien (transmissionskoefficient) udtrykker den energimængde der pr. sek. strømmer gennem $1 m^2$ af konstruktionen ved en temperaturforskul på $1^\circ C$ og beregnes som $1/\Sigma R$ og enheden er $W/(m^2K)$. Der skal korrigeres for luftspalter og murbindere.

Isoleringsmaterialer: Stillestående luft har generelt den bedste isoleringsevne $\lambda = 0,024$ da faste materialer generelt leder varmen langt bedre end porøse materialer. Som bygningsisolering anvendes derfor porøse materialer med luft i porerne og materialernes isoleringsevne kan altså ikke overstige lufts med mindre at luften udskiftes med en gasart med lavere λ -værdi f.eks. Argon = 0,017, Krypton = 0,008 eller Xenon = 0,006 (derfor lyser xenonlygter på biler stærkere, idet lyskildens temperatur kan være højere "inde i pæren" p.gr.a. den bedre isolering)

Konvektion sker fordi varm luft er lettere end kold luft, idet densiteten er omvendt proportional med den absolutte temperatur. Varm luft stiger altså opad. **Naturlig** konvektion i et rum kan

forekomme hvor varmekilden, efter ældre mønster er placeret ved en bærende indervæg (typisk ved skorstene), dette skaber cirkulationen hvor den varme luft stiger til vejrs, føres under loftet til vinduet hvor luften køles og "falder" ned føres langs gulvet til varmekilden og starter forfra.

Tvungen konvektion forekommer hvor luften sættes i bevægelse af en ydre påvirkning (vind eller mekanisk ventilation). Konvektionen kan være bevidst eller uønsket gennem huller og sprækker (eller selve materialet).

Stråling: Alle overflader afgiver og modtager varmestråling, hvorfor der overføres varmestråling mellem to overflader rettet mod hinanden. Varmestråling er bølger i lighed med radiobølger og synligt lys. Varmestrålingen har en bølgelængde mellem $0,1 \mu\text{m} < \lambda < 100 \mu\text{m}$
En del af varmen vil blive absorberet og en anden del vil blive reflekteret og endelig vil en del kunne passere gennem materialet og afgives som stråling på modsat side. Den afgivne stråling betegnes emission

Emissions- og absorptionstal (ϵ) afhænger af materialeegenskaber som overfladens ruhed, blankhed og farve. De fleste materialer har absorptionstal mellem 0,9- 0,95, men blanke metaller skiller sig ud (f.eks. kobber og aluminium) med værdier på 0,04 og 0,05 omvendt med refleksionstal hvor de fleste materialer har en værdi nær 0,1 mod de blanke metaller 0,95.

I praksis interesserer vi os mest for stråling for at kunne regne på varmetabet gennem vinduer og glasarealer, hvor det er interessant at kende hvor meget varme der reflekteres, hvor meget der passerer gennem glasset til det bagvedliggende rum samt hvordan varmen absorberes af materialerne i rummet.

Kuldebroer: Kuldebroer er et område i en konstruktion der har lokalt dårligere isoleringsforhold end konstruktionen som hele, for eksempel hvor der dannes en forbindelse mellem ude og inde med et bærejern i en altankonstruktion eller ved en ringere isoleringsevne i en fuge omkring et vindue.

Linjetabet (Ψ) psi: Linjetabet er summen af tab der ikke beregnes pr. areal men pr. lb.m. af samlinger for vinduer i ydervægge og tag + samlinger døre & vinduer mod fundament + fundamenter. Linjetabskoefficienten, ("linjetabets u-værdi" svarende til "fladernes" transmissionskoefficient) bestemmes ifht. opslag i DS 418 kap. 6, f.eks. for fundament i tabel 6.13.2 a (s. 46). Samme princip gælder for vinduer og døres samlinger mod hhv. ydervæg og fundament samt for linjetabet fra termorudens afstandsprofil i aluminium der beregnes i lb.m. og indgår i varmetabet fra vinduerne sammen med tabet beregnet for karmareal + glasarealet.

Transmissionstabet (Φ) phi: Beregnes for hhv. hovedkonstruktioner (tag + ydervægge + terrændæk) + kompletterende dele og samlinger (døre + vinduer + (samlinger for vinduer i ydervægge og tag + samlinger døre & vinduer mod fundament) + fundamenter).

Alt beregnes iht. DS 418 kap 3 iht. formlen i fig. 4, hvor

(Φ) phi = Transmissionstabet

U = U-værdien

A = arealet

θ_i = temperatur inde

θ_u = temperatur ude

- med alle de variationer angivet i DS 418 s. 14

$$\Phi_t = UA(\Theta_i - \Theta_e)$$

(4)- beregning af phi

Det samlede transmissionstab: Findes ved simpel addition af alle fundne transmissionstab og enheden er Watt pr. time og kan nemt omregnes til transmissionstab i Kwh/pr. år, ved at gange med $24 \times 365 / 1000$

Det samlede varmetab: Det samlede varmetab er det samlede transmissionstab tillagt ventilationstabet og det svarer til den effekt der skal til at opretholde den dimensionerede indetemperatur.

Ventilationstabet beregnes iht. formlen i figur 5:

$$\Phi_v = (1 - \eta) \cdot \rho \cdot c \cdot q \cdot (\Theta_i - \Theta_e) = (1 - \eta) \cdot 0,34 \cdot n \cdot V \cdot (\Theta_i - \Theta_e)$$

Figure 5 - ligning ventilationstab

hvor,

Φ_v = ventilationstabet og

(q) = volumenstrømmen i m³/s,

(ρ) = luftens massefylde i kg/m³

(c) = luftens varmekapacitet i J/kg K

θ_i = temperatur inde

θ_u = temperatur ude

(η = eta) = temperaturvirkningsgraden i varmeveksleren (uden veksler sættes værdien til 0),

n = luftskiftet i h⁻¹,

V = rummets volumen

Normer og litteratur: iht. litteraturlistens pkt. 12.3

3.2 Fugtlære

Som baggrund for arbejdet med fugtsimulering og -beregning skal enkelte for opgaven direkte relevante grundbegreber kort behandles i dette afsnit. Helt overordnet set ønsker vi at kunne beregne fugtforhold for at kunne opfylde BR's krav til indeklima og sikkert byggeri.

Luft- og damptryk: Atmosfærisk luft består af en blanding af flere gasser, der er næsten ens overalt med den undtagelse, at indholdet af vanddamp kan variere afhængigt af geografi, temperatur og årstid. Tør luft og vanddamp har forskellig molær masse (jf. anv. 224 s. 14 defineret som den mængde af et stof der rummer ligeså mange molekyler som der er atomer i 12 g carbon-12 (¹²C-isotop)). Den molære masse er for tør luft 29 g/mol og 18 g/mol for vanddamp.

Trykket i en gas er sammensat af partial(del)trykket af hver gas der indgår i blandingen og for atmosfærisk luft regnes af praktiske årsager med det atmosfæriske tryk som ved havoverfladen er 1013 hPa. I luft ved 20°C og RF 50% er partialtrykket for vanddamp 1% af samme tryk, svarende til ca. 1Pa.

Hvis tør luft blandes med vanddamp bliver blandingen lettere hvilket kendes fra meteorologien, hvor varm fugtig luft over havet stiger til vejrs - afkøles og fortættes.

I bygninger interesserer vi os for hvordan fugt bevæger sig fra et højere tryk mod et lavere drevet af enten vanddamptryk, vanddampindhold eller vandtryk ved, nedennævnte mekanismer, hvoraf de fire øverste er de vigtigste.

- Kapillartransport i porerne
- Konvektion via luftstrømme, kan forekomme i spalter eller ved skorstenseffekt
- Diffusion gennem materialet
- Under tryk f.eks. som slagregn
- Termofusion og effusion
- Elektroosmose

Dampstrøm: Der er en høj grad af analogi mellem varme og fugt, hvor lovmæssigheder for varmestrøm og dampstrøm ligner hinanden som også gælder for isolans og diffusionsmodstand.

Fugt og former for fugt: Når vi taler om fugt er det i betydningen vand i alle faser altså som hhv. gas (vanddamp), flydende (vand) eller fast (is). I gasform har det også betydning for indeklima og komfort.

Der er tre faktorer som afgør den form fugten antager, nemlig tryk, volumen og temperatur.

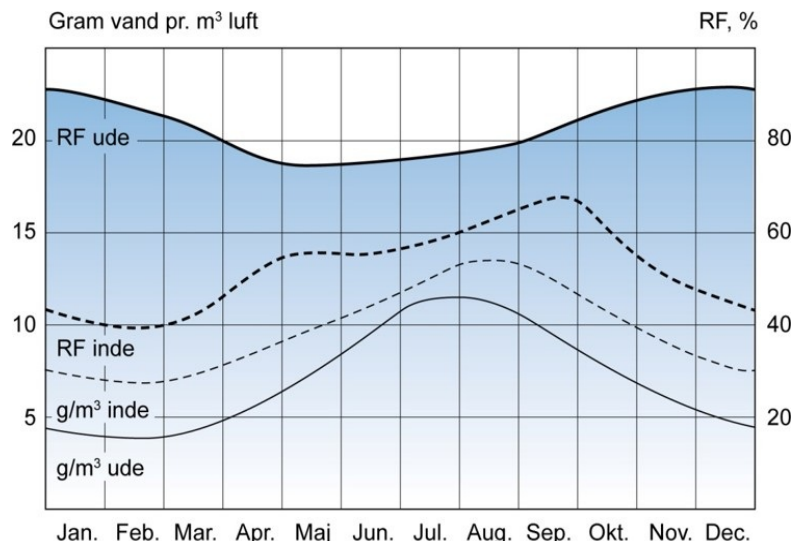


Figure 6 - Fugtindhold i hhv. ude- og indeluften

Fugtindhold i luft: I atmosfærisk luft anvendes som oftest den relative luftfugtighed som udtryk for vandindholdet. Luften kan afhængig af temperatur indeholde en vis mængde vanddamp.

Ved højere temperatur kan vandindholdet være højere. Når den maksimale mængde vanddamp som luften kan indeholde ved den givne temperatur overstiges fortættes vandet og optræder i flydende form fremfor i gasform.

Tilstanden betegnes mætningsindholdet eller -mætningstrykket hvis indholdet angives i Pa.

I figur 6 kan det ses at det faktiske vanddampindhold i luften er højest om sommeren, men den relative fugtighed er højest om vinteren.

$$RF = \frac{v}{v_m} \cdot 100\% = \frac{P}{P_m} \cdot 100\%$$

Vi angiver fugtindhold i luft enten som (k)g/m³ eller som vanddampens partialtryk i Pa eller som RF %, der angiver fugtindholdet i procent af mætningsindholdet (se fig. 7).

Figure 7 - beregning RF

Sammenhængen mellem temperatur, vanddampindhold og relativ luftfugtighed kan aflæses i et vanddampdiagram (se figur 8).

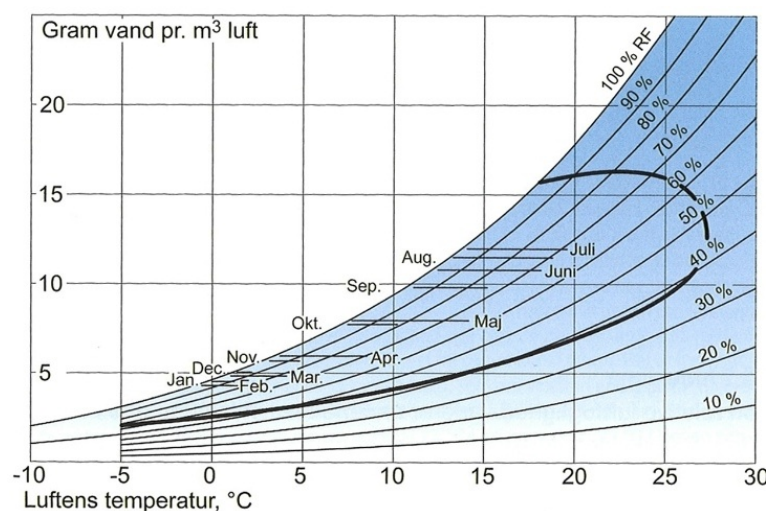


Figure 8 - Vanddampdiagram

Temperaturen hvorved vandindholdet når mætningspunktet RF 100% benævnes dugpunktet, og en væsentlig del af undersøgelse og simulering af bygningskonstruktioner går ud på at lokalisere dugpunktet for at have kontrol med hvor vandet udskilles og afsættes som dug.

I vanddampdiagrammet kan f.eks. aflæses hvorledes den relative luftfugtighed falder i en given udeluft med f.eks. RF 90% ved 5°C ved opvarmning til f.eks. 15°C hvor RF vil være reduceret til 50%.

Omvendt kan også aflæses hvorledes en indvendig rumluft ved 20°C og RF 60% f.eks. når sit dugpunkt (RF 100%) ved ca. 12°C, hvilket f.eks. betyder at hvis en indvendig vægflade har en overfladetemperatur på 12°C vil der afsættes kondens med risiko for udvikling af skimmel til følge.

Fugtindhold i boligen: I boligen vil det aktuelle fugtindhold være givet af fugtindholdet i udeluften + den tilførte fugt - den ved luftskiftet fjernede fugt.

Bestemmelse af det relative fugtindhold: Det relative fugtindhold kan enten bestemmes ved måling med fugtloggere, hvor de faktiske forhold med hhv. temperatur og relativt fugtindhold måles over en periode. Alternativt tages der ved beregning udgangspunkt i standardværdier i TRY (Test reference Year) ell. DRY (Design reference Year for Denmark) år hvor klimadata målt hver time over en 15 årig periode er samlet og sammensat således at året er repræsentativt og med en naturlig variation. TRY er baseret på data indsamlet fra 1959- 73 og DRY er i seneste version med data indsamlet fra 2001- 2010

Der er medtaget fire målte parametre: globalstråling, relativ fugtighed, temperatur og vindhastighed samt de to beregnede parametre diffus stråling og illuminans. (DMI tr-12-17)

Med konkrete vejrdata fra udført måling eller med udgangspunkt i værdier fra et standardår kan vi regne på indeklimaet i boligen. Princippet er at kølig udeluft med et givent relativt fugtindhold trækkes ind i boligen og varmes op, hvorved det relative fugtindhold falder. Imidlertid tilføres luften også fugt fra beboerne og deres aktiviteter og en del af fugten fjernes ved ventilation - naturlig og måske mekanisk ventilation.

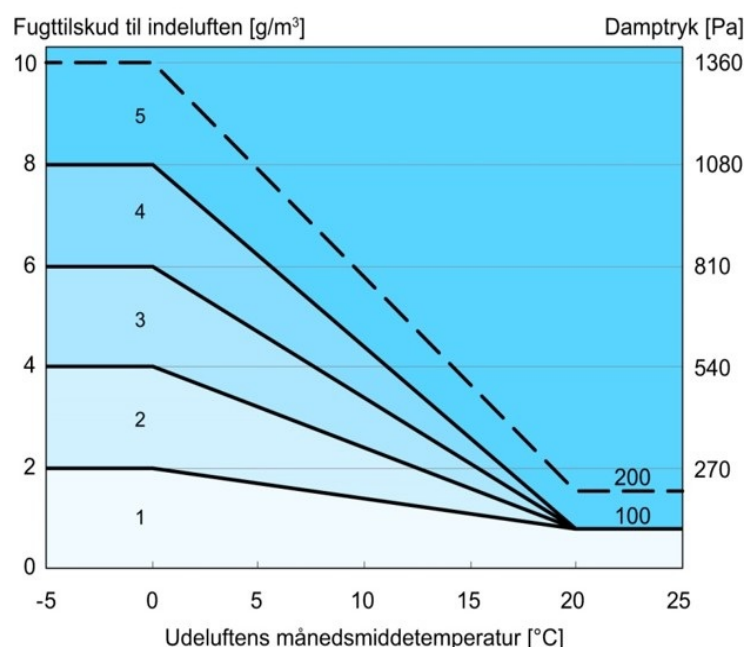


Figure 9 - belastningsklasser fugttilskud

Fugtbelastningsklasser: En dansk undersøgelse fra 1986 (Anv 224 s. 29) viser at den samlede fugtproduktion i en gennemsnitshusstand på 2 voksne og 2 børn udgør ca. 8,5 kg/dag

Afhængig af beboerantal og vaner kan fugttilskuddet dog variere meget og til beregningsmæssigt brug er dette defineret i fugtbelastningsklasserne 1 - 5, hvor der ifht. en vanddampkoncentration i udeluften i januar regnes med et tilskud Δg på ml. 2- 8 g/m³ stigende fra klasse 1- 5. (se figur 9)

Hvis der tages udgangspunkt i TRY-vejrdata for f.eks. januar er der i udeluften ved -0,6°C et fugtindhold på ml. 4-5 g/m³ luft svarende til RF 94 %.

Opvarmet i boligen til 20°C svarer dette til lige under 30%. Udgangspunktet for det relative fugtindhold i indeluften er herefter for de forskellige fugtbelastningsklasser at grænsen fra klasse 1-2 ligger ved RF 35% og ml. 2-3 ved RF 46% og ved 3-4 ved RF 58% og endelig ml. 4-5 ved RF 69%.

Det er helt normalt at møde værdier for RF i indeluften mellem 50- 80% afhængig af årstid, beboersammensætning og placering i boligen. Ved madlavning vil RF 80% kunne forekomme i køkkener og ved tøjtørring i boligen også i opholdsrum.

Fugt og luftskifte: For at reducere fugtindholdet i indeluften stilles der i BR2010 krav om udelufttilførsel på mindst 0,3 l/s pr. m² svarende til et luftskifte på 0,5 gange pr. time.

Udgangspunktet for beregningen er (jf. anv 224 s. 63) at hvis den tilførte luft har et fugtindhold på 5 g/m² og indeluften ved 20°C har et fugtindhold på 5 g/m³ fjernes der 4 g vand for hver m³ indeluft der erstattes med udeluft. Hvis det forudsættes at en familie på 4 medlemmer tilfører luften 10 kg. vand pr. døgn skal der fjernes 10.000/4 m³ luft = 2.500 m³/døgn eller ca. 100 m³/time. I en bolig på 80 m² med 2,5 m lofthøjde er rumvolumenet 200 m³ og luftskiftet skal derfor være 0,5 gange pr. time, hvilket svarer til BR-krav.

Fugtligevægt: Et materiale vil søge at opnå en fugtmæssig balance/ ligevægt med sine omgivelser. Hvis et materiale har været lagret i en højere relativ luftfugtighed end hvor det senere indbygges vil det afgive fugt til omgivelserne og fugtindholdet i vægt-% vil aftage ved desorption. Omvendt vil et materiale lagret ved en lavere relativ luftfugtighed som indbygges ved en højere relativ luftfugtighed optage fugt ved absorption og derfor opnå ligevægt med en højere vægt-%.

Der er en mindre forskel ved absorption og desorption, betegnet hysteres, således at det element der afgiver fugt vil opnå en ligevægt med en lidt højere vægt-% end det materiale der optager fugt (ved samme RF)

Kondens og fugtophobning: Hvis 100 % RF opnås inde i konstruktionen udvides beregninger til at omfatte hele året for at se om den ophobede vandmængde udtørres senere på året. Det er f.eks. helt normalt at der i teglstensydervægge ophobes fugt i løbet af vinter og forår som først er tørret helt ud først på efteråret, hvorefter cyklus gentages. Det er af afgørende betydning for risikoen for skader i f.eks. indbyggede bjælkeender og vinduesoverligger, at disse ikke er konstant opfugtede.

Fugtskader i bygninger: I praksis interesserer vi os for fugt i bygninger fordi for høj fugtighed forårsager nedbrydning af bygningsdele ved biologisk nedbrydning, korrosion og frostsprængning og påvirker indeklimaet negativt ved at give grobund for skimmel og andre biologiske organismer der påvirker indeklimaet negativt. Grænseværdien for hvornår risikoen for skimmel er til stede er afhængig af materialet og højest i celluloseholdige materialer som træ og pap(ir), men som udgangspunkt anvendes oftest en grænseværdi på 75 % (anv. 224 s. 97)

Normer og litteratur: Iht. litteraturlistens pkt. 12.4

4 Forundersøgelser og førregistrering

4.1 Ejendommens forhistorie og anvendelse

Ejendommen er opført i 1895 i stilarten Historicisme og er i SAVE-registret noteret med en bevaringsværdi på 4.

Ejendommen er opført som hjørneejendom med hovedretning sydvest-nordøst med én opgang mod Nordre Frihavsgade og én opgang mod A.L. Drewsensvej.

Ejendommen er opført på murede fundamenter i facademurværk i røde teglsten mod gaden og gule teglsten mod gården.

Ejendommen er i gavle sammenbygget med nabobygninger af samme højde. Der er fuld kælder under bygningen, der anvendes til pulterrum.

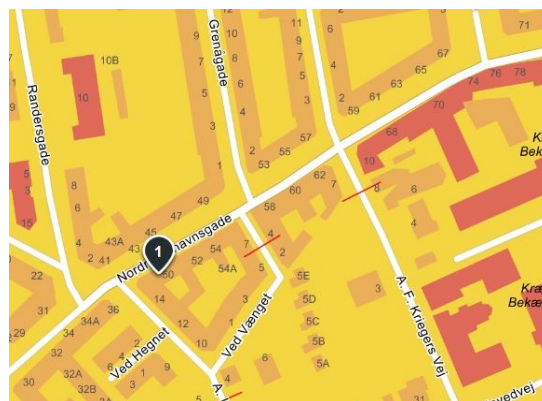


Figure 10 - ejendommens placering (nord opad)

Taget er udført som et københavntag dækket med naturskifer på skråtaget og tagpap på fladtaget. Taget er udnyttet til tørreloft og pulterrum.

Ejendommen er senest renoveret i 1984, hvor der blev etableret badeværelser, renoveret køkkener, udskiftet vinduer og etableret mekanisk udsugning fra bad og køkken.

4.2 Ejendommens arkitektoniske og byggetekniske typisering

Ejendommen er som nævnt ovenfor bygget i stilen historicisme der er karakteristisk ved sin detaljering og kontrasten mellem underfacaden der med sin kvaderpuds giver huset en tung base, og overfacadens murværk der med glatte teglsten eller pudsede overflader fremstår lettere.

Overfacaden er ornamenteret med dekorerede indramninger om og over vinduer, vandrette facadebånd, gesimser og balustrader samt en hovedgesims under taget med profilerede konsoller, alt med til at give en levende reliefvirkning. (kilde: bygningskultur.dk)

I forhold til en byggeteknisk typisering (jf. danskbyggeskik.dk) ligger ejendommen på grænsen mellem type 1, der er den klassisk grundmurede primært med bindingsværksvægge indvendigt og med etageadskillelser i træbjælkelag og type 2, der ved lovkrav i 1889 (jf. sbi anv. 142) er opført med massivt murede hovedskillellevægge og vægge omkring trapper og som typisk er med støbt fundament og i stigende grad med etageadskillelser udført som jernbjælkelag med enten udstøbning eller kappedæk f.eks. over kælderen.

Bygningen er primært opført som angivet i type 1 på fundamenter af murværk, men med etageadskillelser som jernbjælkelag, dog med træbjælkelag mellem kælder og stue, og med muret hovedskillellevæg og vægge omkring trapper som i type 2. Der er anvendt jernbjælker som vinduesoverligger.

4.3 Bygningstypens forventelige byggetekniske problemer

Bygninger af denne type og kompleksitet er ret vedligeholdelseskrævende. Svigt i vedligehold af særligt klimaskærmen giver anledning til skader, primært ved vandindtrængen, til de bagved- og underliggende konstruktioner hvor særligt tag, facade og etageadskillelser er udsatte.

I taget medfører manglende og defekte skiferplader samt mangelfulde inddækninger i tagdæk-

ningen af gennemføringer og mod tilstødende bygningsdele vandindtrængen i tagkonstruktionen og det underliggende murværk med risiko for biologiske skader til følge, hvor særligt spærender og fodremme er udsatte.

Defekt tagpap på tagets flade del og defekt inddækning af gennemføringer medfører vandindtrængen i underlagsbrædder og spær samt evt. via gennemføringer længere ned i bygningen.

Defekte, tilstoppede eller underdimensionerede tagrender og nedløb medfører vandindtrængen i murkronen enten ved opstuvning og tilbageløb over bagkant eller på facademurværket ved overløb over tagrenden forkant.

Skader på tagkonstruktionen kan medføre styrkemæssig svækkelse af taget og deraf øget risiko for stormskader men opfugtning kan også medføre indeklimaproblemer i de øverste lejligheder.

Manglende vedligehold af facadens murværk, puds, bygningsfremspring (f.eks. gesimser) og ornamentik medfører vandindtrængen gennem revner med opfugtning af både de direkte berørte og de bagvedliggende bygningsdele til følge.

Opfugtning af puds og murværk medfører frostafskalning og større revner, der igen giver endnu større vandindtrængen. Gadefacadens komplekse og ornamenterede murværk er langt mere udsat end gårdfacadens blanke murværk, hvorfor skadesomfanget forventeligt er langt større mod gaden.

Vandintrængen i de bagvedliggende bygningsdele medfører biologiske skader, som f.eks. råd- og svampeskader eller insektangreb som rådborebiller eller husbukke, i indbygget træ og korrosionsskader i indbygget stål i hhv. bjælkelag og vindueoverligger med risiko for styrkemæssigt svigt i konstruktioner.

Manglende vedligehold af overfladebehandling af f.eks. vinduer medfører vandindtrængen i materialet med materialenedbrydning til følge.

Manglende vedligehold af overflader, belægninger, bygningsdele og installationer omkring, på og i terræn medfører vandindtrængen i de bagvedliggende bygningsdele med risiko for biologiske skader i indbygget træ og korrosionsskader i indbygget stål i hhv. bjælkelag og overligger over kældervinduer med risiko for styrkemæssigt svigt i bærende konstruktioner.

4.4 Førregistrering

Der er udført førregistrering af alle bygningsdele efter systematikken som anvendes i offentligt støttede byfornyelsesesager og iht. kravene som angivet i "Krav til projektmateriale m.v. i ombygnings-sager, hvortil der søges offentlig støtte i henhold til byfornyelseslovgivningen" samt i Bek. nr. 156 af 15. marts 2004, "Bekendtgørelse om registrering af bygningers tilstand før gennemførelse af ombygningsarbejder mv. efter lov om byfornyelse og udvikling af byer". (ref. litteraturliste pkt. 12.6 og 12.7)

Førregistrering udføres opdelt på de enkelte bygningsdele fordelt efter "20-punktlisten", der er en fælles systematik for klassifikation af bygningsdele inden for byfornyelse, hvor bygningen er opdelt på netop 20 bygningsdele.

Anvendelse af 20-punktlisten sammen med bips arbejdsbeskrivelser

- 01 tagværk
- 02 kælder/fundering
- 03 facader/sokkel
- 04 vinduer
- 05 udvendige døre
- 06 trapper
- 07 porte/genemgange
- 08 etageadskillelser
- 09 wc/bad
- 10 køkkener
- 11 varmeanlæg
- 12 afløb
- 13 kloak
- 14 vandinstallation
- 15 gasinstallation
- 16 ventilation
- 17 el/svagstrøm
- 18 øvrige ombygningsarbejder
- 19 private friarealer
- 20 byggeplads.

Figure 11 - 20 pkt. skema

På de følgende sider følger førregistrering af udvalgte relevante bygningsdele på hvilke der foreslås udført energibesparende arbejder der netop forbedrer ejendommens energimærkning, de som kriterie for støttetildelingen forlangte, to karakterer.



Førregistreringen er herefter medtaget for:

Tag - BD-01 efter 20 pkt. liste
Facader - BD-03 efter 20 pkt. liste
Vinduer - BD-04 efter 20 pkt. liste
Etageadskillelser - BD-08 efter 20 pkt. liste

Førregistreringen samt det i øvrigt til brug for ansøgning om byfornyelsesstøtte udarbejdede materiale kan læses i det fulde omfang på hjemmesiden www.emborg-form.dk hvor der fra forsiden vælges menupunktet LOGIN og herfra logges på med brugernavn: frihavn og adgangskode: 1318. Herfra er der adgang til sagens kunderum hvor der foreløbigt i menuen til venstre er adgang til siden: Byfornyelse

Samme sted er oprettet siden: Master i Bygningsfysik, hvor opgaven samt alle bilag kan læses.

Alt det udarbejdede projektmateriale, herunder førregistreringen, er udført parallelt med masteropgaven af samme forfatter.

1	FØRREGISTRERING - Tagværk med senere ændringer:	PROJEKTFORSLAG - Tagværk med senere ændringer:	KVALITET/ DRIFT	BUDGET:
1.1	<p>Generel beskrivelse Tagkonstruktionen er et Københavnertag med ca. 50° skråtag med naturskifer på tagfladerne til gård og til gade.</p> <p>Fladtaget er belagt med tagpap</p> <p>Tagkonstruktion er udført med spær af fyrretræ i 5" x 5" pr. ca. 950 mm, varierende fra 800- 1000 mm. Taglægter er 38x56 mm pr. 270 mm som underlag for skiferdækning der er sømmet og lagt i skiferkit. Underlag for tagpap er tagbrædder.</p> <p>Der er ni skorstene heraf 4 fra køkkener og to fra badeværelser. 6 skorstene er forsynet med ventilatorer for udsugning af hhv. køkken og bad.</p> <p>Skorstenspiber er i filtset murværk over tag afsluttet med indskud og løskanter. To skorstene er placeret i brandgavl mod nabo og én er blændet. Skorstene er ca. 2,5 x 3 sten</p> <p>Tagrummet er været udnyttet til pulterrum. Loftrum er i gangarealer med fungerende belysninger. Gulve er med 28 x 125 mm fyrretræsbrædder.</p>	<p>Observationer</p>  <p>Figure 12 - foto af tag og gårdfacade</p> <p>Taget mod Ndr. Frihavsgade set fra A.L. Drewnsvej. Konstruktionen er et klassisk Københavnertag med naturskifer på skråtag og tagpap på fladtag.</p>  <p>Figure 13 - foto af fladtag</p>	<p>Projektforslag Tagdækningen af skifer på de skrå tagflader foreslås udskiftet til ny tilsvarende med den tilføjelse at der udføres fast undertag.</p> <p>Tagrender og nedløb udskiftes til nye i dimension tilpasset stadig større regnskyl.</p> <p>Tagvinduer fjernes i pulterrum, men bevares i fælles tørrerum.</p> <p>Tagdækningen på fladtaget foreslås bevaret med udlægning af ét nyt lag tagpap efter nedtagning af overflødig ovenlys.</p> <p>Der udføres nye ovenlyskupler i fællesarealer og som adgang til tag. Kupler udføres med hævet karm med inddækningshøjde min. 15 cm.</p> <p>Etageadskillelsen mod de øverste lejligheder isoleres ved indblæsning af granulat.</p>	<p>Økonomi</p>

1.2

Tilstandsvurdering

Den eksisterende tagdækning er formentlig fra 1984, jf. dato i ældre tegninger fra byggesagsarkiv.

Figure 14 - foto i tørrerum



Figure 16 - fugtmåling

Figure 15 - fugtmåling

Tagkonstruktionen set i et tørrerum, hvoraf det fremgår at tag er uden undertag og flere steder med utætheder omkring tagvinduer ell. knækkede skifre og der måles forhøjet fugt i træværket flere steder med en Extech MO290 indstiksmåler kalibreret til fyrretræ.

Observationer



Figure 17 - foto af brandkam

Skiferdækning er afsluttet mod brandkam ved indmuring - ikke med indskud og løskanter som anbefales i BvB - Gode Tage



Figure 18 - foto af skråtag mod gade

Platter i zink foran skifre i tagfod mod gade er ses flere steder repareret i lodninger og tagrender se flere steder repareret med "flashband" (en butylbaseret aluforstærket "gafftape").

Drift og vedligehold

Tagkonstruktion og tagbelægning kræver til enhver tid almindelig overvågning og vedligehold



Skotrender, inddækninger, aftræk og gennemføringer kræver hyppig overvågning og jævnlige vedligehold.



Tagrender og nedløb kræver hyppig overvågning og jævnlige vedligehold med oprensning mindst 2 x årligt.

Skorstene og brandkamme på tag - kræver til enhver tid almindelig overvågning f.eks. efter hver storm og vedligehold ved hver konstateret skade.

Der kontrolleres til stadighed for utætheder i og omkring gennemføring af skorstene, udluftninger, aftrækshætter og vinduer, hvor konstaterede skader afhjælpes straks.

Økonomi

	Tilstandsvurdering	Tilstandsvurdering	Projektforslag	Økonomi
	 <p>Figure 19 - foto af trempel mod gade</p>	<p>Tagkonstruktionen er helt klassisk med hævet tagfod mod gaden. Spær hviler af på murkronen som fremstår sund hvor synlig.</p> <p>Spær er mod gaden med stolekonstruktion for ca. hvert tredje spær.</p> <p>På gårdsiden er spær ført direkte til murkronen som ikke er hævet.</p> <p>Etageadskillelsen mod de øverste lejligheder er uisoleret.</p>	 <p>Figure 20 - trempelspær</p>	
1.3	<p>Dokumenter Svampeundersøgelse 10061-1 udarbejdet af Hussvamp Laboratoriet. Energimærke nr. 200058563</p>	<p>Tilstandsvurdering energi Taget er uisoleret og etageadskillelsen mod de øverste lejligheder er ligeledes uisoleret med en U-værdi på 0,85</p>	<p>Projektforslag energi Etageadskillelsen mod lejligheder isoleres ved indblæsning af granulat.</p>	
1.4	<p>Skønnet restlevetid Tagkonstruktion 70-80 år. Tagdækning skråtag 10- 15 år Tagdækning fladtag 10- 15 år</p>	<p>Tilstandsvurdering klima Tagkonstruktion forekommer styrkemæssigt tilstrækkeligt dimensioneret til at modstå øget vindbelastning. Gennemføringer ses uden tilstrækkelig inddækningshøjde ifht. at modstå øgede vandmængder særligt i kombination med øget vindpres.</p>	<p>Projektforslag klima Ved renovering af taget tilsikres tilstrækkelig fastgørelse til den underliggende konstruktion. Inddækningshøjde ved alle gennemføringer øges til min. 150 mm som anbefalet af TOR</p>	
1.5	<p>I alt kr. excl. moms</p>			

3	FØRREGISTRERING - Facader/ sokkel med senere ændringer:	PROJEKTFORSLAG - Facader/ sokkel med senere ændringer:	KVALITET/ DRIFT	BUDGET:
3.1	<p>Generel beskrivelse Gadefacaden er med kvaderpudset underfacade til og med 1. sal. Fra kordongesims ml. 1. og 2. sal og til tag er facaden med blank mur i røde sten med hvert 5. skifte trukket lidt tilbage.</p> <p>Mellemfacade fra 2. til 4. sal med pudsede gesimsbånd og balustrade under 3. sal's vinduer og indfatninger omkring og fordækninger over udvalgte vinduer på 2. og 3. sal.</p> <p>Mellem 4. og 5. sal er ligeledes et pudset gesimsbånd og pudsede basrelieffer mellem vinduer på 5. sal.</p> <p>Taggesims er pudset med støbte konsoller I stueetagen er facaden beklædt med hvidmalet pladebeklædning.</p> <p>I stueetagens erhverv er foran "Con Amore" opsat skilte på facade samt ved "Røverkøb" i blændpartier over vinduer, men kvaderpudsen er ikke fjernet.</p>	<p>Observationer</p>  <p>Figure 21 - gadefacade på hjørne</p> <p>Herover ses gadefacaden fra hjørnet med sin tydelige opdeling i kvaderpudset underfacade, mellem- og overfacade.</p>  <p>Figure 22 - foto underfacade mod gade</p> <p>Foran "Con Amore" er opsat 5 stk. udvendige belysninger.</p>	<p>Projektforslag Hele den kvaderpudsede underfacade samt ornamentik på overfacade totalafrenses til bæredygtig bund for efterfølgende renovering.</p> <p>Murværk repareres i nødvendigt omfang med udskiftning af forvitrede og beskadigede sten og omfugning i nødvendigt omfang.</p> <p>Soklen hugges ned og ompudsas i fugtbestandig specialpuds.</p> <p>Kvadre trækkes op, og balustre pudsrepareres hvor muligt og udskiftes med støbte elementer hvor reparation ikke er mulig.</p> <p>Gesimser trækkes op og pålægges sålbænkskifer for forbedret holdbarhed.</p> <p>Underfacaden og ornamentik overfladebehandles med diffusionsåbne maleprodukter.</p>	<p>Økonomi</p>

3.2 Tilstandsvurdering



Figure 23 - foto af ornamentik

Facader og sokkel er særligt på gadesiden meget forvitret og har behov for en grundlæggende istandsættelse, hvor særligt alle pudsede og støbte bygningsdele renoveres.



Figure 24 - foto af fordakning

Observationer



Figure 25 -foto af gårdfacade

Gårdfacaden er med kvaderpudset underfacade til og med 1. sal.
Fra pudset kordongesims ml. 1. og 2. sal og til tag er facaden med blank mur i gule sten. Taggesims samt gesimsbånd mellem 4. og 5. sal er muret.



Drift og vedligehold

Facadepuds og blank murværk er generelt langtidsholdbare materialer, hvis den fornødne opmærksomhed udvises.




Facadebånd og sålbænke - overvågning af revnedannelser og afskalninger.


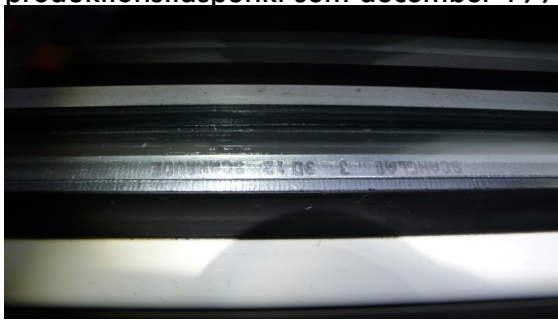

Gavlisolering overvågning og vedligehold iht. leverandørens anvisninger.


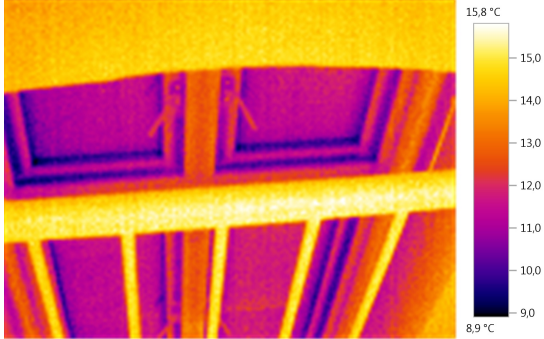

Økonomi

	<p>Tilstandsvurdering</p>  <p>Figure 26 - foto af gesims på gårdside</p> <p>Gårdfacadens murværk er grundlæggende i en stand svarende til sin alder med et antal sætningsrevner i murværket særligt omkring stik over vinduer samt udgående fra gesimserne hvor den støbte overside er forvitret.</p>	<p>Tilstandsvurdering</p> <p>Gårdfacadens underfacade er med skader udbredende sig fra kordongesimsen, hvor den støbte overside er forvitret med vandtrængen til følge.</p> <p>Underfacaden er overfladebehandlet mange gange og vedhæftningen er mange steder mangelfuld med afskallende maling.</p>	<p>Projektforslag</p>  <p>Figure 27 - foto af gesims på gårdside</p>	<p>Økonomi</p>
<p>3.3</p>	<p>Dokumenter Svampeundersøgelse 10061-1 af 2013-09-23 udarbejdet af Hussvamp Laboratoriet. Energimærke nr. 200058563</p>	<p>Tilstandsvurdering energi Ydervægge er uisolerede i massivt murværk i mellem 1,5- 3 sten dog med vinduesbrystninger i 1 sten.</p> <p>I energimærket er regnet med en gennemsnits u-værdi for murværk på 1W/m²K samt 1,8 for brystninger, hvilket ved udvendig isolering med 125 mm mineraluld kan reduceres til 0,3 W/m²K</p>	<p>Projektforslag energi Ydervægge på gårdsiden isoleres udvendigt. Ydervægge på gadesiden isoleres indvendigt i udvalgte rum hvor fugtteknisk forsvarligt Vinduesbrystninger isoleres indvendigt ifbm. udskiftning af vinduer. Resultaterende beregnet energibesparelse ≥ 65 MWh/ år.</p>	

3.4	<p>Skønnet restlevetid Konstruktion 70-80 år.</p>	<p>Tilstandsvurdering klima Klimaforandringer stiller øgede krav til facaders evne til at aflede vand fra "monsterregnskyl" men også tøbrud uden at dette medfører øget opfugtning af bygningsdelene med risiko for vandindtrængen og afskalning ved de flere frostpassager som må forventes.</p>	<p>Projektforslag klima Ved renovering af murværk gennemgås facade for revner og defekte fuger for at sikre mod vandindtrængen herfra fjernes. Ved renovering af gesimsbånd og fordakninger udføres vandafvisende oversider med sålbænkskifer, idet dette erfaringsmæssigt er det sikreste og mest langtidsholdbare.</p>	
3.5	<p>I alt kr. excl. moms</p>			

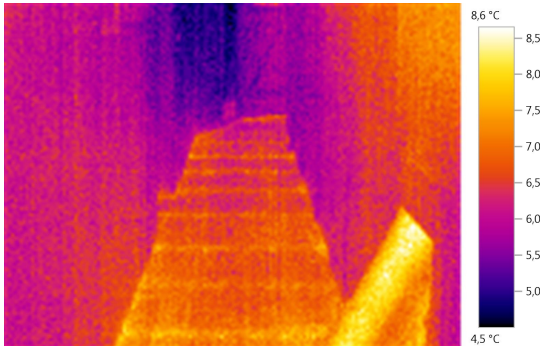



4	FØRREGISTRERING - Vinduer med senere ændringer:	PROJEKTFORSLAG - Vinduer med senere ændringer:	KVALITET/ DRIFT	BUDGET:
4.1	<p>Generel beskrivelse Ejendommen er generelt monteret med ca. 25 år gamle plastvinduer der med sine ret kraftige profiler formmæssigt ikke er tilpasset ejendommens arkitektur og som ikke lever op til den ydelse som moderne vinduer kan levere hverken i energi- eller lydmæssig henseende.</p>  <p>Figure 28 - termografibillede af vinduer</p> <p>Vinduespartier i erhvervslokalerne i stueetagen er i aluprofiler med enkeltlagsglas og uden ventilationsmulighed. Vinduespartierne er ikke tilpasset ejendommens arkitektur ikke lever op til den ydelse som moderne vinduer kan levere hverken i energi- eller lydmæssig henseende.</p>	<p>Observationer</p>  <p>Figure 29 - foto af Frb. vindue</p> <p>Herover ses gadefacaden med vinduer med ret kraftige plastprofiler, der ikke bidrager med noget rent æstetisk.</p>  <p>Figure 30 - foto af butiksvindue</p> <p>Butiksvinduer er med enkeltlagsglas i aluminiumskarme, og er ikke søgt tilpasset den oprindelige udformning.</p>	<p>Projektforslag Vinduespartier til erhvervslokaler udskiftes til nye i geometri og overflade tilpasset husets oprindelige arkitektur.</p> <p>Udskiftning sker til nye med 2- eller 3-lags termoruder med energiglas og varm kant, lyd­klasse 35 dB mod gaden.</p> <p>I samarbejde med Kbh. Kom­mune vil der som demonstra­tionsprojekt blive anvendt venti­lationsvinduer.</p> <p>Med udgangspunkt i en forsigtig vurdering af u-værdien på nye vinduer til 1,1 kan der ved udskiftning af vinduer opnås en beregnet energibesparelse til opvarmning på 60 MWh/år svarende til mellem 20- 25 af det samlede behov.</p>	<p>Økonomi</p>

4.2	Tilstandsvurdering	Observationer	Drift og vedligehold	Økonomi
	 <p>Figure 31 - foto af plastikvindue</p> <p>Vinduer er af plast uden nærmere angivelse af fabrikat. Mange vinduer på gadesiden er vanskeligt betjente. Ruder er stemplet 90-12 hvilket skønnes at angive produktionstidspunkt som december 1990</p>  <p>Figure 32 - foto af datering i rude</p>	 <p>Figure 33 - foto af vinduesbrystning</p> <p>Vinduer er med malede lysningspaneler i træ og paneler foran brystninger som formodes isoleret ifbm. etablering af fjernvarme i 1984</p>	<p>Drift og vedligehold</p> <p>Leverandørens vedligeholdelses-anvisning er udleveret til den enkelte sammen med ks-mappen.</p> <p>Justering af hængsler og anverfere</p> <p>Hængslerne smøres efter behov, mindst én gang om året med syrefri olie.</p> <p>Vinduer kan indvendigt reparereres eller overmales med acrylplastemalje. Udvendig malebehandling skal udføres af professionelle med genbehandlingsinterval afhængig af hvor udsat vinduer er monteret ifht. vejrlig.</p>	

	<p>Tilstandsvurdering</p>  <p>Figure 34 - foto af 3-fags dannebrogsvindue</p> <p>Gårdfacadens vinduer er som angivet for gadesiden.</p>	<p>Tilstandsvurdering</p>  <p>Figure 35 - termobillede af vindue i opgang</p> <p>Af ovenstående termografi ses både kolde kanter af aluminium på termoruder samt træk mellem karm og ramme.</p> <p>Til højre ses, at der også på gårdsiden er paneler i vindueslysningerne. Kun i køkkenet er disse erstattet af fliser i pudset lysning.</p>	<p>Projektforslag</p>  <p>Figure 36 - foto af træløsning</p>	<p>Økonomi</p>
<p>4.3</p>	<p>Dokumenter Energimærke nr. 200058563</p>	<p>Tilstandsvurdering energi I energimærket er regnet med en gennemsnits U-værdi for vinduer i boliger på 2,6 W/m²K samt mellem 4,1 og 4,7 for butiksvinduer. Ved udskiftning sættes u-værdien på nye vinduer til 1,1 W/m²K</p>	<p>Projektforslag energi Vinduer udskiftes til moderne højtydende energivinduer både i boliger og erhverv, hvorved der opnås en beregnet energibesparelse til opvarmning på 60 MWh/år svarende til mellem 20- 25 af det samlede behov.</p>	

<p>4.4</p>	<p>Skønnet restlevetid Plastvinduer 10 år Nye træ/aluvinduer 40 år</p>	<p>Tilstandsvurdering klima Klimaforandringer stiller øgede krav til vinduers evne til sikre mod overophedning ved solindstråling om sommeren, hvor længere hedeølger end vi kender i dag bliver normalt.</p> <p>Hvis solindfaldet reduceres ved anvendelse af belægninger på glasset reduceres dagslysindfaldet også - og hele året også om vinteren hvor der er behov for både lys og varme.</p>	<p>Projektforslag klima Der er derfor behov for andre løsninger og ventilationsvinduet er en mulighed som påtænkes afprøvet i denne ejendom.</p> <p>Ventilationsvinduet fungerer ved at trække frisk udeluft ind i bundkarmen opvarme dette mellem glassene inden det tilføres boligen. Om sommeren føres hed luft ikke ind idet en temperaturstyret ventil vender og i stedet trækker rumluft med ud.</p>	
<p>4.5</p>	<p>I alt kr. excl. moms</p>			

8	FØRREGISTRERING - Etageadskillelser med senere ændringer:	PROJEKTFORSLAG - Etageadskillelser med senere ændringer:	KVALITET/ DRIFT	BUDGET:
8.1	<p>Generel beskrivelse Ejendommen er med etageadskillelser udført som træbjælkelag med indskud, pudslotter på forskalling samt plankegulve i fyrretræ 32 x 125 mm.</p> <p>Bjælkelaget er traditionelt udført og dimensioneret efter den anvendte mellem-bæring på den langsgående murede skillevæg med formentlig 9" x 9" tømmer.</p> <p>Etageadskillelse i loftrummet er uisoleret ligesom kælderloftet er det i "fløjen" mod Ndr. Frihavsgade hvilket svarer til ca. halvdelen af arealet.</p>  <p>Figure 37 - foto af tørrerum</p>	<p>Observationer</p>  <p>Figure 38 - foto i gennemgang</p>  <p>Figure 39 - gulv i tagrum</p> <p>Gennemgang og pulterrum har plankegulv med ingen eller utilstrækkelig isolering.</p>	<p>Projektforslag Der foreslås udført isolering af kælderlofter mod hhv. gulv i gennemgang, erhverv i stueeta-ge samt i loftrum som lever op til moderne standard.</p> <p>Råd- og svampeskader som konstateret i hhv. bjælker og vinduesoverligger mv. ved Hussvamp Laboratoriets gennemgang udbedres og der imprægneres forebyggende.</p>  <p>Figure 40 - foto af vinduesoverligger i kælder</p>	<p>Økonomi</p>

<p>8.2</p>	<p>Til­stands­vur­dering</p>  <p>Figure 41 - termobillede af gulv i tagrum</p> <p>I gangen i loftrummet ses tydeligt at varmetabet er betydeligt, idet gulvet tydeligt er opvarmet af den underliggende bolig.</p>  <p>Figure 42 - foto af samme gulv som ovenfor</p>	<p>Observationer</p>  <p>Figure 43 - foto i kælderrum</p> <p>Kælderlofter er i fløj mod Ndr. Frihavns­gade uisol­eret.</p>  <p>Figure 44 - foto af uisolerede vandrør</p>	<p>Drift og vedligehold</p> <p>Gulve og lofter vedligeholdes ved jævnlig udbedring af pudsskader på lofter samt pleje og vedligehold af overfladebehandling af gulve.</p> <p>Alle vandskader, der opdages i tide kan udbedres, inden de udvikler sig egentlige råd- og svampeskader</p>	<p>Økonomi</p>
<p>8.3</p>	<p>Dokumenter</p> <p>Energimærke nr. 200058563 Svampeundersøgelse 10061-1 udarbejdet af Hus­svamp Laboratoriet.</p>	<p>Til­stands­vur­dering energi</p> <p>I energimærket er etageadskillelsen i loftrummet opført med U-værdi på 0,85 W/m²K</p>	<p>Projektforslag energi</p> <p>Isolering i etageadskillelser opdateres.</p>	

8.4	Skønnet restlevetid Etageadskillelser 50 år	Tilstandsvurdering klima Klimaforandringer stiller øgede krav til bygningers egenskaber ifht. håndtering af ændrede fugtforhold. Når isoleringsforhold ændres i f.eks. tagrum og kælderen skal der udvises opmærksomhed omkring ventilationsforholdene idet den relative luftfugtighed kan stige, hvilket kan give skimmel problemer på grund af kondens på afkølede bygningsdele.	Projektforslag klima Det vil under projekteringen blive overvejet hvorledes fugtig luft i både kælder og loftrum kan bortventileres ad naturlig vej eller vha. mekanisk ventilation.	
8.5	I alt kr. excl. moms			

5 Resultatet af førregistreringen

5.1 De nødvendige renoveringsarbejder:

Ejendommens klimaskærm fremstår nedslidt med behov for gennemgribende renovering af både tag, facader, vinduer og kældere, hvilket med stor fordel kan kombineres med energirenovering og klimatilpasning.

Taget fremstår med behov for gennemgribende renovering. De skrå tagflader foreslås derfor nydækket med naturskifer udført på nyt fast undertag. Fladtaget foreslås renoveret ved pålægning af ny tagpap efter fjernelse af forvitret tagpap og overflødige ovenlys. Inddækningshøjde øges for alle bevarede gennemføringer.

For øget klimatilpasning udskiftes tagrender og nedløb til nye i større dimension.

Kælderen renoveres ved fjernelse af utætte lyskasser, opmuring af vindueshuller samt dræning og fugtsikring af kælderydervægge. Defekte vinduesoverligger udskiftes.

Gadefacaden renoveres til oprindeligt udseende med udbedring af skader i murværk og retableret ornamentik og kvaderpuds. For bedre vandafledning pålægges gesimser og facadebånd sålbænksskifer hvor muligt.

Gadefacaden isoleres indvendigt i de øverste lejligheder hvor murtykkelsen er mindst og varmetabet størst. Gårdfacaden renoveres ved udvendig isolering.

Eksisterende udtjente plastvinduer udskiftes til nye ventilationsvinduer tilpasset ejendommens arkitektur. Enkeltlags glas i opgangsdøre udskiftes til termoruder med energiglas.

Konstaterede råd- og svampeskader i etageadskillelser udbedres og forebygges fremadrettet konstruktivt og ved imprægnering. Energibesparende opdatering af isolering udføres iht. anbefalingerne i energimærket.

Alle tekniske installationer efterisoleres iht. anbefalingerne i energimærket og installationer og kloakanlæg etableres for dræn, repareres iht. TV-inspektion og tilpasses for øvrige udførte arbejder.

5.2 De udvalgte energirenoveringsarbejder

Ejendommen er energimærket med karakter D og skal, for at opnå byfornyelsesstøtte, med de anviste forbedringer have hævet denne til karakter B.

I beregningerne i afsnit 7 vil derfor blive undersøgt følgende arbejder, for hvilke hhv. potentiale og energibesparelse kan ses i fig. 47 og 48.:

- 5.2.1 Udskiftning af vinduer,
- 5.2.2 Isolering af vinduesbrystninger indvendigt mod gaden
- 5.2.3 Isolering af etageadskillelsen mod hhv. kælder og loftrum,
- 5.2.4 Isolering af gårdfacaden udvendigt,
- 5.2.5 Isolering af gadefacaden indvendigt i lejlighederne på 5. sal hvor muren er tyndest og udbyttet dermed højest.
- 5.2.6 Etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding

Bygge- og fugttekniske udfordringer ved arbejderne vil blive behandlet i diskussionsafsnittet.

6 Beregningsmetoder, instrumenter og randbetingelser

6.1 Forundersøgelser, måleinstrumenter

I forbindelse med forundersøgelse og førregistrering af ejendommen er der anvendt flere måleinstrumenter, herunder væsentligst:



Figure 45 - 3D-view fra bygningsmodellen i Revit

Afstandsmåler: Disto Classic laser afstandsmåler af fabrikat Leica er anvendelig til måling af afstande mellem 30 cm og 100 m med udlæsning i mm med en gennemsnitlig nøjagtighed på +/- 3 mm. Afstandsmåler er benyttet til opmåling af ejendommen for opbygning af 3D model i BIM-programmet revit.

Vinkelmåler: Winkeltronic "Easy" digital vinkelmåler af fabrikat Nedo er anvendelig til måling af vinkler mellem 0- 200° med udlæsning i grader° med en nøjagtighed på +/- 0,2° og mindste aflæsningsnøjagtighed på 0,1°.

Vinkelmåler er anvendt til fastlæggelse af taghældninger samt opmåling af indvendigt hjørne på gårdsiden.

Termografikamera: Testo 880-3 termografikamera arbejder med en opløsning på 160 x 120 pixels (interpoleret til 320 x 240) og kan anvendes til måling mellem -20 og 100°C eller 0-350°C (valgfrit ved omstilling) med en nøjagtighed på +/- 2°C (ell. 2%). Opløsningen opfylder ikke anbefalingerne i Vejledning i bygningstermografi af december 2014.

Termografering er anvendt til undersøgelse af primært klimaskærm og etageadskillelser hvor tilgængelige.

Fugtmåler: Til fugtmåling er anvendt multifunktionsmåler Extech MO290, der både kan måle kapacitivt og med indstikselektroder og som derudover måler både temperatur og relativ luftfugtighed og endeligt infrarødt kan måle overfladetemperaturer. Fugtmålinger er anvendt stikprøvevist i f.eks. tagkonstruktion og kælder for at danne et overblik over utætheder og skadesomfang.

Udstyret er generelt af god kvalitet, men ikke kalibreret og kan således "kun" anvendes til aflæsning af relative værdier, hvilket er fuldt tilstrækkeligt til det daglige behov. Men f.eks. ved arbejde som skal kunne indgå i syn- og skønsarbejde anbefales kalibrering udført, idet nøjagtighed i målinger ikke må kunne betvivles af modpart.

6.2 Energiberegninger i Be10

Be10 udgør et hele sammen med den tilhørende beregningsvejledning SBI-anvisning 213, og er en metode til beregning af bygningers energibehov. Program og anvisning er henvendt til rådgivende ingeniører, arkitekter, entreprenører og energikonsulenter, der arbejder med projektering af byggeri, eller som udsteder energimærker m.v.

Det forudsættes derfor at brugerne af Be10 har kendskab til de relevante bestemmelser i Bygningsreglement 2010 (BR10) samt DS 418.

Programmet er anvendt til beregning af energiforbrug og besparelspotentiale og resultaterne kan ses i fig. 47 og 48

6.3 Fugtsimulering i WUFI

Til simulering af varme- og fugtforhold i konstruktioner er anvendt beregningsprogrammet WUFI ("Wärme und Feuchte Instationär") der er et PC-program udviklet af Fraunhofer Institut für Bauphysik (IBP) i Tyskland. Programmet muliggør 1-dimensionale beregninger af fugt og varmetekniske forhold ved klima der varierer over tid.

Programmet kobler varme- og fugttekniske beregningsmetoder. Den fugttekniske beregning tager højde for damptransport (diffusion) og kapillarsugning i såvel det hygroskopiske som overhygroskopiske område. Konvektion medregnes kun på simpel vis. Programmet tager hensyn til, at nogle materialeparametre er temperatur- og fugtafhængige. Det kan inkludere slagregn og stråling i udeklimaet, hvilket i nogle situationer gør klimabelastningerne mere realistiske.

WUFI er verificeret ved sammenligning af målinger i laboratorium og i praksis fra feltmålinger. Det er dog som ved anvendelsen af alle dataprogrammer vigtigt at kende begrænsningerne og være kritisk over for, hvad der sættes ind, hvordan det bruges og hvor høj grad af troværdighed de aflæste resultater kan tillægges.

WUFI er som program anset for at egne sig til simulering og vurdering af:

- Kondens- og skimmelfare i bygningskonstruktioner
- Virkning af slagregn mod udvendige overflader
- Indvirkning ved ombygning og forbedringer
- Fugt og varmetekniske forhold i yderkonstruktioner ved variation i klima eller ved ekstreme klimaforhold.
- Udtørringstid for byggefugt

Programmet er anvendt til simulering af fugtforhold i konstruktionerne som funktion af de forskellige isoleringsløsninger og resultaterne ses i fig. 53, 54 og 55 samt i fuldt omfang i bilagsafsnit: Fugtberegning - resultatark samt WUFI-rapporter.

6.4 Kuldebrosanalyse i HEAT

I programmet HEAT2 (anvendt i ver. 9) er det blandt andet muligt at udføre beregninger i 2D af varmestrømme, U-værdier og temperaturforløb i konstruktioner og kuldebroer. Beregninger kan være statiske (steady-state/ øjebliksbillede) eller dynamiske (transient/ forløb), hvor der i beregningerne bl.a. tages hensyn til materialernes varmeakkumulering og hvor randbetingelser kan være tidsafhængige.

Det er derved muligt at få et grafisk billede af temperaturprofilen vist med f.eks. isotermer og pile for varmestrømme i det undersøgte knudepunkt og derved fx få synliggjort forskelle før og efter udført isolering, ligesom temperaturen i et givet punkt også kan undersøges.

I transiente beregninger kan man definere fx en temperatur til at være tidsafhængig, og i så fald kan den defineres som stepvis konstant, stepvis lineær eller følgende en sinusfunktion. Man kan derved (teoretisk set) definere en udetemperaturvariation der følger vejrdata, ved at indtaste fx timeværdier i en stepvis konstant funktion. Herved er temperaturen så konstant hver time.

Programmet er anvendt til simulering af temperaturforhold omkring bjælkeender i murværket udfor 5. salens etageadskillelse som funktion af de forskellige isoleringsløsninger og resultaterne ses i fig. 63 samt mere detaljeret i bilagsafsnit: HEAT-rapporter.

6.5 Randbetingelser

I Be10 arbejdes med følgende dimensionerende temperaturer: Rumtemp. 20,0°C, Udetemp. -12,0°C og rumtemp. Da der ikke er regnet med mekanisk ventilation er setpunkter for dette udeladt.

I Wufi arbejdes med reelle vejrdata valgt for Lund. Data er leveret af Lund Universitet (LTH) og er baseret på vejrdata fra 1995- 2005, hvor ekstreme vejrhændelser er udeladt. Vejrdata for Lund forudsættes at ligne København så meget, at det ikke i sig selv giver anledning til forbehold ved vurdering af resultaterne.

Af fig. 46 fremgår at gennemsnitstemperaturen er 9,2°C, gennemsnits RF er 81 % og den kritiske retning for slagregn er SW, hvorfor beregninger skal afprøves mod SW (SV på dansk).

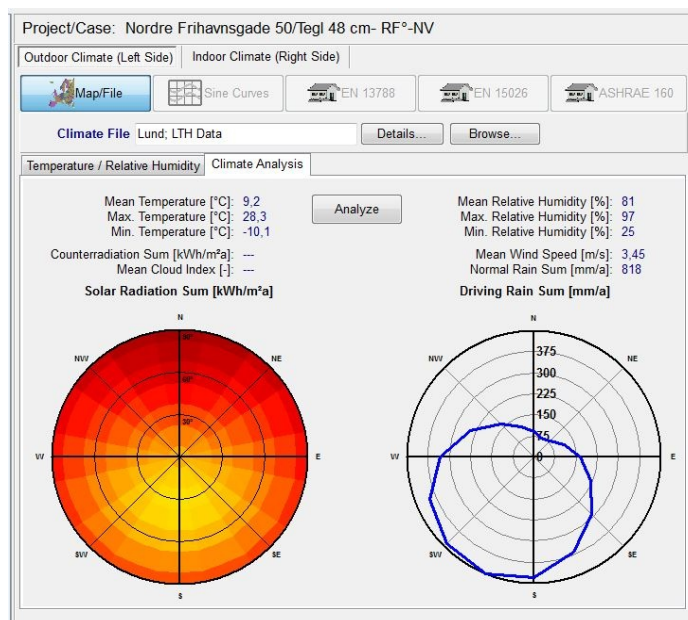


Figure 46 - Klimaanalyse fra WUFI

I WUFI arbejdes konsekvent med "høj fugtbelastning" i indemiljøet svarende til fugtbelastningsklasse 3.

De anvendte materialer er alle fundet i WUFI's materialebibliotek og for de materialer hvor der ikke umiddelbart fandtes grafiske sorptionskurver hvor RF for et givet fugtindhold i kg/m³ materiale kan aflæses, er disse fundet i Excel ved retlinet interpolation.

7 Resultater, energiberegninger, fugt og økonomi

Der er udført beregninger af energibesparelser og regnet på fugtforholdene i de anbefalede løsninger samt på økonomien for hhv. etablering og rentabilitet ifht. BR2010 kap. 7.4.1 stk. 1.

7.1 Energibesparelspotentiale beregning i Be10

I Be10 er udført beregninger for den opnåede energibesparelse for de mulige og for de valgte løsninger for isolering af klimaskærmen. I skemaet i figur 47 er angivet dimensioner af hhv. den eksisterende konstruktion samt den anvendte isolering med tilhørende u-værdier samt det resulterende transmissionstab for bygningsdelen og for hele klimaskærmen.

Bygningsdel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Areal	Dimension	Ny isolering	U-værdier før	U-værdier efter	Transmissionstab før	Transmissionstab før pr. m ²	Transmissionstab efter	Transmissionstab efter pr. m ²
Enhed	m ²	cm	cm	W/m ² K	W/m ² K	kW	W/m ²	kW	W/m ²
Vinduer	398			2,8	1,0	36,0	90,5	12,7	31,9
Facader excl. brystninger	906	47	0,0	1,0	1,0	28,9	31,9	0,0	0,0
Facader gade, 4. og 5. sal	230	35	5,0	1,0	0,5	7,4	32,0	3,7	16,0
Facader gade stue- 3. sal	460	47	0,0	1,0	1,0	14,7	32,0	14,7	32,0
Facader gård	230	47	12,0	1,0	0,3	7,4	32,0	2,0	8,6
Brystninger	137	23	12,5	1,8	0,3	7,8	57,3	1,2	8,5
Etagedæk mod kælder	188	27	10,0	0,8	0,25	4,8	25,5	2,4	12,8
Etagedæk mod kælder	188	27	10,0	0,25	0,25	1,5	8,0	1,5	8,0
Etagedæk gennemgang	19	27	10,0	0,4	0,25	0,24	12,6	0,2	7,9
Etagedæk mod loft	396	27	10,0	0,9	0,4	10,0	25,3	5,0	12,6
Klimaskærm ex. vinduer og døre	1842					55,0	29,9	34,6	18,8
Klimaskærm m. vinduer og døre	2240					93,0	41,5	49,0	21,9

Figure 47 - skema med energibesparelspotentialet ved udskiftning (vinduer) eller efterisolering af de enkelte bygningsdele

I fig. 47 er to værdier for etagedæk mod kælder markeret med rødt blot for at synliggøre den forskel der er registreret i energimærket (se bilag - EMO), hvor kun en del af etagedækket er isoleret.

Bemærk også forskellen i U-værdi før og efter for brystninger, der resulterer i en markant reduktion af transmissionstabet og derfor er en medvirkende årsag til at rentabilitetsberegningen i fig. 48 falder så positivt ud.

7.2 Ejendommens energimærkning, beregninger

Opgaven har som mål at hæve karakteren i energimærkningen med min. to karakterer og i skemaet i fig. 48 er angivet trin for trin, hvorledes energibesparelsesarbejderne reducerer bygningens energi- og varmebehov samt den resulterende energimærkekaraktér og transmissionstab for bygningsdelen og for hele klimaskærmen.

7.3 Ejendommens energimærkning, trin for trin:

Bygningsdel	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	10	11
	Transmissionstab klimaskærm	Varmebehov	Samlet energibehov	Energimærke	Energibesparelse	Reduktion varmebehov	Investeringsbehov	Pris pr. sparet MWh	Pris pr. sparet kWh/m ² /år	Levetid iht. BR2010, bilag 6	Rentabilitet ifht. BR2010 kap. 7.4.1 stk. 1	Levetid iht. levetider.dk	Rentabilitet ifht. BR2010 kap. 7.4.1 stk. 1
Enhed	W/m ²	MWh	kWh/m ² /år	A-E	kWh/m ² /år	MWh	1.000 kr	1.000 kr	1.000 kr	år	>1,33	år	>1,33
Bygning eksist. forhold	31	252	127	D	0	0							
Vinduer udskiftes til 3-lags (u-værdi 1,0)	31	192	101	D	26	60	404	7	16	30	3,68	50	6,13
Vinduesbrystninger isoleres indv. (gade) og udv. (gård)	27	162	88,3	C	12,7	30	172	6	14	40	5,76	45	6,48
Etageadskillelse kld.	25,6	157	86,7	C	1,6	5	95	19	59	40	1,75	45	1,96
Etageadskillelse løftrum	22,5	140,3	79,4	C	7,3	16,7	119	7	16	40	4,64	45	5,22
Gårdfacade isoleres udv. (brystninger ikke medregnet)	19,7	126,1	73,3	C	6,1	14,2	465	33	76	40	1,01	45	1,13
Div. småforbedringer gadedøre mv. (termoglas)	19,6	125,4	73,1	C	0,2	0,7	15	21	75	30	1,15	25	0,96
Gårdfacade isoleres udv. + øvrige fra vinduer mv.	19	125	73	C	28	67	764	11	27	0	0,01	0	0,00
Gadefacades 5. sal isoleres indvendigt (35 cm murværk)	17	115	68	B	5	10	805	81	161	40	0,41	40	0,41
Som ovenfor med mekanisk ventilation (VGV 0,9)	17,0	74,0	57,0	B	11	41	550	13	50	20	1,19	25	1,54
Som ovenfor med 30 m ² solceller på tagflade mod SØ	17,0	73,0	51,0	A	6	1	250	250	42	20	0,07	25	0,08

Figure 48 - skema over trinvis resultater af energiforbedringer med resulterende og rentabilitet

I fig. 48 er med rød markeret eksist. energimærkekaraktér D samt med grøn to scenarier der som resultat medfører energimærke B. Som grundlag for ansøgningen om støtte efter byfornyelsesloven er valgt det første scenarie, der medfører energimærke B, blandt andet for at opfylde Kbh's Kommunes ønske om at udføre flere forsøg med indvendig isolering.

Kolonnerne 1 - 6 er beregnet i eller på baggrund af data fra Be10, i kolonne 7 er medtaget budgettal fra overslagsbudgettet fra byfornyelsesansøgningen se bilag 3

Kolonner for rentabilitetsberegning er formateret således at cellen ved værdier over 1,33 skifter farve fra rød til grøn og dermed viser at foranstaltningen er rentabel ifht. BR2010 kap. 7.4.1 og dermed skal udføres. I kolonner 10 og 11 er anvendt levetider fra BR2010 bilag 6 og i kolonner 12- 13 er anvendt levetider beregnet på www.levetider.dk

Resultat

VINDUER

RAPPORT

14-04-2015

LEVETID ?

Hårdtræ



DRIFT OG VEDLIGEHOLD ?

Udskiftning af ruder



Udskiftning af tætningslister



Udskiftning af beslag



Udskiftning af fuger



SIKKERHED OG DRIFTSINDSATS ? minimal optimal

VALG ?

Type

Vinduesmateriale

Hårdtræ

Fuge

a) Mørtel

Beslag

b) Nyere beslag

Forudsætninger

Etager

4-5

Orientering

Nordvest til sydøst

Placeringsdybde

Mere beskyttet

Rumtype

Opholdsrum

Terrænklasse

IV: Bymæssig bebyggelse

BEREGNINGSGRUNDLAG

REFERENCELEVETID ?

Hårdtræ



FAKTORER ?

Type

Valg

Faktor

Forudsætninger

Valg

Faktor

Etager

4-5

1,00

Orientering

Nordvest til sydøst

1,00

Placeringsdybde

Mere beskyttet

1,00

Rumtype

Opholdsrum

1,00

Terrænklasse

IV: Bymæssig bebyggelse

0,95

www.levetider.dk

Figure 49 - eksempel på levetidsberegning for nye vinduer iht. levetider.dk

7.4 Resultaterne af rentabilitetsberegninger iht. BR2010

I skemaet i figur 48 er resultaterne af rentabilitetsberegninger iht. BR2010 kap. 7.4.1 vist. I beregningen indgår foranstaltningens levetid hhv. som angivet i BR2010 bilag 6 (meget konservative værdier) og som beregnet på levetider.dk (mere realistiske værdier) som vist udført for vinduer i fig. 49

Ved beregning af energibesparelse i kr. er der regnet med: 1 MWh = ca. kr. 825 excl. moms, hvilket er beregnet på baggrund af de faktisk afholdte udgifter til varme i ejendommen.

Energibesparelsen for den enkelte foranstaltning er medtaget jf. fig. 48

Økonomien for den enkelte foranstaltning er beregnet i byggesagens overslagsbudget (bilag 3) som også danner grundlag for byfornyelsesansøgningen.

For angivelse af korrekt levetid er der udført levetidsberegning på levetider.dk som vist i figur 49 for vinduer.

herefter bliver beregningen for vinduerne som følger:

$$\frac{\text{energibesparelse} \times \text{levetid}}{\text{investering}} \geq 1,33 \Rightarrow \frac{49.500 \times 50}{1.615.000} = 1,53 \geq 1,33$$

Figure 50 - rentabilitetsberegning med levetid jf. fig. 49 fra levetider.dk

Energibesparelse ved udskiftning iht. Be10: 252-192 MWh = 60*825.- = tkr. 49,5/år

Beregning iht. BR2010 7.4.1. stk. 1.: 49.500x50/1.615.000 = 1,53 > 1,3 => rentabelt og skal derfor udføres (levetid jf. www.levetider.dk)

For at udføre en korrekt beregning iht. BR2010 skal der i beregningen medtages det forhold, at de eksisterende vinduer er tjenelige til udskiftning, således at dette skal ske under alle omstændigheder. I beregningen skal herefter udelukkende medtages merudgiften til energimæssigt optimerede vinduer i forhold til alm. standardvinduer, så ser regnestykket noget anderledes ud, idet merudgiften erfaringsmæssigt kan ansættes til ca. 25 % af den samlede udgift.

Herunder ses i en revideret beregning hvor stor betydning det har, at forudsætningerne for beregningen er korrekt.

$$\frac{\text{energibesparelse} \times \text{levetid}}{\text{investering}} \geq 1,33 \Rightarrow \frac{49.500 \times 50}{403.750} = 6,13 \geq 1,33$$

Figure 51 - rentabilitetsberegning udelukkende energiforbedring, levetid jf. fig 49

7.5 Resultaterne af fugtberegninger udført i WUFI

I nærværende afsnit følger resultaterne af fugtberegninger udført i Wufi vedr. fugtphobning i konstruktionerne, værdier for RF på hhv. indvendige vægflader samt udvalgte punkter i konstruktionerne medtaget i skemaform samt illustreret med relevante grafer og fugtprofiler.

I skemaet nedenfor i fig. 52 er vist den anvendte tabel for sorptionsværdier for de undersøgte materialer. Værdier er fundet ved interpolation, hvor kun enkelte værdier er tilgængelige i WUFI's database. Værdierne er vigtige for at kunne beregne RF i det enkelte materiale og er anvendt til indsættelse i formlerne i resultatarkene i Excel.

A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
Teglsten, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Puds, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Mineraluld, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Foamglass, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	EPS, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Gips, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Ytong, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	iQ-Therm, fugt i kg/m ³	(interpoleret)	Fyrretræ, fugt i kg/m ³	(interpoleret)
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,4	11,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,6	22,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
2,0	32,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3,9	43,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10,3	75,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	5,6	65,0	1,6	32,9	0,0	0,0	0,0	0,0
18,6	90,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	12,1	93,0	6,6	75,4	0,6	10,0	0,0	0,0
33,3	96,9	45,0	80,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	15,6	97,0	10,6	90,0	4,1	80,0	0,0	0,0
103,0	99,3	95,0	99,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	31,5	99,5	37,7	97,4	5,2	95,0	32,0	50,0
143,0	99,7	110,0	99,9	2,0	80,0	0,5	80,0	2,0	80,0	54,5	99,9	93,0	99,0	5,4	99,0	60,0	80,0
172,0	99,8	140,0	100,0	4,0	90,0	1,0	90,0	4,0	90,0	68,1	100,0	132,0	99,8	5,5	99,5	88,0	90,0
209,0	99,9	200,0	100,0	10,0	96,0	4,0	98,0	10,0	93,0	110,0	100,0	140,0	100,0	5,5	99,9	116,0	97,0
262,0	100,0	210,0	100,0	45,0	100,0	12,0	100,0	45,0	100,0	400,0	100,0	197,0	100,0	5,5	100,0	575,0	100,0

Figure 52 - tabel med interpolerede værdier for sorption for de enkelte materialer (bilag 5.4)

I skemaet i figur 53 er vist beregnede værdier for en række undersøgte isoleringsløsninger for en 35 cm teglstensvæg vendt mod SV. Løsningerne er beskrevet med sammensætning og placering af isolering og evt. membran, resulterende U-værdi. Desuden er fugtbelastningsklassen vist således at RF^o svarer til normal fugtbelastning (WUFI) svarende til belastningsklasse 2 med værdier over året mellem (40 < RF% < 60) og RF+ svarer til høj belastning (klasse 3) med værdier (50 < RF% < 70)

Skemaet er formatteret således, at celler med fugtprocenter skifter fra grøn til rød når den anvendte grænseværdi overskrides: For fugt-% i tegl er denne sat til 99,5 %, for isoleringsmaterialet 95 % og for indvendigt materiale/flade er grænsen sat til 70 %. En enkelt celle er markeret med rød og dette svarer til det maksimalt beregnede fugtindhold der forekommer i den eksisterende teglstensvæg før isolering. Gule celler gør opmærksom på at denne løsning "vender omvendt" (se note i skema).

Konstruktion	1	1a	2	2a	3	4	5	6	6	6	7	7
Fugtforhold gældende for teglstensvæg 35 cm, runnvægt 1786 kg/m ³ måtningspunkt for frit vand 262 kg/m ³	Teglstensvæg 35 cm uden isolering	Teglstensvæg 35 cm uden isolering	Som 1. indv. isol. m. 75 mm mineraluld (50+D+25+G) m. dampspærre(D) + gips(G) indv.	Som 1. indv. isol. m. 75 mm mineraluld (50+D+25+G) m. dampspærre(D) og gips(G) indv.	Som 1. udv. isoleret med 125 mm mineraluld og 10 mm puds	Som 1. indv. isoleret med 6 cm celleglas	Som 1. indv. isoleret med 5 cm EPS + indv. gips	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 6 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm
Fugtklasse	RF ⁰	RF+	RF+	RF ⁰	RF+	RF+	RF+	RF+	RF ⁰	RF ⁰	RF+	RF ⁰
Orientering	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV	SV
Beregning i år	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
U-værdi	1,228	1,228	0,37	0,37	0,239	0,418	0,426	0,58	0,58	0,46	0,578	0,578
startfugt BD i kg/m ²	26,3	26,3	21,3	21,3	21,3	21,0	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1	21,1
slutfugt BD i kg/m ²	23,2	23,7	41,9	41,8	3,2	41,0	41,1	27,1	26,6	26,6	40,4	40,0
minfugt BD i kg/m ²	19,0	19,4	20,1	20,0	2,2	19,7	19,8	18,4	18,1	18,1	19,7	19,6
maxfugt BD i kg/m ²	52,4	52,6	80,1	79,9	21,3	78,0	78,0	59,8	59,5	59,5	76,2	75,7
startfugt tegl i kg/m ³	75,0	75,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0	60,0
startfugt tegl %	99,0	99,0	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2	98,2
slutfugt tegl i kg/m ³	66,3	67,6	117,9	117,9	6,3	116,9	116,5	76,5	75,5	79,4	115,0	114,0
slutfugt tegl %	98,5	98,6	99,4	99,4	59,2	99,4	99,4	99,0	99,0	99,0	99,4	99,4
minfugt tegl i kg/m ³	54,2	55,5	56,0	56,0	4,9	56,2	55,9	51,7	51,3	52,2	56,0	55,7
minfugt tegl %	97,9	98,0	98,0	98,0	50,1	98,0	98,0	97,8	97,8	97,8	98,0	98,0
maxfugt tegl i kg/m ³	149,7	150,2	226,8	226,8	60,0	222,5	222,1	167,8	166,9	174,7	217,3	216,0
maxfugt tegl %	99,7	99,7	99,9	99,9	98,2	99,9	99,9	99,8	99,8	99,8	99,9	99,9
startfugt isol. %	0,0	0,0	16,0	16,0	15,2	16,0	15,2	45,1	45,1	45,1	45,7	45,7
slutfugt isol. %	0,0	0,0	94,5	94,5	51,6	90,2	90,2	90,0	72,7	90,1	82,3	77,2
minfugt isol. %	0,0	0,0	15,2	15,2	15,2	16,0	15,2	45,1	45,1	45,1	45,7	45,7
maxfugt isol. %	0,0	0,0	96,3	96,3	97,4	90,5	90,6	98,2	98,1	98,4	86,3	81,9
startfugt indv. %	0,0	0,0	48,0	48,0	48,0	0,0	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
slutfugt indv. %	0,0	0,0	65,2	56,1	96,0	0,0	64,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
minfugt indv. %	0,0	0,0	48,0	42,4	48,0	0,0	45,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
maxfugt indv. %	0,0	0,0	72,4	63,3	>100	0,0	72,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
anvendelig +8 år	nej	nej	nej	ja	Ja	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej
bemærkninger	Ret begrænset forskel ved RF ⁰ iht. RF+	Rød celle, er den højeste værdi for maxfugt i 35 cm tegl	Høje værdier for maxfugt	OK i fugtbelastnings-klasse 2	Værdier med gult er for yderste lag puds	Høj værdi for maxfugt i tegl	Høje værdi for maxfugt i tegl og gips	Høje værdier for maxfugt	fugtbelastningskl. 2 ændrer ikke meget	fugtbelastningskl. 2 ændrer ikke meget	Høj værdi for maxfugt i tegl	fugtbelastningskl. 2 ændrer ikke meget

Figure 53 - resultater af fugtberegninger for 35 cm teglstensvæg orienteret SV, for fuld version se bilag 5.7

Skemaet i figur 54 samler de løsninger, der opfylder de stillede betingelser omkring acceptabel slut- og maksimal fugtindhold i hhv. teglsten og isoleringsmaterialet. Som det fremgår af skemaet er der ingen løsning der opfylder alle betingelser for orienteringen SV, hvorfor der i figur 55 er vist en tilsvarende skematisk oversigt over de løsninger der er tættest på at opfylde kriterierne uden at gøre det.

Murtykkelse	35 cm	35 cm	35 cm	48 cm	48 cm	48 cm	48 cm	48 cm
Konstruktion	6	6	6	6	7	6	6	7
Fugtforhold gældende for teglstensvæg 23 cm, rumvægt 1786 kg/m ³ mætningspunkt for frit vand 262 kg/m ³	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm
Fugtklasse	RF+	RF+	RF+	RF+	RF+	RF+	RF+	RF+
Orientering	NV	NØ	SØ	NV	NV	SØ	NØ	NØ
Beregning i år	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
U-værdi	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58
startfugt tegl i kg/m ³	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
startfugt tegl %	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22
slutfugt tegl i kg/m ³	51,70	61,12	61,12	55,38	79,00	69,24	25,68	33,59
slutfugt tegl %	97,81	98,27	98,27	97,99	99,01	98,67	95,45	96,91
minfugt tegl i kg/m ³	41,07	50,17	50,17	47,12	53,83	52,68	25,48	33,55
minfugt tegl %	97,28	97,73	97,73	97,58	97,91	25,48	95,29	96,91
maxfugt tegl i kg/m ³	103,01	115,82	115,82	91,17	115,21	107,76	60,00	66,09
maxfugt tegl %	99,26	99,40	99,40	99,14	99,39	99,31	98,22	98,52
startfugt isol. %	45,06	45,06	45,06	45,06	45,68	45,06	45,06	45,68
slutfugt isol. %	78,32	80,71	80,71	75,98	81,98	72,49	72,49	79,40
minfugt isol. %	45,06	45,06	45,06	45,06	45,68	45,06	45,06	45,68
maxfugt isol. %	90,75	92,05	92,05	90,34	85,68	90,26	90,26	85,06
anvendelig +8 år	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja
bemærkninger	Lave værdier for maxfugt	Lave værdier for maxfugt	Lave værdier for maxfugt	Lave værdier for maxfugt	Lave værdier for maxfugt	Lav værdi for max. fugt i isol. og tegl	Lav høj værdi for maxfugt i tegl	Lav værdi for maxfugt i isolering

Figure 54 - oversigt over løsninger der opfylder de stillede kriterier, for fuld version se bilag 5.1

Murtykkelse	35 cm	35 cm	35 cm	35 cm	35 cm	35 cm	36 cm	35 cm	35 cm
Konstruktion	5	7	6	6	7	7	2	5	7
Fugtforhold gældende for teglstensvægt 23 cm, rumvægt 1786 kg/m ³ mætningspunkt for frit vand 262 kg/m ³	Som 1. indv. isoleret med 5 cm EPS + indv. gips	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm Ytong	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm	Som 1. indv. isol. med 75 mm mineraluld (50+D+25+G) m. dampspærre(D) + gips(G) indv.	Som 1. indv. isoleret med 5 cm EPS + indv. gips	Som 1. indv. isoleret med 3 cm iQ-Therm
Fugtklasse	RF+	RF+	RF+	RF ^o	RF+	RF ^o	RF+	RF+	RF+
Orientering	NV	NV	SV	SV	SV	SV	NØ	NØ	NØ
Beregning i år	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
U-værdi	0,43	0,58	0,58	0,58	0,58	0,58	0,34	0,43	0,58
startfugt BD i kg/m ²	21,07	21,06	21,06	21,06	21,06	21,06	21,30	21,07	21,06
slutfugt BD i kg/m ²	28,33	27,56	27,11	26,60	40,37	40,02	34,95	34,16	33,50
minfugt BD i kg/m ²	18,49	18,30	18,41	18,11	19,70	19,60	19,72	19,37	19,27
maxfugt BD i kg/m ²	45,82	45,03	59,75	59,45	76,18	75,72	55,07	53,72	52,61
startfugt tegl i kg/m ³	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00	60,00
startfugt tegl %	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22	98,22
slutfugt tegl i kg/m ³	80,18	78,38	76,52	75,48	114,99	114,01	98,01	96,79	95,35
slutfugt tegl %	99,02	99,00	98,98	98,97	99,39	99,38	99,21	99,19	99,18
minfugt tegl i kg/m ³	52,23	51,95	51,74	51,30	55,95	55,71	54,80	54,75	54,73
minfugt tegl %	97,83	97,82	97,81	97,79	98,02	98,00	97,96	97,96	97,96
maxfugt tegl i kg/m ³	130,24	128,33	167,83	166,93	217,28	216,00	155,62	152,79	149,97
maxfugt tegl %	99,56	99,54	99,77	99,77	99,87	99,87	99,73	99,73	99,72
startfugt isol. %	15,20	45,68	45,06	45,06	45,68	45,68	16,00	15,20	45,68
slutfugt isol. %	90,03	81,73	90,04	72,73	82,35	77,15	94,57	90,14	81,85
minfugt isol. %	15,20	45,68	45,06	45,06	45,68	45,68	15,20	15,20	45,68
maxfugt isol. %	90,36	85,06	98,21	98,07	86,30	81,85	96,34	90,53	86,05
startfugt indv. %	45,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	45,04	0,00
slutfugt indv. %	64,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	65,07	64,07	0,00
minfugt indv. %	45,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	48,00	45,04	0,00
maxfugt indv. %	72,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	72,41	72,29	0,00
anvendelig +8 år	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej	nej
bemærkninger	Høj værdi for maxfugt i tegl	Høj værdi for maxfugt i tegl	Høje værdier for maxfugt	fugtbelastringskl. 2 ændrer ikke meget	Høj værdi for maxfugt i tegl	fugtbelastringskl. 2 ændrer ikke meget	Fugt i isolering målt i yderste lag	Høj værdi for maxfugt i tegl	Høj værdi for maxfugt i tegl

Figure 55 - tabel over løsninger "næsten OK", for fuld version se bilag 5.2

8 Diskussion

8.1 Energimæssige overvejelser

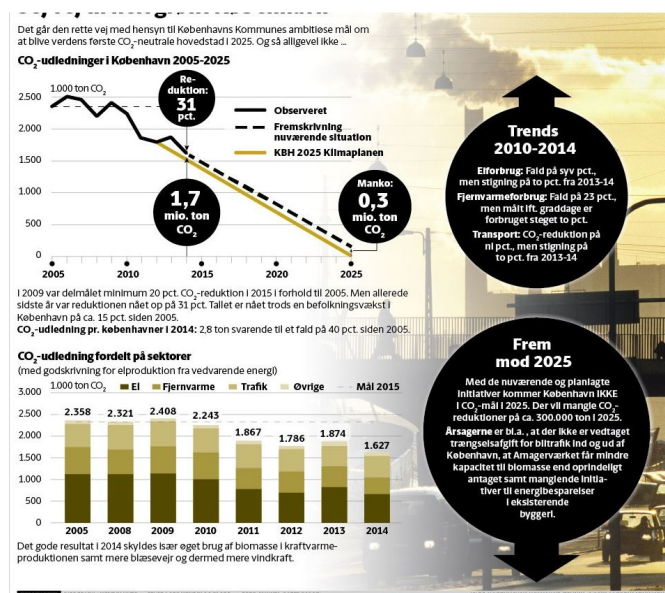


Figure 56 - Berlingske 2015-05-11 (se bilag 1)

For at nå det i indledningen omtalte mål om CO₂ neutralitet er det givet nødvendigt at sætte kraftigt ind og ligeledes afsætte betydelige økonomiske ressourcer. Ifølge Berlingske (fig. 56 og bilag 1) er det lykkedes at reducere CO₂-udledningen i København i årene 2005- 2014 med 31%, men der rejser tvivl om takten er tilstrækkelig til at nå kommunens ambitiøse mål, når der korrigeres for bl.a. varme vintre mv. (se grafen th. i fig. 56)

Som i diskussionen om klimaforandringer i bred forstand er det også ved lokal energiforbedring lige så vigtigt at de afsatte midler anvendes bedst muligt, hvor man får mest mulig energibesparelse for pengene og renoverer korrekt uden risiko for fugtskader.

Det gælder altså om at "plukke de lavhængende frugter" først, og de bedste værdier for rentabilitet opnås if. fig. 48 ved isolering af vinduesbrystninger og etageadskillelser mod uopvarmede rum i hhv. tag og kælder.

Teknisk isolering har typisk også en kort tilbagebetalingstid, men er ikke behandlet i denne opgave da omfanget iht. det gældende energimærke var meget begrænset. Herefter kommer udskiftning af vinduer og etablering af mekanisk ventilation med varmegenvinding.

Når det tages med i betragtning at energiforbedringsarbejder over en bred kam nedbringer infiltrationen og medfører en tættere bolig, så bliver behovet for ventilation endnu væsentligere. På trods af dette er der ikke nær den samme opmærksomhed omkring denne foranstaltning.

I overvejelser om "hvilke frugter der hænger lavest" skal også indgå rækkefølgen, således at forstå at der ved optimering af tekniske anlæg først og efterfølgende isolering af klimaskærm og udskiftning af vinduer kan opstå en situation med for stor kapacitet til f.eks. opvarmning.

8.2 Fugtmæssige overvejelser

Ved isolering af vinduesbrystninger vil løsningen oftest være baseret alene på erfaring gjort om at der sjældent ses skader p.gr.a. opfugtning når der findes en varmekilde (radiator) på indvendig side. Den økonomisk mest fordelagtige løsning er derfor i tilfældet hvor der er lysningspaneler af træ, at bore et hul med et kopbor og fylde hulrummet med isoleringsgranulat ved indblæsning. Denne løsning er der også regnet på for brystningsmurværk mod NV, hvor resultatet er direkte sammenligneligt med den almindelige forsatsløsning blot med mindre værdier for RF i lysningspaneler end der ses i gipsen på den alm. løsning.

Udvendig isolering med facadebatts og mineralsk puds er en meget sikker løsning ifht. fugt og varme. Løsningen placerer den isolerede bygningsdel i "passivt" miljø beskyttet mod vejrliget og i øvrigt kan en del omkostninger til f.eks. nødvendige fugereparationer og fremtidigt vedligehold undgås.

For så vidt angår den indvendige isolering vurderes den af SBI i anv. 221 på s. 114 forudsatte løsning både at være efterprøvet og sikker, omend den ikke i WUFI altid "opnår" resultater der entydigt kan opfattes som sikre.

Der er i denne opgave afprøvet væsensforskellige løsninger nemlig enten helt diffusionstæt isolering som celleglas samt relativt diffusionsåbne materialer som EPS (for datablad se bilag 8.3) og iQ-Therm (for datablad se bilag 8.2) eller helt åbne som Ytong (for datablade se bilag 8.1).

Alle fire materialer er uorganiske og opfugtning af materialet bør derfor ikke medføre risiko for skimmel og eller andre biologiske skader i selve materialet, hvorfor det anses som muligt at fokusere undersøgelserne på opfugtningen af teglstensvæggen samt evt. indvendig beklædning.

Ved fugtsimulering i WUFI ses fugtprofilen (fig. 57) for de diffusionsåbne materialer at være meget lig det der gælder for den uisolerede teglstensvæg, således at isoleringen ligner en naturlig øgning af vægtykkelsen med materialer der ligner tegl, men blot isolerer bedre (hulsten eller porotén teglblokke). Det synes derfor nærliggende at antage at dette er en sund konstruktion i fugtmæssig henseende, der ikke ændrer radikalt i væggen fugtbalance.

8.3 Grænseværdier

Hvordan grænseværdierne skal fastsættes er der næppe noget endegyldigt svar på, men som udgangspunkt må det formodes at såfremt fugtforholdene ligner hvad der naturligt forekommer i murværk (uanset orientering) (se bilag 5.3) så bør løsningen kunne forsvares. Der er ikke mig bekendt udført nogen registrering af råd- og svampeskaders forekomst i eksisterende bygninger afhængigt af orientering.

I 35 cm teglstensvæg uden isolering vendt mod SV beregnet for fugtbelastningsklasse 3 (bilag 5.7) ses værdi for max. fugt i tegl på 150,2 svarende til RF 99,7 %. Hvis denne naturligt forekommende max. værdi er acceptabel og den umiddelbart anvendte grænseværdi på RF 99,5 % ændres i overensstemmelse hermed kan flere løsninger i fig. 55 anvendes.

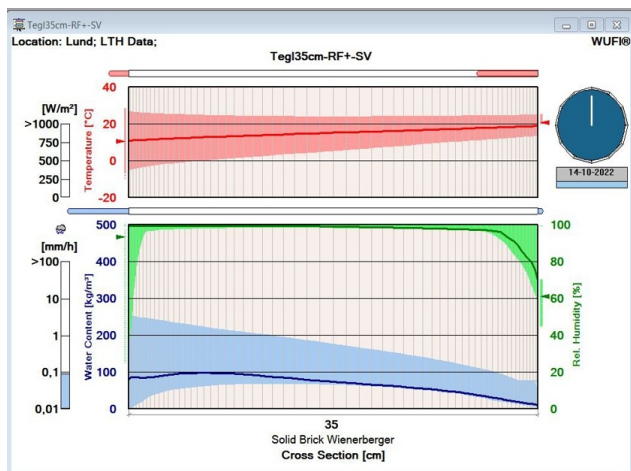
I 23 cm teglstensvæg uden isolering vendt mod SV beregnet for fugtbelastningsklasse 3, ses værdi for max. fugt i tegl på 172,07 svarende til RF 99,8 %. Hvis denne naturligt forekommende max. værdi anvendes som grænseværdi kan flere løsninger anvendes. Det tilfælde er dog vanskeligere at argumentere for, idet 23 cm murværk som oftest findes ved brystninger med opsat indvendig varmekilde.

Hvor dette ikke er tilfældet f.eks. under vinduer i køkkener o.lign. findes der faktisk ofte skimmel på bagsiden eller rådsråder i tilstødende bygningsdele. Forholdet må til dels også tilskrives ringe luftcirkulation og udsugning, men uanset dette er den bedst løsning nok en udvendig isoleringsløsning. Situationen findes udover i vinduesbrystninger også i spærnichler på fritstående gavle (dog ikke i nærværende ejendom).

I indvendigt pladebeklædning er i opgaven sat RF 70 % som grænseværdi. Hvis denne øges til 75 % er der i flere tilfælde løsninger som bliver anvendelige. På samme måde bliver løsningen også anvendelig, hvis fugtbelastningsklassen ændres til normal (kl. 2), hvilket kan antages at være tilfældet hvis der tilføjes mekanisk ventilation med udsugning!!

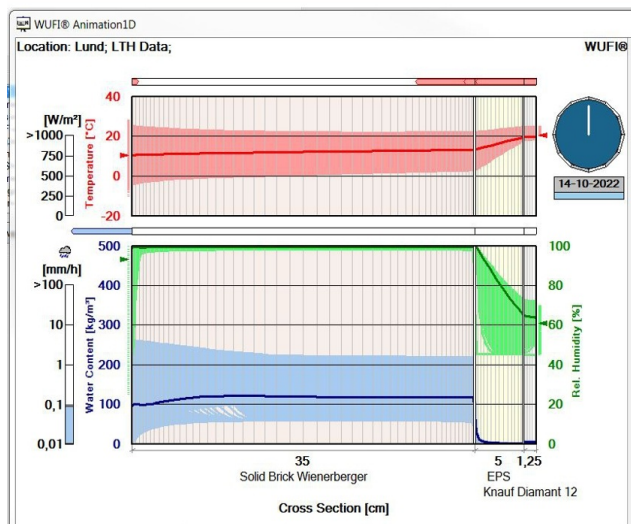
Det er derfor vigtigt at løsninger ses i sammenhæng med andre foranstaltninger eller at fornødne forbehold træffes i forhold til brugerne. I forhold til fugtbelastningsklasser kan en kombination med opsætning af "skimmelalarmer" og/eller fugtloggere kan være en løsning.

I den konkrete opgave fokuseres undersøgelserne omkring 35 cm teglstensvægge, da det er besluttet at isolere vinduesbrystninger på alle etager, og disse vurderes som sikre p.gr.a den monterede varmekilde, hvilket også betyder at hvor der ikke findes en varmekilde som f.eks. i køkkener kan løsningen ikke anbefales, men da køkkener er placeret mod gården sker isoleringen af brystningerne med den opsatte udvendige facadeisolering.



Hvis værdierne gældende for 35 cm teglsten er acceptable, vil disse blot være bedre for tykkere teglstensvægge som forefindes i bygningen i tykkelser mellem 47- 71 cm længere nede i bygningen. Derfor anses det som mest relevant at undersøge 35 cm vægge.

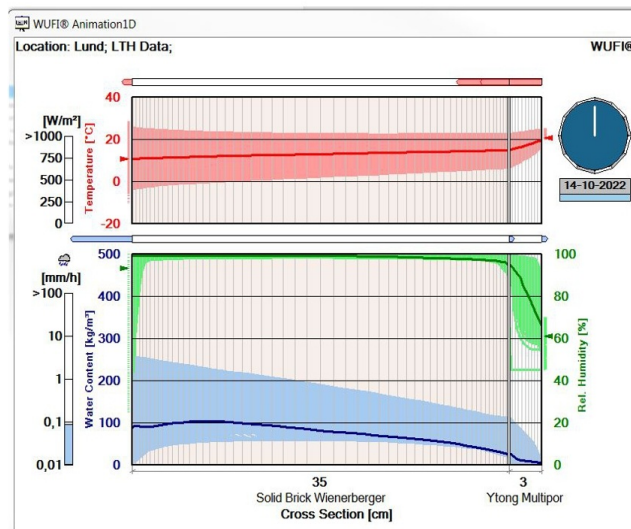
Endnu en overvejelse der synes relevant er, at beboersammensætningen i den konkrete ejendom primært er enlige eller par med få eller uden børn, hvorfor fugtbelastningsklasse 2 er med den nuværende sammensætning må anses at være tilstrækkelig.



I de 21 lejligheder er 2 lejligheder med 4 beboere (2+2), 2 lejligheder med 3 beboere (2+1), 13 lejligheder med to beboere (2+0 ell. 1+1) og endelig 4 lejligheder med 1 beboer.

8.4 Fugtprofil

Løsninger med tilsyneladende ret ens værdier for fugtindhold kan have meget forskellige fugtprofiler (se fig. 57 og bilag 6.4). Fugtprofilen fra WUFI er en grafisk afbildning af fordelingen af fugten i væggen tykkelse set i lodret snit fra ude til inde. Fugtprofilen er afbildet med en i konstruktionsopbygningen valgt inddeling, der fungerer som målestok og der kan måles på billedet.



Fugtprofilen ses afbilledet med både det område hvori fugten i hele perioden har været samt med optrukket linje, det aktuelle profil på det præcise tidspunkt i simuleringen.

Det vurderes som positivt hvis den isolerede væg har et fugtprofil der ligner den uisolerede væg (fig. 57 - øverst), således at forstå at den fugtbalance som har fungeret siden opførelsen ikke forrykkes væsentligt. I teglsten aftager fugten udefra og indefter, således at den yderste del af væggen kan være opfugtet helt til mætningspunktet på ca. 260 kg/m³ f.eks. p.gr.a. slagregn, men at fugtindholdet aftager og på indvendig side nærmer sig udgangspunktet på ca. 75 kg/m³ svarende til RF 60%

Figure 57 - fugtprofiler for 35 cm tegl med hhv. isoleret og isoleret med EPS eller Ytong, for større detalje se bilag 6.4

Ved etablering af tætte løsninger med enten membran eller diffusionstæt isolering som Foamglass ses fugtprofilen at ændre til ens høj opfugtning i hele murværkets tykkelse (fig. 57 - midt) indtil mødet med enten membran eller tæt isolering. Dette vurderes som risikabelt ifht. det i murværket indbyggede konstruktionstræ som vindues-overligger og bjælkeender, der typisk ligger 1/2- 1 sten fra væggen indvendige side.

Fugtprofilet for løsningen med 3 cm Ytong isolering (fig. 57 - nederst) ligner det for den isolerede teglstensvæg og vurderes derfor som sikkert.

8.5 Max. fugtindhold

Det maksimale fugtindhold indgår også som kriterie for udvælgelse af hhv. acceptable eller uacceptable løsninger. Et maksimalt fugtindhold siger dog i sig selv ikke nødvendigvis en hel masse om den reelle fugtbelastning, hvorfor løsninger der er "på vippen" bør undersøges nærmere for at afklare, hvorvidt der "kun" er tale om en kortvarig spidsbelastning eller det høje fugtniveau er til stede over en længere periode.

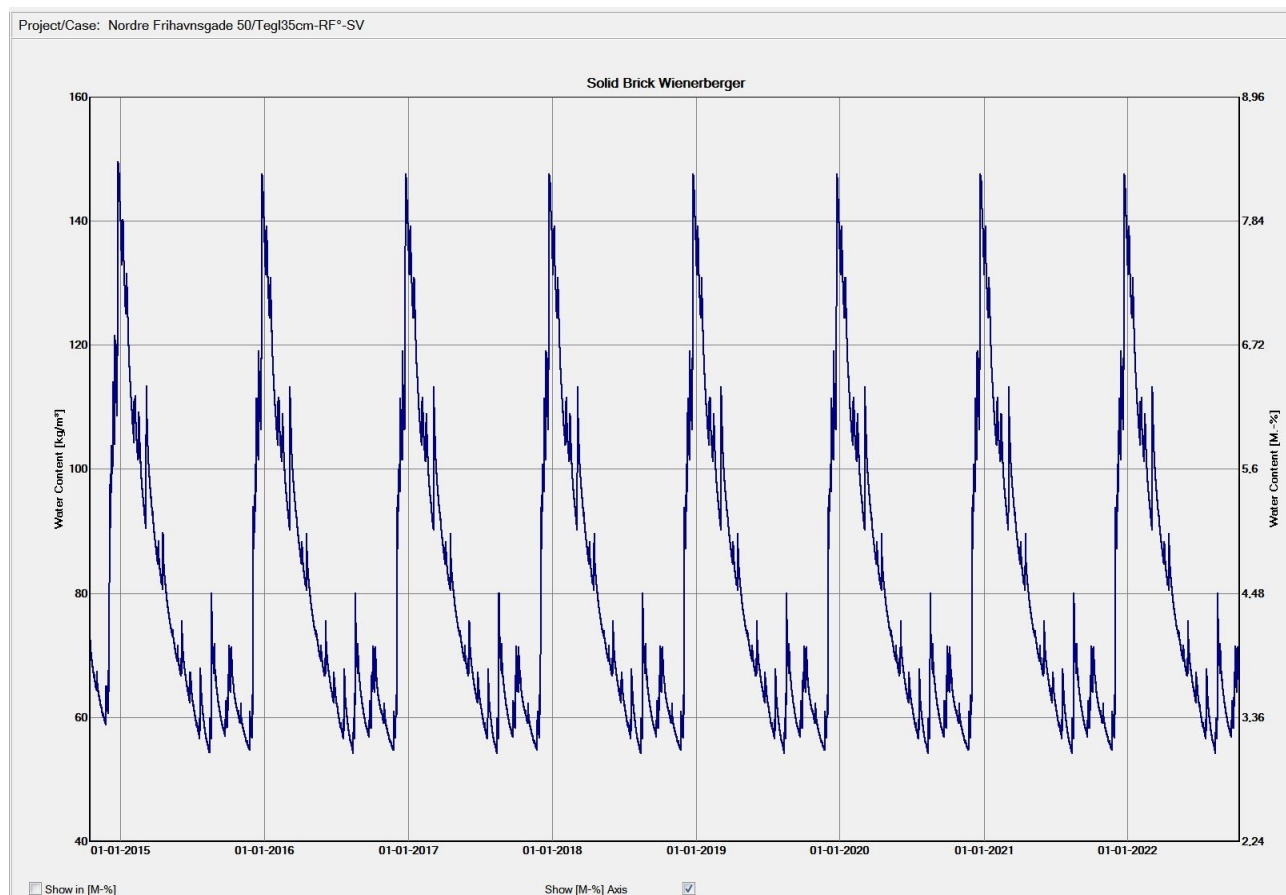


Figure 58 - Maksimalt fugtindhold for 35 cm teglsten SV, se også bilag 6.1

I figur 58 herover er vist kurve for maksimalt fugtindhold i 35 cm teglsten ved normal fugtbelastningsklasse (klasse 2) vendt mod SV. Simuleringen er udført over 8 år i perioden 2014-10-15 til 2022-10-14. I bilag 6.1 kan ses en fuld rapport fra WUFI udført for samme opbygning dog med høj fugtbelastning, hvilket kun giver en marginal forskel.

Ud fra en grafisk vurdering overstiger fugtindholdet 120 kg/m³ (RF 99,45%) skønsmæssigt én måned omkring nytår, og i 9 mdr. om året er værdien under 100 kg/m³ (RF 99,25%) og i 6 mdr. om året under 70 kg/m³ (RF 98,75%).

Spidsbelastningen på 150 kg/m³ (RF 99,7%) forekommer altså kun kortvarigt.

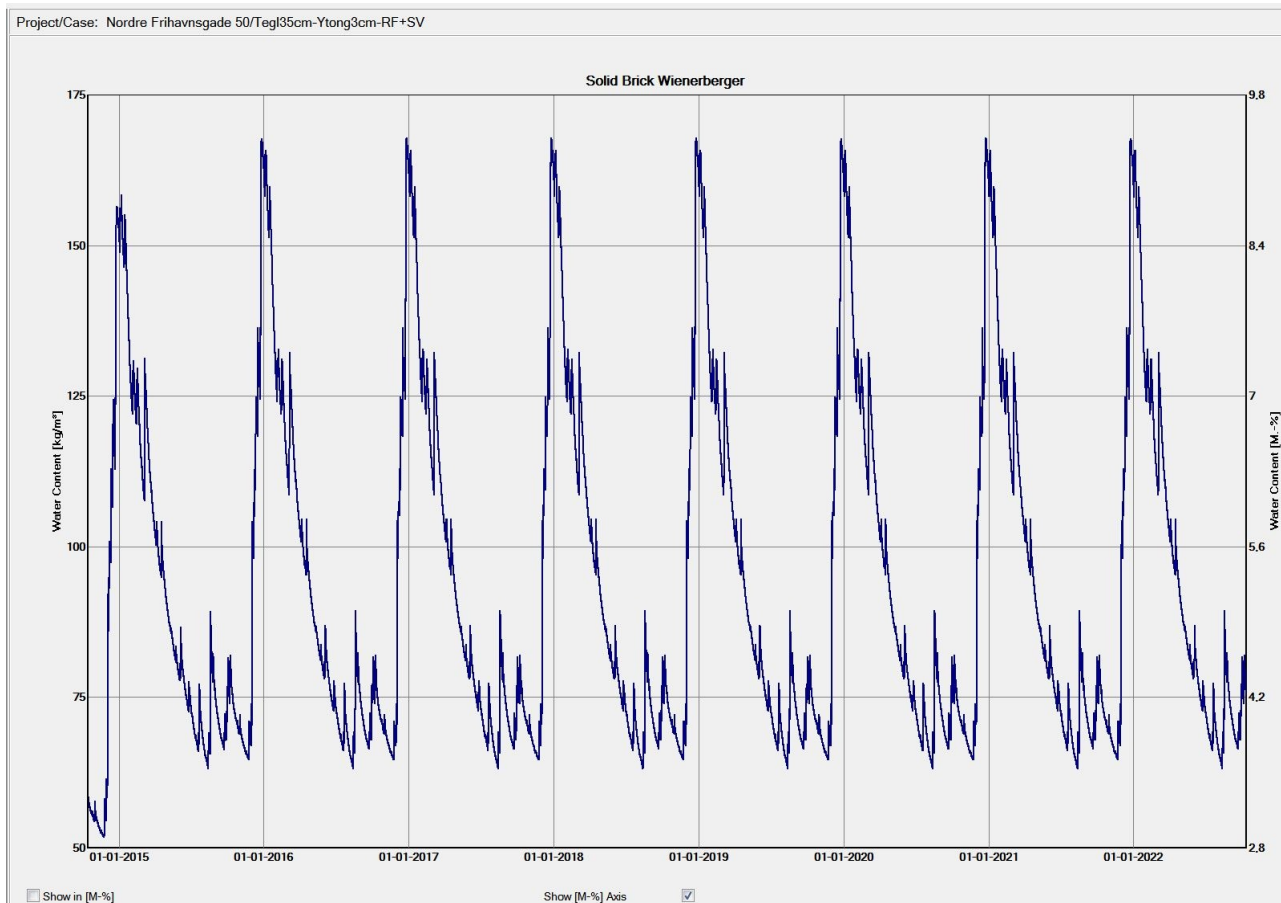


Figure 59 - Maksimalt fugtindhold i teglsten med Ytong SV

I figur 59 herover er vist kurve for maksimalt fugtindhold i 35 cm teglsten ved høj fugtbelastningsklasse (klasse 3) vendt mod SV indvendigt isoleret med 3 cm Ytong. Simuleringen er udført over 8 år i perioden 2014-10-15 til 2022-10-14. I bilag 6.2 kan ses en fuld rapport fra WUFI udført for samme opbygning dog med normal fugtbelastning, hvilket kun giver en marginal forskel.

Ud fra en grafisk vurdering overstiger fugtindholdet 120 kg/m^3 (RF 99,45%) skønsmæssigt tre måneder om året i perioden fra primo dec- ultimo februar, og i 9 mdr. om året er værdien under 120 kg/m^3 og i 6 mdr. om året under 85 kg/m^3 (RF 99%).

Spidsbelastningen på 165 kg/m^3 (RF 99,8%) forekommer i de tre vintermåneder.

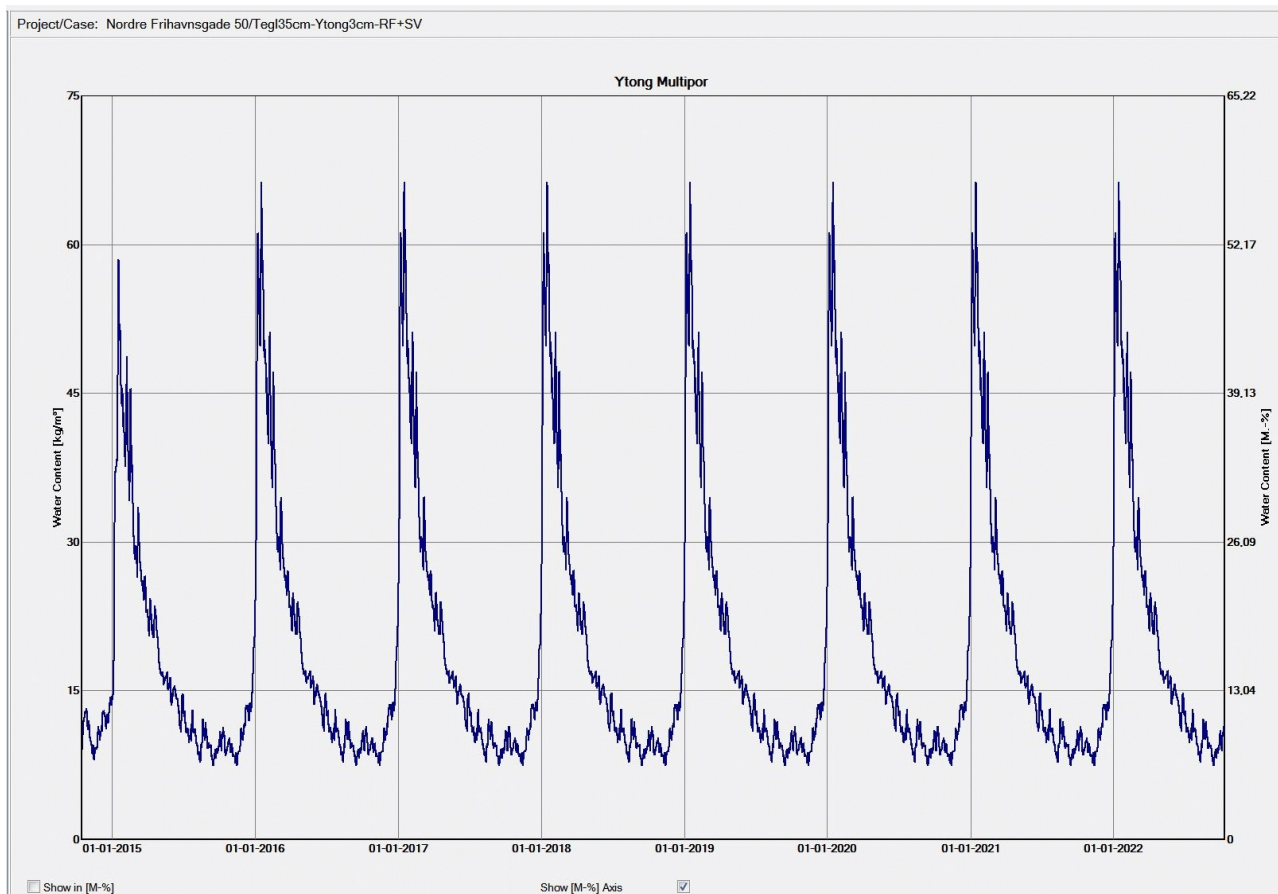


Figure 60 - Maksimalt fugtindhold i Ytong SV

I figur 60 herover er vist kurve for maksimalt fugtindhold i isoleringsmaterialet Ytong i samme konstruktion som i de foregående figurer, altså 35 cm teglsten ved høj fugtbelastningsklasse (klasse 3) vendt mod SV indvendigt isoleret med 3 cm Ytong. Simuleringen er udført over 8 år i perioden 2014-10-15 til 2022-10-14. I bilag 6.2 og 6.3 kan ses fulde rapporter fra WUFI udført for samme opbygning dog med normal fugtbelastning, hvilket kun giver en marginal forskel. I bilag 6.2 er opsat 3 cm Ytong og bilag 6.3 er isoleringstykkelsen øget til 6 cm.

Ud fra en grafisk vurdering overstiger fugtindholdet 25 kg/m^3 (RF 94,55%) skønsmæssigt tre måneder om året i perioden fra primo dec- ultimo februar, og i 9 mdr. om året er værdien under 25 kg/m^3 og i 6 mdr. om året under 12 kg/m^3 , svarende til RF ca. 91 %.

Spidsbelastning forekommer i de tre vintermåneder, men den relative fugtighed er under det niveau der forekommer i den uisolerede teglstenvæg.

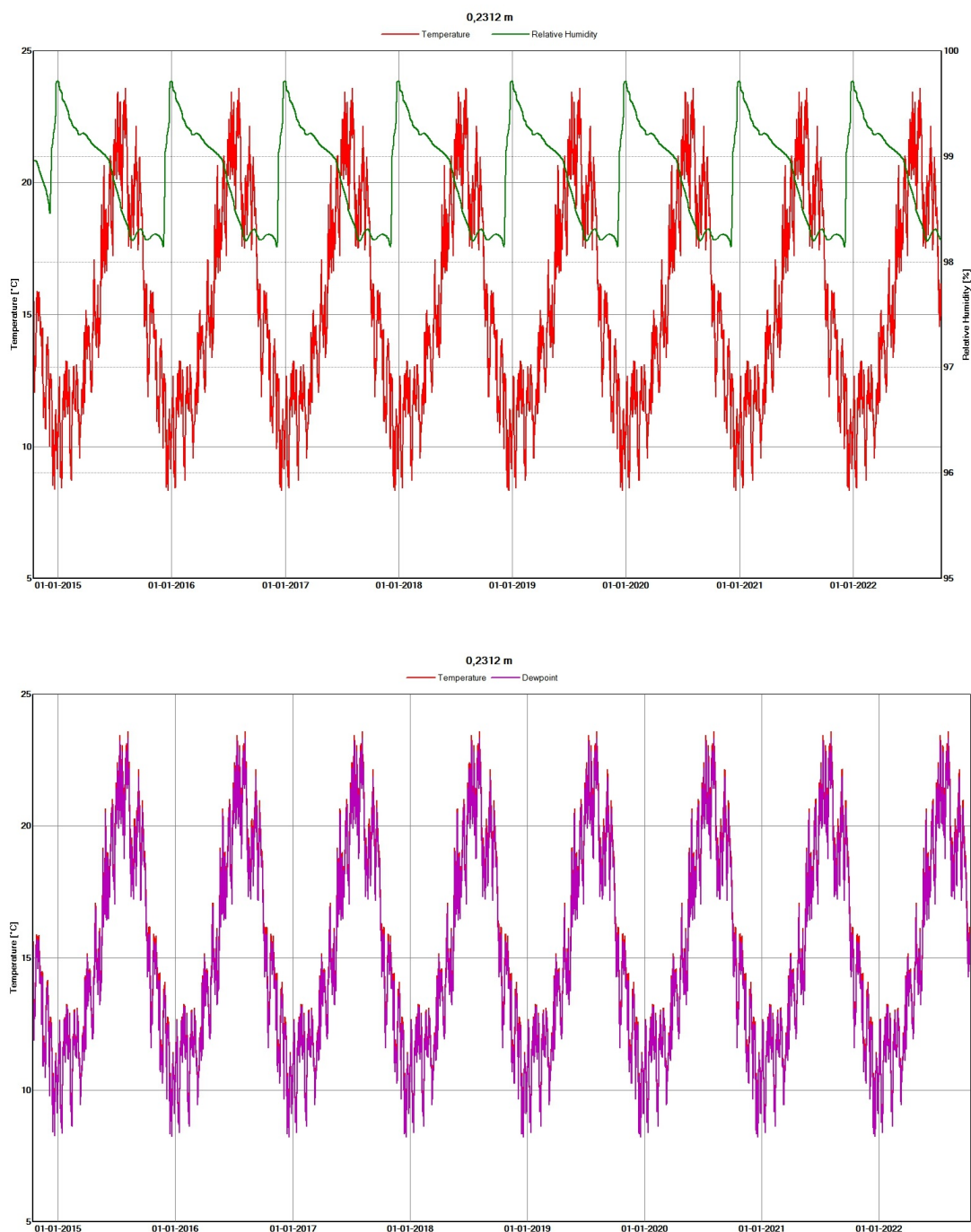


Figure 61 - grafisk afbildning af relativ fugtindhold, dugpunkt og temperatur i 35 cm uisoleret teglstensvæg

I figur 61 herover er vist kurver for maksimalt relativ fugt, dugpunkt og temperatur i 35 cm teglsten ved høj fugtbelastningsklasse (klasse 3) vendt mod SV. Visningen gælder ca. 1 sten inden i væggen (udefra) svarende til den typiske placering af en bjælkeende.

Ud fra en grafisk vurdering ligger den relative fugtighed i hele perioden mellem 98,2- 99,6 %, hvor det stiger fra sidst på året, kulminerer omkring årsskiftet og falder resten af året. Temperaturen ligger mellem ca. 8- 23°C og kurverne for temperatur og dugpunkt ligger næsten oven i hinanden, idet RF i hele perioden ligger over 98%

Skønt fugtbelastningen er højest i de tre vintermåneder og temperaturen svinger betydeligt, er den relative fugtighed altså næsten konstant høj og dugpunktstemperaturen og den faktiske temperatur altså næsten parallelle.

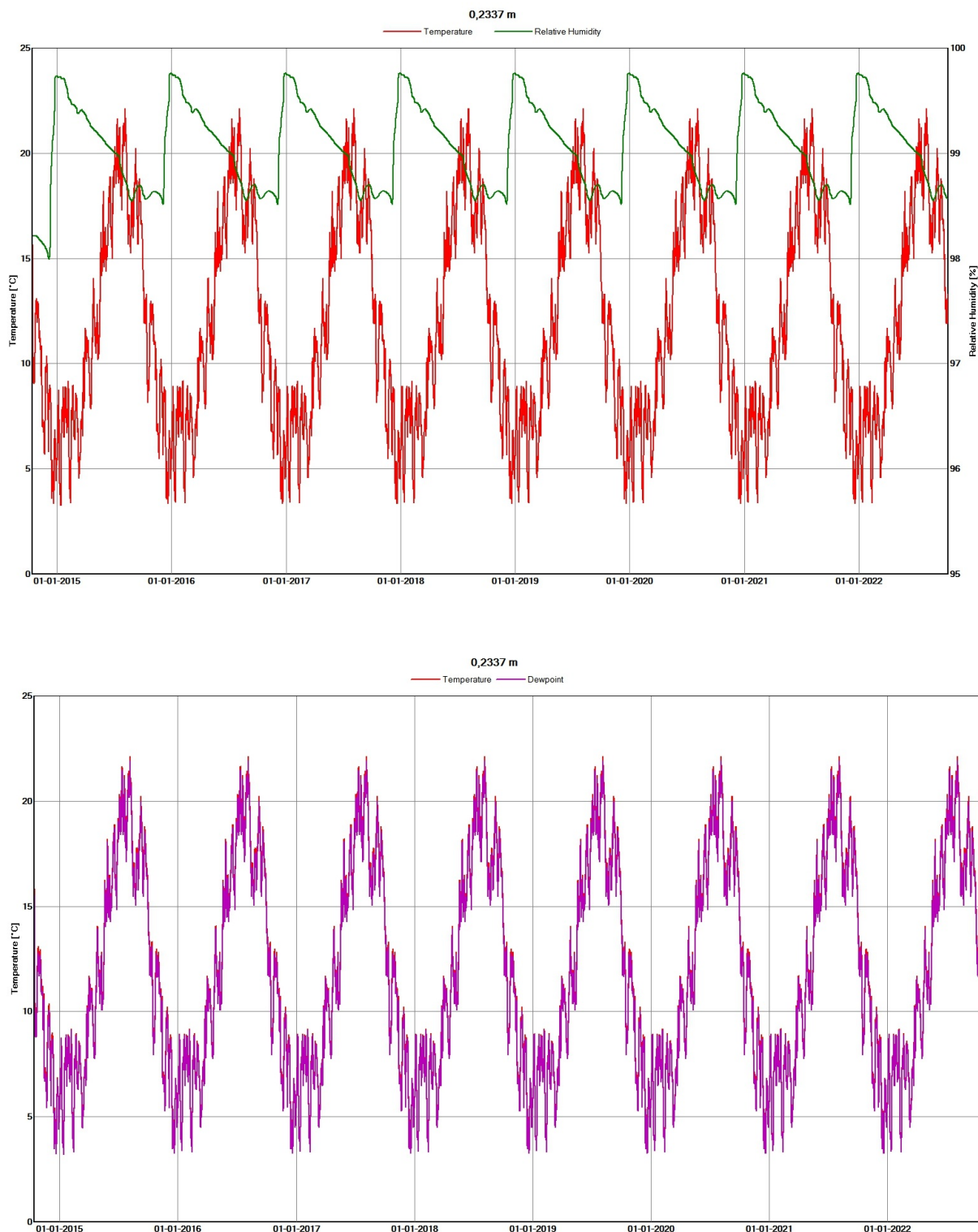


Figure 62 - grafisk afbildning af relativ fugtighed, dugpunkt og temperatur i 35 cm teglstensvæg isoleret med Ytong

I figur 62 herover er vist kurver for maksimalt relativ fugt, dugpunkt og temperatur i 35 cm teglsten isoleret indvendigt med 3 cm Ytong ved høj fugtbelastningsklasse (klasse 3) vendt mod SV. Visningen gælder ca. 1 sten inden i væggen (udefra) svarende til den typiske placering af en bjælkeende.

Ud fra en grafisk vurdering ligger den relative fugtighed i hele perioden mellem 98,5- 99,7 %, hvor det stiger fra sidst på året, kulminerer omkring årsskiftet og falder resten af året. Temperaturen ligger mellem ca. 3- 22°C og kurverne for temperatur og dugpunkt ligger næsten oven i hinanden, idet RF i hele perioden ligger over 98%

Skønt fugtbelastningen er højest i de tre vintermåneder og temperaturen svinger betydeligt, er den relative fugtighed, helt som ved den uisolerede væg, altså næsten konstant høj og dugpunktstemperaturen og den faktiske temperatur altså næsten parallelle.

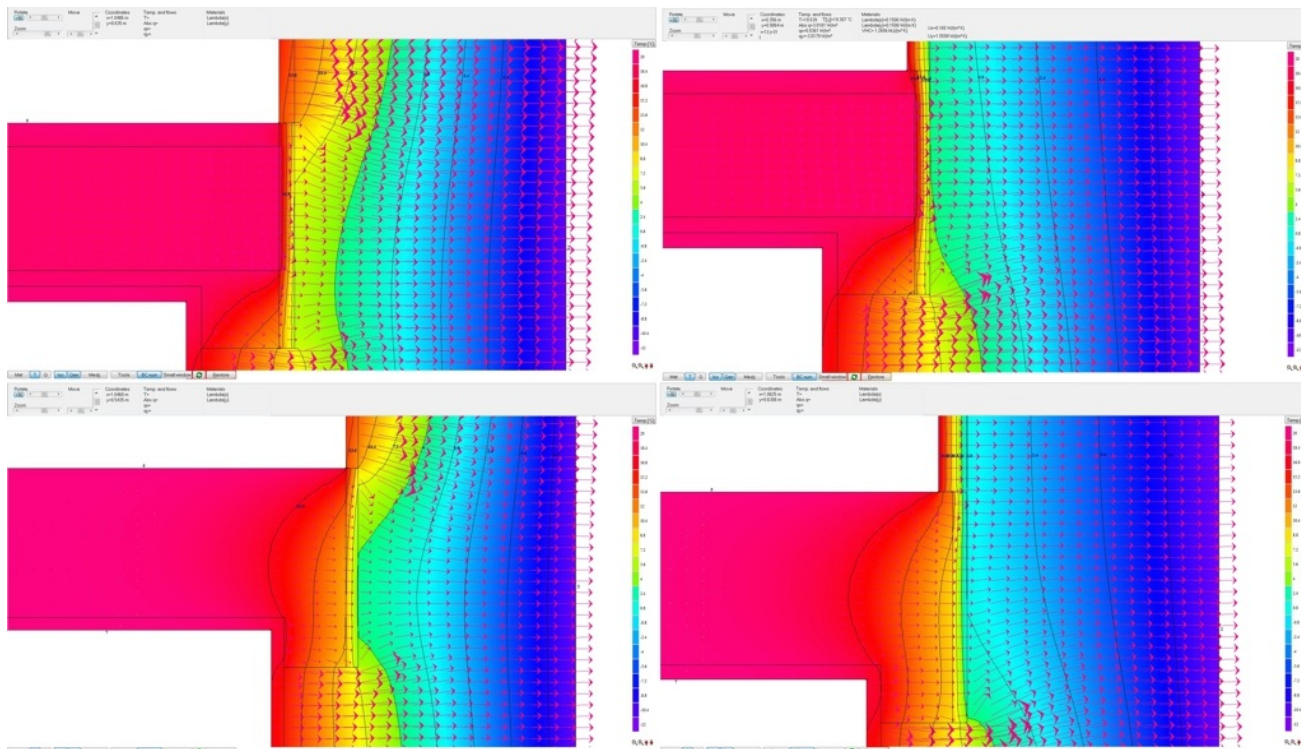


Figure 63 - Grafisk afbildning af temperaturforhold omkring bjælkeender, se også bilag 7.4 og 7.5 med underbilag

I figur 63 herover er vist grafiske afbildninger af temperaturforholdene i knudepunktet hvor etageadskillelse møder facademur, hvor interessen samler sig omkring bjælkeender hhv. jernbjælkelag (øverste) og træbjælkelag (nederst) hhv. uisoleret TV. og Isoleret TH. beregnet i HEAT. I ejendommen findes træbjælkelag i etagedækket mellem kælder og stue og jernbjælkelag i øvrige etager.

Fælles for alle knudepunkter er, at de er udført med en luftspalte omkring bjælkeenden, hvilket tidligere undersøgelser ifølge (Morelli og Svendsen, Investigation of interior post-insulated masonry walls with wooden beam ends (se litt. 12.10)) viser er normalen.

Øverst ses knudepunkt med stålbjælker hhv. uden (TV) og med isolering (TH), hvor der p.g.a. stålets gode varmeledningsevne og luftspalten, stort set ikke kan registreres nogen temperaturforskel i bjælkeenden, men skønmæssigt ca. 2°C forskel på murværket nærmest bjælkeenden hhv. ca. 7°C og ca. 5°C.

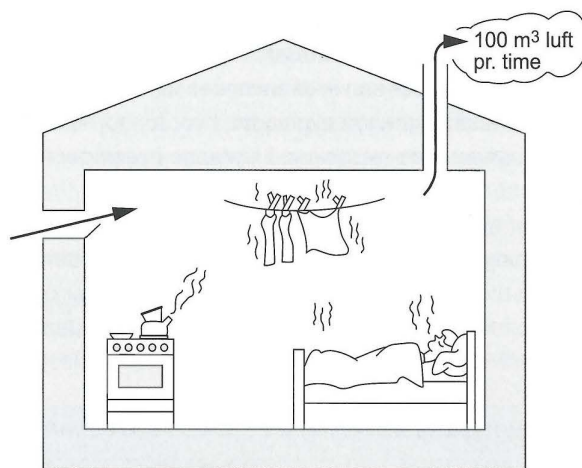
Den største forskel ses ikke overraskende i murværket der støder op mod den opsatte isolering, hvor der ses en forskel på næsten 10°C i murværket, men også en øget overfladetemperatur indvendigt fra ca. 14- ca. 19°C.

Nederst ses knudepunkt med træbjælker hhv. uden (TV) og med isolering (TH), hvor der p.g.a. træets ringere varmeledningsevne generelt ses højere temperaturer, men også en forskel på ca. 2°C i bjælkeenden og i murværket på den andens side af luftspalten i murværket ses en tilsvarende forskel på ca. 2°C.

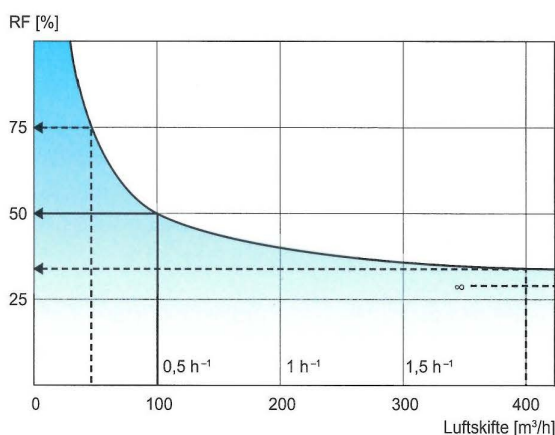
Som ved stålbjælkelaget ses også en øget overfladetemperatur indvendigt fra ca. 14- ca. 19°C. De i fig. 63 viste billeder samt en række supplerende f.eks. med 70 mm isolering kan ses i bilag 7.4 og 7.5 med tilhørende underbilag.

8.6 Rentabilitet

I rentabilitetsberegninger i figur 48, ses at der er stor forskel på rentabiliteten i de mulige tiltag, og det synes oplagt at fokusere mere på etablering af ventilation med varmegenvinding, idet der er god økonomi i dette.



Figur 29. Fugttilførsel og nødvendigt luftsifte. Hvis rumluften er 20 °C og med 50 % RF, indeholder den ca. 9 g vand pr. m³. Hvis udeluften indeholder 5 g vand pr. m³, fjernes der altså 4 g vand for hver m³ indeluft, der udskiftes med udeluft. En familie på 4 personer tilføjer rumluften ca. 10 l (= 10.000 g) vand i døgnet. For at fjerne dette skal luftsiftet altså være 10000:4 = 2500 m³ pr. døgn eller ca. 100 m³ pr. time. Er boligen 80 m² med rumhøjde 2,5 m, i alt 200 m³, skal luften altså udskiftes på to timer. Luftsiftet skal med andre ord være 0,5 gange i timen – svarende til bygningsreglementets krav.



Figur 30. Relativ luftfugtighed som funktion af luftsiftet. Kurven er beregnet for en almindelig bolig på 200 m³ og i øvrigt med udeluft og fugttilførsel som anført i figur 29. Hvis luftsiftet reduceres til under 0,5 gange (rumfanget) i timen, stiger luftfugtigheden kraftigt, og der vil hurtigt opstå kondens på vinduer og ydervægge og herved mulighed for skimmelvækst. Ved et luftsifte på 0,25 bliver luftfugtigheden fx ca. 75 % RF (= 13 g vand pr. m³ indeluft ved 20 °C), hvilket er uacceptabelt. Ved et luftsifte på 2 gange i timen bliver luftfugtigheden ca. 34 %, og øges luftsiftet yderligere nærmer luftfugtigheden sig 29 % RF (den nederste punkterede strek). Det svarer næsten til, at der ikke sker fugttilførsel, dvs. at udeluft med et vanddampindhold på 5 g pr. m³ opvarmes til 20 °C.

Figure 64 - SBI anv. 224 s. 63

Udgiften til selve udskiftningen + et standardvindue som opfylder BR2010 krav udgør således ca. 75 % af udgiften til det energimæssigt optimale vindue

Ud fra en rentabilitetsbetragtning er det også interessant, at indvendig efterisolering som i disse år tiltrækker sig meget stor opmærksomhed er så omkostningstung (jf. bilag 3 og 4.2), at det knapt giver mening at gennemføre. I hvert fald forekommer det mere rimeligt at afdække mulighederne for at etablere mekanisk ventilation med genvinding, der som sidegevinst også vil

MEN ligeså vigtigt modvirker en ventilationsløsning de fugtproblemer som den øgede tæthed af boligen medfører samt sårbarheden overfor fugtbelastningen, hvor korrekt ventilation iflg. figur 64 kan sænke belastningen af indeklimaet mindst én fugtbelastningsklasse. jf. SBI anv. 224 s. 63, ved at øge luftsiftet med 0,5 gange pr. time.

Ved udførelse af rentabilitetsberegninger skal det nøje overvejes hvor stor en del af anlægskostninger der skal indgå i beregningen.

Hvis der under alle omstændigheder skal udføres vedligeholdelsesarbejder på- eller udskiftning af bygningsdelen, er det jf. vejledningsteksten til BR2010 pkt. 7.4.1. "kun" merudgiften til energirenoveringen der skal indgå i beregningen. (se også fig. 50 og 51)

Det betyder f.eks. at regnskabet for vinduernes vedkommende ser meget anderledes ud.

Da der er tale om ca. 30 år gamle plastikvinduer skal disse under alle omstændigheder udskiftes inden for en kortere årrække, hvorfor det skønmæssigt, (baseret på erfaring fra lignende sager), kun er ca. 25 % af den samlede udgift til udskiftning af vinduer der skal medtages.

have gavnlig indflydelse på indeklimaet i forhold til fjernelse af fugt og partikler.

Når det tages med i betragtning at energiforbedringsarbejder over en bred kam nedbringer infiltrationen og medfører en tættere bolig, så bliver behovet for ventilation endnu væsentligere. På trods af dette er der ikke nær den samme opmærksomhed omkring mulighederne for etablering af mekanisk ventilation i den ældste del af boligmassen, hvor der ellers er god brug for det, særlig fordi det er helt almindeligt at det naturlige - oprindelige luftskifte er reduceret, idet beboere gerne erstatter det stedse virkende aftræk i kanaler med fugt eller timerstyrede mekaniske ventilatorer i badeværelser og toiletter samt med emfang i køkkener.

Det kan umiddelbart virke som en god idé, men når ventilatoren ikke er i drift er der sat en effektiv "prop" i aftrækskanalen og det naturlige luftskifte der fungerer 24 timer i døgnet er blevet erstattet af drift et par gange i døgnet af måske 15 min. varighed pr. gang.

Ved etablering af mekanisk ventilation er det dog også af stor betydning at brugere instrueres i brug og drift af anlægget, så det til stadighed fungerer efter hensigten og vedligeholdes så enkelte beboere som f.eks. bor tæt på anlægget placering ikke slukker for anlægget fordi de "synes at det larmer" el.lign.

8.7 Æstetik, bæredygtighed og bygbarhed

Det der karakteriserer de fleste bygninger hvori energirenoveringer foregår er at de er bygget med lokale, langtidsholdbare og lavteknologiske byggematerialer i gennemtænkte konstruktionsopbygninger baseret på lang tids erfaring fra både bygherrer, rådgivere, udførende og brugere.

De har holdt i mange år og er værd at bevare både byggeteknisk og æstetisk, hvor mange bygninger med langt mere komplicerede konstruktioner indført senere allerede har vist sig ikke at være af samme blivende kvalitet og med samme holdbarhed.

I CO₂ regnskabet vejer det tungt at mange gamle byggematerialer er CO₂ neutrale og genanvendelige, hvilket ikke i nær samme omfang kan siges om moderne komplicerede kompositmaterialer og sandwichkonstruktioner.

I en virksomhed som Gamle Mursten i Svendborg afrenses gamle mursten fra nedrivninger, således at de kan genanvendes og ved genanvendelse af 2000 gamle mursten er miljøet (iflg. bilag 9) blevet sparet for 1 ton CO₂

Æstetisk er udvendig efterisolering vanskelig at gennemføre på historiske bygninger hvor materialeskift, kontraster i overfladebehandlinger og detaljer i ornamentering vanskeligt lader sig genskabe.

Detaljer i nye energieffektive vinduer med 3 lag glas og ændret karmopbygning har stor betydning for den oplevede kvalitet både æstetisk udefra, men også belysningsforhold i boligen ændres med antallet af glaslag og evt. belægninger

En konsekvens ved efterisolering både ud- og indvendig hvor murtykkelsen øges er at dagslysforhold i boligen ændres med et mindre lysindfald

Det er endvidere overordentligt vigtigt at valgte løsninger er robuste i den forstand at de er enkle at forstå og udføre og ikke afhængige af korrekt brugeradfærd, som f.eks. at brugerne ikke må hænge billeder op på ydervæggene for ikke at perforere en evt. dampspærre.

8.8 Gode løsninger, men også begrænsninger

Når det teoretiske og beregningsmæssige grundlag er på plads i forhold til at fremkomme med sin anbefaling til bygherren, er der en lang række praktiske overvejelser der skal gøres inden de endelige valg træffes.

Blandt disse kan nævnes nogle enkelte der har betydning for den konkrete ejendom.

Ved anbefaling af brystningsisolering skal det overvejes, i dette tilfælde for gårdfacaden, om brystningerne reelt er tilgængelige for isolering. Brystninger i køkkener kan som oftest på grund af opsat inventar og installationer ikke isoleres og ligeledes kan brystninger på bagtrapper sjældent isoleres på grund af de begrænsede pladsforhold. I øvrigt er trapperum sjældent opvarmede, hvorfor det er vigtigt at forudsætningerne i Be10 er korrekte OG at der altid sammenlignes med de reelle muligheder i ejendommen.

I Be10 ses det tydeligt at effekten af etablering af mekanisk ventilation er ganske betydelig. Men i ældre ejendomme er det ikke nødvendigvis nemt at etablere ventilationsanlæg, hvor både placering af anlæg og kanaler er pladskrævende.

Det er væsentligt at både type og placering af anlæg og mulige føringsveje overvejes nøje. Særligt brandkrav er skrappe og kan være vanskelige at opfylde med placering af brandspjæld til den enkelte lejlighed som sammen med lyd-dæmpere kræver plads og er omkostningstunge.

Placering og servicering af anlæg er også af stor betydning i forhold til beboeres oplevelse af støjgener og anlæggets optimale drift.

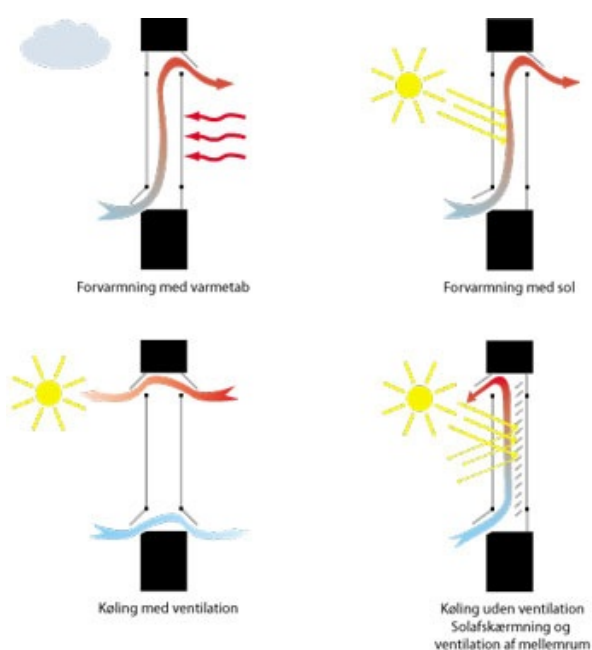


Figure 65 - "russervindue" - princip

I erkendelse af at det kan være problematisk arbejdes der med alternative løsninger som f.eks. at videreudvikle det oprindelige "russer-vindue" der kendes fra bl.a. Vinterpaladset i Skt. Petersborg, hvor princippet lidt forenklet er at forvarme udeluften til ventilation ved at trække den ind mellem de to yderste lag glas i vinduet. Luften trækkes ind i bundkarmen - opvarmes mellem glassene - og trækkes ind i rummet i overkarmen.

Fleere danske leverandører arbejder med en "opdateret" version af produktet, hvor en delvist "intelligent" ventil kan åbne og/eller lukke for ventilationsluften, således at der trækkes luft ind i boligen når der er behov for tilskud til opvarmning af indeluften, men når det er for varmt i boligen lukker ventilen således at luften i stedet køler glassene og "trækker" varm indeluft med ud.

Det skal om ventilationsvinduer bemærkes, at den ventil der regulerer luftstrømmen ikke er styret intelligent af temperaturfølere i boligen, men i de fleste tilfælde mekanisk af et bimetal, hvorfor der også er risiko for fejl-læsning af vejrforhold, hvor der ved stærk sol også om vinteren kan blive varmt mellem glassene, så ventilen lukker på trods af at ventilationsbehovet fortsat er til stede. Der ses også at være et problem omkring dokumentation af ventilationsraten, hvorfor det er svært at regne på luftskiftet.

8.9 Flere løsninger, samme mål

Med ønsket om at opnå samme mål nemlig en effektiv energirenovering vil der afhængig af vægtningen af de overvejede/ afprøvede parametre kunne opstilles forskellige prioriteringslister for rækkefølgen af de foreslåede foranstaltninger.

I den første af de følgende prioriteringslister er de enkelte foranstaltninger beskrevet ret udførligt, men i de følgende lidt kortere som f.eks. "isolering af etageadskillelse mod loftrum" der bliver til "etage loftrum".

Energimæssig prioritering: Vinduer, mekanisk ventilation, isolering af vinduesbrystninger, isolering af etageadskillelse mod loftrum, udv. isolering gårdfacade, indv. isolering gadefacade, isolering af etageadskillelse kælder.

Prioriteringslisten er opstillet med den største energibesparelse først, uden skelen til omkostninger og rentabilitet mv.

Bygningsdel	0	1	2	3	4
	Prioritering energi	Prioritering rentabilitet	Prioritering fugt	Prioritering æstetisk	Prioritering anbefalet
Vinduer udskiftes	1	2	3	4	2
Vinduesbrystninger indv. isoleres	3	1	4	1	1
Etageadskillelse kælder isoleres	7	4	6	3	4
Etageadskillelse loftrum isoleres	4	3	5	2	3
Gårdfacade isoleres udv.	5	6	1	6	5
Gadefacades 5. sal isoleres indvendigt	6	7	7	7	6
Etablering mekanisk ventilation	2	5	2	5	7

Rentabilitetsmæssig prioritering: Vinduesbrystninger, vinduer, etage loftrum, etage kælder, mekanisk ventilation, udv. isolering gårdfacade, indv. isolering gadefacade,

Prioriteringslisten er opstillet med den største rentabilitet først, uden skelen til den faktiske energibesparelse.

Fugtmæssig prioritering: Udv. isolering gårdfacade, mekanisk ventilation, vinduer, vinduesbrystninger, etage loftrum, etage kælder, indv. isolering gadefacade.

Prioriteringslisten er opstillet med den mindste risiko for fugtskader (tilførte ved isoleringsarbejder) eller den største fugtmæssige gevinst (indeklima eller eksist. konstruktion placeret i passivt miljø) først, uden skelen til den faktiske energibesparelse, rentabilitet eller andet.

Figure 66 - oversigt prioriteringsrækkefølge

Æstetisk og "bygbarhedsmæssig" prioritering: Vinduesbrystninger, etage loftrum, etage kælder, vinduer, mekanisk ventilation, udv. isolering gårdfacade, indv. isolering gadefacade

Prioriteringslisten er opstillet med den mindste konsekvens for uheldige virkninger på ejendommens oprindelige arkitektur samt den største sikkerhed i bygbarhed og brug uden skelen til den faktiske energibesparelse, rentabilitet eller andet.

Anbefalet prioriteringsrækkefølge: Vinduesbrystninger, vinduer, etage loftrum, etage kælder, udv. isolering gårdfacade, indv. isolering gadefacade, (mekanisk ventilation),

Prioriteringslisten er opstillet som et kompromis der både skal tilgodese den faktiske energibesparelse og rentabilitet med uden andet end tålelige uheldige virkninger på ejendommens oprindelige arkitektur og den største sikkerhed fugtmæssigt og i bygbarhed.

Gårdfacaden efterisoleres udvendigt ved opsætning af facadebatts med efterfølgende pudsning i et af de anerkendte systemer udført med en samtidig udskiftning af vinduer, hvor vinduer

flyttes med fremad i facadeplanet, og murfals søges detaljeret affaset således at lysindfald ikke reduceres og kuldebroer reduceres mest muligt.

Gadefacader efterisoleres ved isolering af brystningerne, løsningen vil være afhængig af de eksisterende indvendige forhold hvor radiatorplacering, panel- eller skabsløsning under vinduer m.v. har betydning for hvilken løsning der skal anbefales, men forventeligt kan der i de fleste tilfælde isoleres ved indblæsning af granulat.

Den indvendige isolering er medtaget for at opfylde Københavns Kommunes (KK) ønske om at dette medtages i demonstrationsprojektet og den mekaniske ventilation er sat i parentes, idet der i byfornyelsesansøgningen ikke er medtaget udgifter til denne foranstaltning, da frisklufttilførsel efter KK's ønske ønskes via ventilationsvinduer som tidligere omtalt. Det virker dog oplagt at søge at nyttiggøre varmen i afkastet og under projekteringen vil det blive overvejet om de brandmæssige udfordringer evt. kan omgås ved at indblæse varm tør luft i kælder og på pulterrumsetage.

I kælderen vil dette, kombineret med udsugning, medføre en øget sikkerhed ifht. fremtidige fugtskader i bjælkelaget og bidrage til ventilationen når et antal lyskasser og vinduer nedlægges. Da der er planlagt omfangsdræn og udvendig fugtsikring ved opsætning af varmeisolerende drænplader giver det god mening med et varmetilskud.

I pulterrumsetagen kan det overvejes om indblæsning af varm tør luft kan bidrage energimæssigt og en løsning hvor både etageadskillelse mod øverste lejlighed og tagkonstruktionen isoleres kan måske fungere hvis der tilføres varm luft til tagrummet. I etageadskillelsen er det kun muligt at få plads til indblæsning af ca. 70 mm granulat over det eksisterende indskudslær, men ved opretning af taget kan der placeres yderligere 150 mm mineraluld

Gadefacaderne orientering er både vendt mod NV (Ndr. Frihavnsgade) og SV (A.L. Drewsenvej), og SV giver anledning til nogle reservationer og udvidede overvejelser. Der er arbejdet ret nøje med de forskellige, i løsningen indgående, parametre og valget af en relativt tynd dimension isolering som 30-50 mm er med til at "fugtsikre" løsningen og reducerer stadig u-værdien til det halve, så der er energimæssig gevinst der står mål med udgifterne ved etablering af isoleringsløsningen.

Ejendommen er opført med stålbjælkelag (pånær mod stueetage) og undersøgelser i HEAT (se bilagsafsnit 7) har påvist at stålet tilfører området omkring bjælkeenden en, for isoleringen kompenserende, opvarmning på ca. 2°C hvorfor det skønnes at være forsvarligt at anvendes samme løsning mod SV.

8.10 Anbefalede foranstaltninger, varmebehov og økonomi

Ejendommen er energimærket med karakter D, der kan hæves til karakter B, ved at udskifte vinduer, isolere etageadskillelsen mod hhv. kælder og loftrum, isolere vinduesbrystninger indvendigt (hvor tilgængelige), isolere gårdfacaden udvendigt og supplerende isolere gadefacaden indvendigt i lejlighederne på 5. sal, hvor muren er tyndest og udbyttet dermed højest.

Varmebehovet falder således fra 252 MWh/år til 115 MWh, hvilket er over 50 % (begge værdier er beregnet i Be10 ifht. et normalår).

Hvis der suppleres yderligere med balanceret mekanisk ventilation med varmegenindvinding og tagfladen forsynes mod SØ med solceller kan ejendommen opnå et energimærke A, svarende til kravene i BR2010 altså således som lovligt nybyggeri til og med sidste år.

Det i gældende energimærke anførte faktiske varmeforbrug er 230 MWh/år og det oplyste

faktiske forbrug i 2014 er 202 MWh/år (i et meget varmt år!).

Ved gennemførelse af de foreslåede tiltag kan forbruget reduceres til 115 MWh/år svarende til en reduktion på ca. 50 % ifht. et normalt år.

I årsregningen fra HOFOR gældende for 2014 er afregnet en faktisk udgift til opvarmning på kr. 207.918 kr/år, hvorfor en reduktion på 50 % svarer til ca. 100.000.-, begge beløb i kr. incl. moms og afgifter.

9 Konklusion

I dette afsnit vil det blive konkluderet hvilke af de forskellige diskuterede foranstaltninger der samlet set kan anbefales og som vil blive foreslået gennemført på den konkrete byggesag.

9.1 Anbefalede foranstaltninger, energirenovering

Ejendommen er som nævnt i diskussionen energimærket med karakter D, der kan hæves til karakter B, ved at udskifte vinduer, isolere etageadskillelsen mod hhv. kælder og loftrum, isolere vinduesbrystninger indvendigt (hvor tilgængelige), isolere gårdfacaden udvendigt og supplerende isolere gadefacaden indvendigt i lejlighederne på 5. sal, hvor muren er tyndest og udbyttet dermed højest.

Ved gennemførelse af de foreslåede tiltag kan varmekonsumet reduceres med ca. 50 %

9.2 Anbefalede foranstaltninger, overvejelser

Energimæssigt kan det altså jf. ovenstående lade sig gøre, i hvert fald på det teoretiske plan, at nå de opstillede mål ifht. energimærkning og reduktion af varmebehov.

I diskussionen er prioriteringsrækkefølgen i fig. 66: Vinduesbrystninger, vinduer, etageadskillelse loftrum, etageadskillelse kælder, udv. isolering gårdfacade, indiv. isolering gadefacade, (mekanisk ventilation evt. kombineret med ventilationsvinduer)

I diskussionen er der påvist stor forskel på rentabiliteten i de mulige tiltag, der bl.a. betyder at det både ud fra en ren energimæssig-, men også en rentabilitetsbetragtning, bedre kan betale sig at etablere mekanisk ventilation med genvinding fremfor indvendig efterisolering af ydervægge.

Med den nuværende viden omkring indvendig isolering, som mere fugtteknisk krævende end udvendig efterisolering, på grund af ringere udtøringsmuligheder i den eksisterende væg som følge af den lavere temperatur, er det mere sikkert at udføre udvendig isolering hvor æstetisk muligt, og overveje at undlade isolering hvor det kun er muligt at isolere indvendigt.

Da praktiske erfaringer viser, at der ikke er problemer med indvendig brystningsisolering hvor der isoleres mellem radiatorer og brystningsmurværk, kan dette med stor effekt udføres under alle omstændigheder.

Den indvendige isolering er medtaget for at opfylde Københavns Kommunes (KK) ønske om at dette indgår i demonstrationsprojektet og fordi undersøgelserne har påvist forsvarlige løsninger med diffusionsåben isolering som Ytong Multipor, der giver de laveste fugtværdier og ved valg af en relativt tynd dimension anses at være en "fugtsikker" løsning som p.gr.a. stålbjælkelagets opvarmning af område omkring bjælkeender også kan anvendes mod SV.

Det indgår ikke umiddelbart i de med kommunen og bygningsejeren aftalte arbejder at etablere centralt styret mekanisk ventilation med varmegenvinding, men det forekommer hensigtsmæssigt at søge at nyttiggøre varmen i afkastluften, hvorfor spørgsmålet vil blive rejst under projekteringen.

9.3 Anbefalede foranstaltninger, perspektivering

Skal de politiske mål om reduktion i energiforbrug og CO₂ neutralitet nås, også i den eksisterende bygningsmasse, må der enten gås på kompromis med kravene til den arkitektoniske kvalitet og isoleres udvendigt i flere situationer end hvad i dag forekommer acceptabelt, eller alternativt udvikles sikre metoder til indvendig isolering som kan udføres uden at beskadige de eksisterende konstruktioner. Den sidste løsning er naturligvis at foretrække.

I de kommende år bliver det derfor meget vigtigt at finde brugbare og robuste løsninger på indvendig isolering i begrænsede tykkelser for endnu mangler dokumenterede langtidserfaringer for gode løsninger uden kedelige bivirkninger.

Det er dog mindst lige så vigtigt at der fokuseres på de rigtige løsninger, så det ikke er bare er de for tiden mest "populære", promoveret af producenter eller brancher med særinteresser, men netop de løsninger der mest energieffektivt, rentabelt og skånsomt mod- og med respekt for arkitektoniske- og byggetekniske kvaliteter som har været under udvikling i hundreder af år.

Der findes i historien mange dårlige eksempler på hvordan en mangeårig tradition på kort tid er blevet afløst af hvad man i øjeblikket mente var den bedste løsning.

Nye løsninger har ofte, efter en årrække, vist sig at give betydelige problemer byggeteknisk og økonomisk at rydde op, hvad enten der tænkes på anvendelse af nye "vidundermaterialer" der senere viser sig giftige eller uden den holdbarhed som materialet det afløste havde, eller arkitektoniske strømninger, hvor der i disse år i den hastige udbygning af København tilsyneladende kun bygges huse uden rejste tage samtidigt med at monsterregnskyl bliver normalen.

Energirenovering rummer mange muligheder, men også rigtig mange faldgruber at passe på.

10 Illustrationsliste

Figure 1 - forsidebillede foto af ejendommen Nordre Frihavsgade 50 m.fl.	1
Figure 2 - kvittering for indgivelse af kvalificeret byfornylesansøgning.	6
Figure 3 - Fouriers ligning.	7
Figure 4 - beregning af phi.	8
Figure 5 - ligning ventilationstab.	9
Figure 6 - Fugtindhold i hhv. ude- og indeluften.	10
Figure 7 - beregning RF.	10
Figure 8 - Vanddampdiagram.	10
Figure 9 - belastningsklasser fugttilskud.	11
Figure 10 - ejendommens placering (nord opad).	13
Figure 11 - 20 pkt. skema.	14
Figure 12 - foto af tag og gårdfacade.	16
Figure 13 - foto af fladtag.	16
Figure 14 - foto i tørrerum.	17
Figure 15 - fugtmåling.	17
Figure 16 - fugtmåling.	17
Figure 17 - foto af brandkam.	17
Figure 18 - foto af skråtag mod gade.	17
Figure 19 - foto af træmpel mod gade.	18
Figure 20 - træmpelspær.	18
Figure 21 - gadefacade på hjørne.	19
Figure 22 - foto underfacade mod gade.	19
Figure 23 - foto af ornamentik.	20
Figure 24 - foto af fordakning.	20
Figure 25 - foto af gårdfacade.	20
Figure 26 - foto af gesims på gårdside.	21
Figure 27 - foto af gesims på gårdside.	21
Figure 28 - termografibillede af vinduer.	23
Figure 29 - foto af Frb. vindue.	23
Figure 30 - foto af butiksvindue.	23
Figure 31 - foto af plastikvindue.	24
Figure 32 - foto af datering i rude.	24
Figure 33 - foto af vinduesbrytning.	24
Figure 34 - foto af 3-fags dannebrogsvindue.	25
Figure 35 - termobillede af vindue i opgang.	25
Figure 36 - foto af trælysning.	25
Figure 37 - foto af tørrerum.	27
Figure 38 - foto i gennemgang.	27
Figure 39 - gulv i tagrum.	27
Figure 40 - foto af vinduesoverligger i kælder.	27
Figure 41 - termobillede af gulv i tagrum.	28
Figure 42 - foto af samme gulv som ovenfor.	28
Figure 43 - foto i kælderrum.	28
Figure 44 - foto af uisolerede vandrør.	28
Figure 45 - 3D-view fra bygningsmodellen i Revit.	31
Figure 46 - Klimaanalyse fra WUFI.	33
Figure 47 - skema med energibesparelspotentialer ved udskiftning (vinduer) ell. efterisolering af de enkelte bygningsdele.	34
Figure 48 - skema over trinvis resultater af energiforbedringer med resulterende og rentabilitet.	35
Figure 49 - eksempel på levetidsberegning for nye vinduer iht. levetider.dk.	36
Figure 50 - rentabilitetsberegning med levetid jf. fig. 49 fra levetider.dk.	37
Figure 51 - rentabilitetsberegning udelukkende energiforbedring, levetid jf. fig 49.	37
Figure 52 - tabel med interpolerede værdier for sorption for de enkelte materialer (bilag 5.4).	38
Figure 53 - resultater af fugtberegninger for 35 cm teglstensvæg orienteret SV, for fuld version se bilag 5.7.	39
Figure 54 - oversigt over løsninger der opfylder de stillede kriterier, for fuld version se bilag 5.1.	40
Figure 55 - tabel over løsninger "næsten OK", for fuld version se bilag 5.2.	41
Figure 56 - Berlingske 2015-05-11 (se bilag 1).	42
Figure 57 - fugtprofiler for 35 cm tegl med hhv. uisoleret og isoleret med EPS eller Ytong, for større detalje se bilag 6.4.	44
Figure 58 - Maksimalt fugtindhold for 35 cm teglsten SV, se også bilag 6.1.	45
Figure 59 - Maksimalt fugtindhold i teglsten med Ytong SV.	46
Figure 60 - Maksimalt fugtindhold i Ytong SV.	47
Figure 61 - grafisk afbildning af relativ fugtindhold, dugpunkt og temperatur i 35 cm uisoleret teglstensvæg.	48
Figure 62 - grafisk afbildning af relativ fugtighed, dugpunkt og temperatur i 35 cm teglstensvæg isoleret med Ytong.	49
Figure 63 - Grafisk afbildning af temperaturforhold omkring bjælkeender, se også bilag 7.4 og 7.5 med underbilag.	50
Figure 64 - SBI anv. 224 s. 63.	51
Figure 65 - "russervindue" - princip.	53
Figure 66 - oversigt prioriteringsrækkefølge.	54

11 **Bilagsfortegnelse**

- 11.1 Alt er ikke grønt på hovedstadens klimavej, artikel fra Berlingske 2015-05-11
- 11.2 Byfornyelsesbeslutning faktaark til Teknik & Miljøudvalgets beslutning
- 11.3 Budget for ombygning
- 11.4 Energiberegninger samlet
- 11.5 Resultatark fra alle fugtberegninger
- 11.6 Wufi rapporter fra 3 udvalgte løsninger
- 11.7 Heat rapporter for 3 udvalgte løsninger
- 11.8 Datablade for udvalgte produkter
- 11.9 Niras miljøredegørelse for genanvendte teglsten

Bilag er nummereret fra 1- 9 således at nærværende afsnitsnummer 11. er fjernet.

Bilag 11.1 er således benævnt Bilag 1 (første side med stort B) og side 2. i Bilag 1 er benævnt bilag 1/2 (undersider med lille b) og således er bilag 6.2/3 side 3 i Bilag 6.2.

Nummerering er udført som kommentarer i Adobe Acrobat Pro ver. XI, hvorfor der skal vælges "vis kommentarer".

Funktionen bogmærker skal også slås til, så er der en dynamisk indholdsfortegnelse med links, således at man ved klik i indholdsfortegnelsen springer frem til den valgte side.

12 **Litteraturliste**

- 12.1 Forside/Fakta om EU/Politikker/Klimapolitik/ på infoside www.eu-oplysningen.dk
- 12.2 Københavns Klimaplan på infoside: www.kk.dk/artikel/co2-neutral-hovedstad
- 12.3 Varmelære: BR2010 og DS 418 og DS 428
- 12.4 Fugtlære: BR2010 og sbi anv. 224 - Fugt i bygninger
- 12.5 SBI-rapport 142 - Københavnsk etageboligbyggeri 1850- 1900
- 12.6 "Krav til projektmateriale m.v. i ombygningsager, hvortil der søges offentlig støtte i henhold til byfornyelseslovgivningen" ref. webside:
[www.http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/1304_KN8aDpGyF4.pdf](http://kk.sites.itera.dk/apps/kk_pub2/pdf/1304_KN8aDpGyF4.pdf)
- 12.7 Bekendtgørelse nr. 156 af 15. marts 2004, "Bekendtgørelse om registrering af bygnings tilstand før gennemførelse af ombygningsarbejder mv. efter lov om byfornyelse og udvikling af byer, ref: <https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=26607>
- 12.8 SBI-anvisning 221 - Efterisolering af etageboliger
- 12.9 SBI-anvisning 224 - Fugt i bygninger
- 12.10 Martin Morelli og Svend Svendsen, Investigation of interior post-insulated masonry walls with wooden beam ends (artikel i Journal of Building Physics)