

Ventileret facade på Union Canning

En analyse af fugt, skimmelsvamp, dagslys, energi og termisk indeklima



Af Christian Kongsgaard Nielsen, s123455

Vejledere:

Lotte Bjerregaard Jensen og Kristoffer Negendahl

10. januar 2016

Abstract

This bachelor thesis investigates moisture, mold, daylight, thermal comfort and energy in an internal insulated wall and introduces a ventilated cavity to see if that will solve some of the, primarily, moisture and mold issues an internal insulated wall has.

The investigations start by comparing 5 wall constructions with each other – 2 without a cavity and 3 with. It shows that the construction where you have cavity with an air flow from the bottom of the wall, taking in air from the indoor environment, to the top of the wall, with an outlet under the roof to the outside, has the worst conditions for mold to grow in and with that also the lowest humidity in the construction. The results also show that there only is a small difference between the three constructions with cavity in the moisture and mold performance, but all three are superior to the constructions without cavity. Likewise are the three superior to the other two, when it comes to thermal comfort and energy. Only the construction without cavity and insulation has better daylight conditions than the rest, because the wall is thinner. To check if the optimal construction is chosen the construction with the best moisture and mold performance are varied by changing cavity and insulation thickness. No variation can be singled out as the best solution based on the four performance criteria without further studies. The variation with 150mm cavity and 50mm insulation seems at the moment as the most promising one.

During the work with this project a minor tool was developed to calculate and visualize driving rain on a façade.

Indholdsfortegnelse

Abstract	Side 2
Indledning	Side 4
Metode	Side 5
Fremgangsmåde	Side 5
Anvendt software	Side 5
Baggrund	Side 6
Teori	Side 8
Fugttransport	Side 8
Skimmelsvamp	Side 9
Slagregn	Side 11
Naturlig ventilation	Side 12
Termisk indeklima	Side 14
Inputdata	Side 16
Resultater	Side 21
Fugt	Side 21
Skimmelsvamp	Side 36
Dagslys	Side 40
Termisk indeklima	Side 45
Energi	Side 47
Konklusion og diskussion	Side 50
Litteraturliste	Side 53
Bilag	Side 55

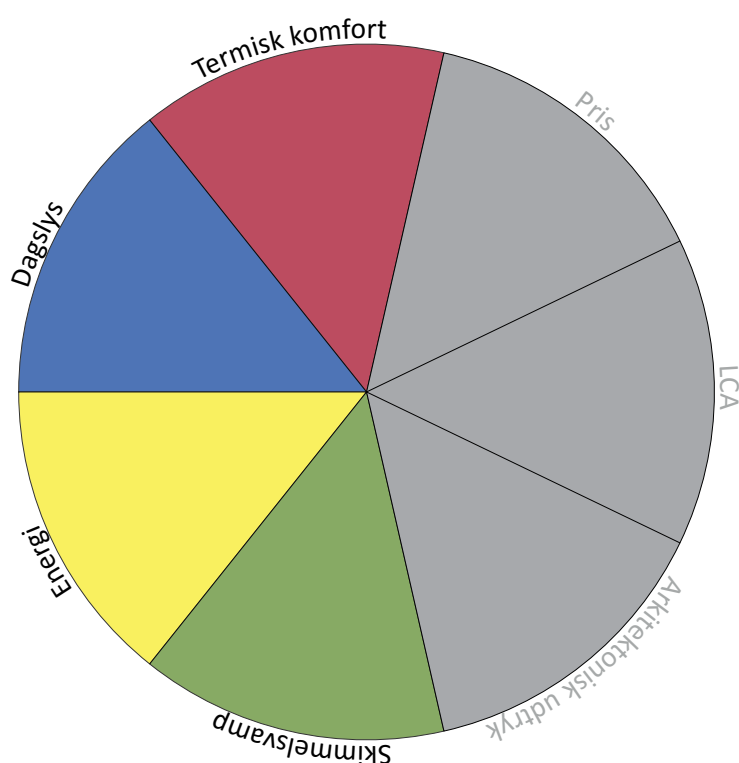
Indledning

For bygninger med bevaringsværdige facader kan indvendig isolering være den eneste mulighed for at nedbringe varmetabet og energiregningen. Der er en række ulemper ved indvendig isolering for eksempel er det svært at gardere sig mod kuldebroer og det kan give frost- og fugtproblemer, da den eksisterende konstruktion bliver koldere. Det er derfor vigtigt at undersøge både de relative fugtigheds- og temperaturforhold i en konstruktion med indvendig isolering, da det er disse, som bestemmer risikoen for svampe- og skimmelvækst i konstruktionen. Materialevalget er også afgørende for, hvor gunstige forhold skimmelsvamp har (Peuhkuri & Rode, 2010).

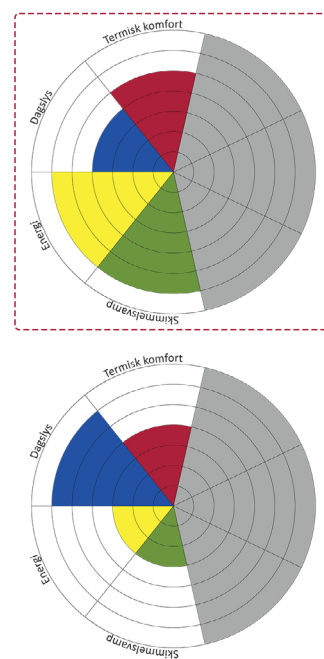
Dette afgangsprøjet tager udgangspunkt i en case præsenteret af tegnestuen Helen & Hard. Overordnet set er opgaven at renovere en gammel industribygning i Stavanger, kaldet Union Canning. Bygningen har en bevaringsværdig vestfacade, som arkitekterne har været et ønske at bevare. Denne opgave tager udgangspunkt i det ønske og undersøger, hvordan man kan lave en løsning med indvendig isolering i facaden, så man undgår fugtproblemer, men samtidig tager højde for dagslysforhold, termisk komfort og energiforbrug i bygningen som helhed.

Opgavens fokus ligger på at løse fugtproblemerne, som har vist sig at være den største udfordring. Der undersøges en række løsningsforslag med et indvendigt ventileret hulrum. Disse forslag sammenholdes med løsninger med og uden isolering og vurderes ud fra: skimmelvækst, dagslysforhold, termisk komfort og energiforbrug. Disse vil i en virkelig situation ikke stå alene. Andre parametre vil også spille ind og derfor kan de fire parametre ikke ses helt isoleret. Figur 1 viser de fire vurderingsparametre sammen med et eksempel på tre andre, som også kunne have betydning, når en facadeløsning skal vælges.

I diskussionen vil de forskellige løsningsforslag blive vurderet på en lignende måde, hvor hver løsning får point i hver kategori og den som fylder cirklen mest ud vil være at foretrække.



Figur 1: Vurderingsparametre til valg af endelig facadeløsning og eksempler på andre parametre, som kunne have indflydelse.



Figur 2: Den øverste figur er at foretrække da den fylder flest felter i cirklen ud.

Metode

Fremgangsmåde

Arbejdet med opgaven har været en iterativ proces, som hele tiden har skiftet mellem de forskellige delelementer, som opgaven består af. Hver gang noget er blevet ændret det ene sted, har det haft indflydelse på de andre afsnit af opgaven. Arbejdet har været flydende mellem de forskellige områder og har ikke som i opgaven været opdelt i afsnit. Opdelingen er dog alligevel valgt for at gøre det mere overskueligt for læseren.

Til at starte med er der arbejdet med løsning 0-4 og det er først senere, at variationerne kommer ind i billedet, da det bliver klart, hvilken løsning der er værd at gå videre med.

Størstedelen af tiden er gået med udførelsen af Delphin simuleringerne. Der gået en del tid med at få den endelige metode og udsnit af konstruktioner frem, så de giver et tilfredsstillende resultat. Jeg har ikke brugt softwaren før og der har ikke meget andet at støtte sig til end manualen [1]. Arbejdet med det andet software har gået mere problemfrit, da det er noget jeg har arbejdet med før. Delphin er blevet indarbejdet i en Rhinoceros og Grasshopper arbejdsproces, sådan at man klargør nogle af dataene i Grasshopper og sender dem videre til Delphin, som så simulerer det.

Anvendt software

Til opgaven er der brugt Rhinoceros 5 sammen med Grasshopper, som tegneredskab og datavisualisering. Noget databehandling er gjort med pythonkode andet i Grasshopper.

Til undersøgelserne af fugtforholdene er Delphin blevet brugt. Det er et simuleringsværktøj, som kan håndtere kombineret varme- og fugttransport.

Dagslysberegninger og energisimuleringer er blevet lavet med et plugin til Grasshopper, som hedder Ladybug and Honeybee. Pluginet fungerer som en kobling mellem geometrien i Rhinoceros og simuleringsværktøjerne EnergiPlus, Daysim og Radiance.

En af de store fordele ved at arbejde med Rhinoceros og Grasshopper er, at det giver mulighed for at koble geometri og simuleringer sammen på en måde, der gør det muligt at udføre parametriske studier. Delphin indeholder ikke helt de samme muligheder, men for at nå et skridt i den rigtige retning, er et lille værktøj blevet udviklet til at visualisere slagregnen, som indgår i Delphin-simuleringen.

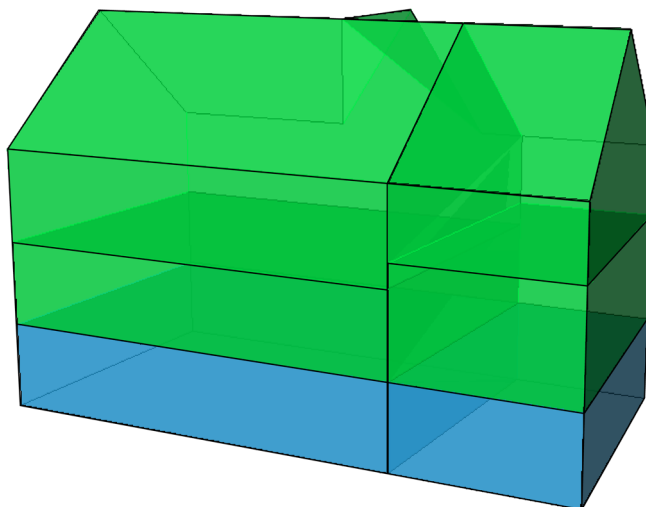
Baggrund

Union Canning bygningen ligger i det gamle industriområde i Stavanger. Bygningen er blevet opført i 1912, som fabrik for Union Canning Co A/S. Union Canning producerede dåsemad, blandet andet blev der fyldt sild i gelé i konserverdåserne i fabrikken. Senere er fabrikken blevet brugt af en virksomhed, der puffede forskellige kornsorter. Senest er bygningen blevet brugt som klublokale og atelier med mere.

Området skal efter planen fornyes og arkitekterne Helen & Hard har foreslået en plan og en ny bebyggelse med boliger og Union Canning som kontorbygning og beboerlokaler. Denne plan følges så vidt muligt i opgaven.

Som overordnet designkoncept foreslås der her i opgaven et enkelt koncept, hvor de steder hvor der foretages ændringer og indgriben får en ny beklædning af fyrretræ. Da vestfacaden skal isoleres indvendigt, vil det være indersiden af væggen, som får en fyrretræsbeklædning og på ydersiden beholdes murstenene. De tre andre facader isoleres udvendigt og derfor beklædes de facader udvendigt med fyrretræ.

I opgaven undersøges 3 løsninger med ventileret hulrum. De vil blive sammenlignet med to løsninger uden hulrum; en løsning uden isolering – **Løsning 0** – og en løsning, hvor hulrummet bliver skiftet ud med isolering – **Løsning 4**. For at undersøge om den optimale konstruktion er valgt, vil 6 varianter af den bedste løsning med ventileret hulrum også blive undersøgt. Løsning 1 vil have ind- og udluftning på hver etage, hvor luften strømmer fra inde til ude. Løsning 2 vil have indgangsristen til hulrummet i bunden af facaden og



Figur 3: De øverste etage bruges til kontorer (grøn), den nederste som beboerlokaler (blå)



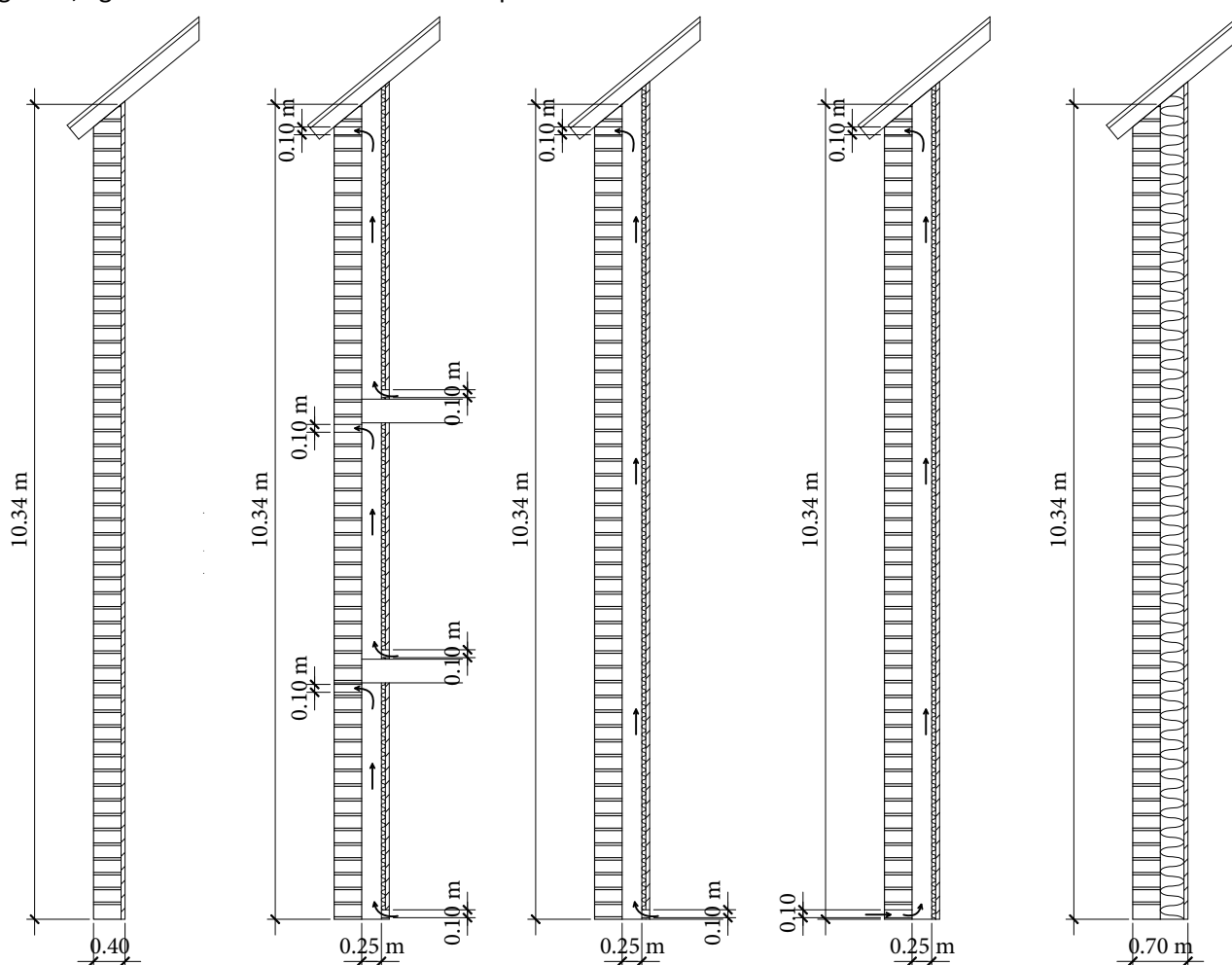
Figur 4: Union Cannings nuværende vestfacade.

have en udgangsrist under taget. I den løsning vil luften ligeledes komme indefra og strømme til udeklimaet. Løsning 3 vil have placeret ind- og udgange til hulrummet, i samme højder som løsning 2, men vil i stedet have en luftstrøm fra ude til ude.

Løsning 0 og 4 skal ses som grænseløsninger, hvor man i løsning 0 har ingen isolering, men har placeret fyrretræsbeklædningen direkte på teglvæggen. I løsning 4 har man derimod fyldt hulrummet med isolering. Når den bedste løsning blandt de fem er fundet, vil variationer af den blive undersøgt. Variationerne vil variere tykkelserne på hulrum og isolering, uden at væggen bliver bredere end 0,7m – variationerne kan ses i tabel 12 på side 32.

Isoleringsstykker til facaderne som er udvendigt isoleret og til terrændækket, er der fulgt vejledningerne fra Rockwools "Den lille lune"[2], til energiramme 2015.

Da arkitekten har ytret ønske om at bruge bygningen som tegnestue, adopteres denne idé og de to øverste etager foreslås brugt som kontorlokaler. Stuen foreslås at blive brugt til fælles formål for beboerne i bebyggelsen, ligesom det er forevist i arkitektens planer.



Figur 5: **Løsning 0** - Ingen isolering.

Figur 6: **Løsning 1** - Ventileret facade. Fra inde til ude på hver etage.

Figur 7: **Løsning 2** - Ventileret facade. Fra inde til ude over hele facaden.

Figur 8: **Løsning 3** - Ventileret facade. Fra ude til ude over hele facaden

Figur 9: **Løsning 4**. Indvendig isolering.

	Mursten (mm)	Hulrum (mm)	Isolering (mm)	Træbeklædning (mm)	Samlet (mm)
Løsning 0	350	0	0	50	400
Løsning 1-3	350	250	50	50	700
Løsning 4	350	0	300	50	700

Tabel 1: Konstruktions tykkelser

Teori

Fugttransport

Ifølge (Gottfredsen, 1997) er de primære årsager til vandtransport gennem et materiale forskelle i: vandtryk, damptryk, lufttryk, temperatur og kapillarkræfter. Vandtryksforskelle er den simpleste transportmekanisme. Trykforskellene driver vand gennem porøse materialer. Et udtryk for massestrømmen mellem to betragtede snit kan skrives:

$$Q = A * K * \frac{\Delta p}{\Delta l} \quad (1)$$

Hvor Q er i kg/s , A er arealet i m^2 , hvor massestrømmen foregår. K er vandpermeabilitetskoefficienten i $\text{kg}/(\text{Pa} * \text{m} * \text{s})$. Δp er trykfaldet mellem de to snit og Δl er længden mellem snittene.

Kommer et tørt porøst materiale i kontakt med vand, vil der ske en kapilarsugning. Opfugtningen kan enten ske ved en stationær kapilarsugning eller ved kapillær opugning. Den transporterede mængde ved stationær kapilarsugning kan bestemmes ved:

$$q_m = -K * \rho_v * R * T * \frac{\ln(RF)}{\Delta l * M} \quad (2)$$

Hvor q_m er i $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s})$, K er vandpermeabilitetskoefficienten i $\text{kg}/(\text{Pa} * \text{m} * \text{s})$, Δl er længden mellem de to betragtede snit, RF er den enhedsløse relativ fugtighed, ρ_v er vandets densitet i kg/m^3 , T er temperaturen i K , R er gaskonstanten med værdien $8,314 \text{ J}/(\text{mol} * \text{K})$ og M er molekylemassen i kg/mol . Stationær kapilarsugning kan kun opstå ved porer, hvis radius er mindre end den til den anvendte relative fugtighed svarende krumningsradius. Grovere porer vil enten blive tømt eller være vandfyldte. Derfor er dette mest interessant ved materialer med meget små porer. Formel 2 kræver også, at den relative fugtighed lige uden for meniskoverfladerne holdes konstant.

Kapillær opugning er en tidsafhængig opfugtning og en opugningsmængde $Q(t)$ og massestrømhastighed $q(t)$ kan bestemmes.

$$Q(t) = k_1 * \sqrt{t} \quad (3)$$

Hvor $Q(t)$ er i kg/m^2 , t er tiden i s og k_1 er kapillaritetstallet i $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s}^{0.5})$. Massestrømhastigheden kan udtrykkes ved $q(t)$:

$$q(t) = \frac{k_1^2}{2 * Q(t)} \quad (4)$$

Hvor $q(t)$ er i $\text{kg}/(\text{m}^2 * \text{s})$.

Hvis et område i et porøst materiale har et højere damptryk end et andet, vil der ske en transport, som kan bestemmes ved:

$$q_d = \delta * \frac{\Delta p_d}{d} \quad (5)$$

Hvor q_d er den transporterede fugtmængde i kg/s , δ er vanddamppermeabilitetskoefficienten i $\text{kg}/(\text{Pa} * \text{m} * \text{s})$, d er afstanden mellem to betragtede snit i m og Δp_d er damptryksforskellen.

Skimmelsvamp

Til vurderingen af om fugt- og vandindholdet i facaden er på et acceptabelt niveau, vil der blive kigget på skimmelsvampsudvikling i facadekonstruktionen. Råd i trækonstruktionen kunne også være et problem, men da råd kun udvikles, når den relative fugtighed er over 95% i længere tid (H. Viitanen et al. 2010), er det vurderet, at det ikke er så relevant i denne opgave. Til bestemmelse af skimmelsvamp tages der udgangspunkt i en metode beskrevet i (Hannu Viitanen 2007) (Hukka and Viitanen 1999) (Ojanen 2010). Metoden kan bruges til at beskrive skimmelsvampsforholdene på en overflade med time baserede datasæt for relativ fugtighed og temperatur. Skimmelsvampsudviklingen bliver vurderet ud fra et så kaldt skimmelindeks, som er en skala fra 0-6. Indeksverdierne er beskrevet i tabel 2.

Index	Description of Growth Rate
0	No growth
1	Small amounts of mold on surface (microscope), initial stages of local growth
2	Several local mold growth colonies on surface (microscope)
3	Visual findings of mold on surface, < 10% coverage, or <50% coverage of mold (microscope)
4	Visual findings of mold on surface, 10%-50% coverage, or >50% coverage of mold (microscope)
5	Plenty of growth on surface, > 50% coverage (visual)
6	Heavy and tight growth, coverage about 100%

Tabel 2: Inddeling af skimmelindekset

Modellen arbejder med 4 forskellige sensitivitetsklasser for at kunne tage højde for forskellige materiale egenskaber. Klasserne kan ses i tabel 3. I tabel 4 kan materiale konstanterne ses.

Mold Sensitivity Class	Materials
Very Sensitive	Untreated wood; includes lots of nutrients for biological growth
Sensitive	Planed wood, paper-coated products, wood-based boards
Medium Resistant	Cement or plastic based materials, mineral fibers
Resistant	Glass and metal products, materials with efficient protective compound treatments

Tabel 3: Beskrivelser af sensitivitets klasser

$$M = \sum \frac{dM}{dt} \quad (6)$$

M er skimmelindekset og er enhedsløs. I tilfælde af at den relative fugtighed (RF) er større eller lig den kritiske relative fugtighed (RF_{crit}) og temperaturen er over 0°C bestemmes dM/dt således:

$$\frac{dM}{dt} = \frac{1}{7 * e^{-0,68 * \ln(T) - 13,9 * \ln(RF) - 0,33SQ + 66,02}} * k_1 * k_2 \quad (7)$$

Hvor T er temperaturen i °C og RF er den relative fugtighed i % og k_1 og k_2 er konstanter. SQ er en konstant der tilføjes, hvis materialet er af træ, det vil sige i en af de første to sensitivitetsklasser. RF_{crit} bestemmes af nedenstående udtryk:

$$RF_{crit} = \begin{cases} RF_{min}; \text{når } T > 20^\circ\text{C} \\ -0,00267T^3 + 0,16T^2 - 3,13T + 100 \end{cases} \quad (8)$$

k_1 og k_2 bestemmes ud fra materialeparametrene i tabel 4 og udtrykkene:

$$k_1 = \begin{cases} k_{1,M<1} \\ k_{1,M\geq 1} \end{cases} \quad (9)$$

$$k_2 = \max(1 - e^{2.3*(M-M_{max})}; 0) \quad (10)$$

M_{max} bestemmes med følgende udtryk, hvor konstanterne A, B og C er også fra tabel 4.

$$M_{max} = A + B \frac{RF_{crit} - RF}{RF_{crit} - 100} - C \left(\frac{RF_{crit} - RF}{RF_{crit} - 100} \right)^2 \quad (11)$$

I det tilfælde, hvor den relative fugtighed ikke overstiger den kritiske værdi eller hvis temperaturen er under 0°C, bruges et andet udtryk for dM/dt . Tilbagegangen af skimmelvæksten er kraftigst i de første 6 timer af ugunstige forhold. Hvis de ugunstige forhold fortsætter, ses ingen udvikling før der er gået et døgn, hvorefter tilbagetrækningen fortsætter.

$$\frac{dM}{dt} = \begin{cases} -0,00133; \text{når } t - t_1 \leq 6h \\ 0; \text{når } t - t_1 \leq 24h \\ -0,000667; \text{når } t - t_1 > 24h \end{cases} \quad (12)$$

For at tage højde for forskellige tilbagetrækningstider indføres en konstant D, som afhænger af materialet og kan findes i tabel 4. I (Ojanen 2010) er sensitivitetsklasserne ikke koblet sammen med tilbagetrækningskonstanterne. I denne opgave er de dog for simpelhedens skyld blevet det.

$$\frac{dM}{dt}_{mat} = D * \frac{dM}{dt}_0 \quad (13)$$

Sensitivitets klasser	k_1		k_2			RF_{min}	D	SQ
	M<1	M≥1	A	B	C			
Meget sensitiv	1	2	1	7	2	80	1	1
Sensitiv	0,578	0,368	0,3	6	1	80	0,5	1
Medium resistent	0,072	0,097	0	5	1,5	85	0,25	0
Resistent	0,033	0,014	0	3	1	85	0,1	0

Tabel 4: Sensitivitets klasser, tilhørende værdier

Slagregn

Beregningen af slagregn tager udgangspunkt i den metode, som Delphin anvender. Metoden er beskrevet i (Ennis & Litster, 1997). Følgende formel anvendes:

$$J_{regn,nor} = k_{vind} * k_{regn} * J_{regn,hor} \quad (14)$$

$J_{regn,nor}$ er en strøm vinkelret på den flade, der beregnes for og har enheden: kg/m²s, $J_{regn,hor}$ er en strøm på en horisontal flade og har enheden: kg/m²s. k_{regn} er en konstant, som angiver, hvor udsat fladen er for regn.

Forholdet mellem kræfter og indfaldsvinkel for en dråbe beskrives således:

$$\cos(\alpha) = \frac{F_w}{\sqrt{F_w^2 + F_g^2}} \quad (15)$$

$$F_g = \rho_v * \frac{4\pi}{3} * r^3 * g \quad (16)$$

$$F_w = c * \frac{\rho_L}{2} * V_{vind}^2 * \pi r^2 \quad (17)$$

Hvor F_w er kraften fra vinden, F_g er kraften fra tyngdekraften, som påvirker dråben. α er i radianer, c er en enhedsløs konstant og har værdien 0,3, V_{vind} er vindhastigheden i m/s, g er tyngdeaccelerationen = 9,81 kg/s², ρ_L er luftens densitet = 1,2 kg/m³, ρ_v er densiteten af vand = 1000 kg/m³ og r er regndråbernes radius i m.

k_{vind} udledes fra blandt andet formel 15, og beregnes på følgende måde:

$$k_{vind} = \frac{\cos(\beta_{vind})}{\sqrt{1 + 1142 * \frac{\sqrt{3600 * J_{regn,hor}}}{V_{vind}^4}}} e^{-\frac{12}{V_{vind} * 5 * \sqrt[4]{3600 * J_{regn,hor}}}} \quad (18)$$

For at beregne β_{vind} bruger Delphin [1] følgende formler:

$$\beta' = |\alpha_{væg} - \alpha_{vind}| \quad (19)$$

$$\beta_{vind} = \begin{cases} \beta' < \pi, & \beta_{vind} = \beta' \\ \beta' \geq \pi, & \beta_{vind} = 2\pi - \beta' \end{cases} \quad (20)$$

$\alpha_{væg}$ er fladens orientering, α_{vind} er vindretningen. Alle vinkler er angivet i radianer. Hvis vindretningen overstiger $\pi/2$, vindhastigheden er 0 m/s eller temperaturen er ≤ -2 °C vil k_{regn} blive sat til 0. Det vil sige, at der ikke er nogen slagregn.

Naturlig ventilation

Til bestemmelse af luftstrømmene i det ventilerede hulrum i facaden antages det, at de kan beregnes som naturligt ventileret. Beregningerne tager udgangspunkt i (Jensen, 2005). I Delphin kan man indføre en luftstrøm ved at have to forskellige tryk. Derfor beregnes i tryk i toppen af hulrummet ved udgangsristen og et i bunden ved indgangsristen.

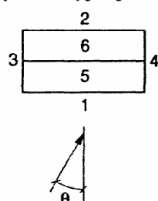
$$\Delta P_{rist} = p_v - p_i \quad (21)$$

For de situationer, hvor indgangsristen er inde (Løsning 1 og 2) antages det, at trykket bliver produceret ved, at man sætter den mekaniske ventilation til at producere et overtryk. Det medfører:

$$\Delta P_{rist, mek} = p_{mek} \quad (22)$$

Det antages, at der bruges samme model og risttype både for indgang og udgang og derfor indgår tryktabet fra risten ikke i beregningerne. Ligeledes antages det, at tryktabet i hulrummet er så lille, at det kan negligeres.

Tabel A.6. Bygning med rektangulær grundplan med længde-bredde-forholdet 2:1. Omkringliggende bygninger er af samme højde som bygningen.



Bygningssdel	Flade nr.	Vindtrykkoefficient							
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Facade	1	0,06	-0,12	-0,2	-0,38	-0,3	-0,38	-0,2	-0,12
	2	-0,3	-0,38	-0,2	-0,12	0,06	-0,12	-0,2	-0,38
	3	-0,3	0,15	0,18	0,15	-0,3	-0,32	-0,2	-0,32
	4	-0,3	-0,32	-0,2	-0,32	-0,3	0,15	0,18	0,15
Saddeltag, hældning < 10°	5 og 6	-0,49	-0,46	-0,41	-0,46	-0,49	-0,46	-0,41	-0,46
Saddeltag, hældning 10-30°	5	-0,49	-0,46	-0,41	-0,46	-0,4	-0,46	-0,41	-0,46
	6	-0,4	-0,46	-0,41	-0,46	-0,49	-0,46	-0,41	-0,46
Saddeltag, hældning > 30°	5	0,06	-0,15	-0,23	-0,6	-0,42	-0,6	-0,23	-0,15
	6	-0,42	-0,6	-0,23	-0,15	0,06	-0,15	-0,23	-0,6

Tabel 5: Vindtrykkoefficienter, C_p . Værdier fra flade 1 anvendes.

$$p_v = \frac{1}{2} * C_p * \rho_u * v_{ref}^2 \quad (23)$$

p_v er vindtrykket i Pa, ρ_u er densiteten af udeluften i kg/m^3 , C_p er vindtrykkoefficienten. Den er bestemt ud fra tabel 5. Det antages, at C_p er ens over hele facaden, der kigges på. v_{ref} er reference-vindhastigheden, der beregnes som følger:

$$v_{ref} = v_{metro} * k * h^\alpha \quad (24)$$

Hvor k og α er konstanter for ruhedsklasse. Det antages, at Union Canning befinder sig i ruhedsklasse VIII. Derfor bliver $k=0,35$ og $\alpha=0,25$. v_{metro} er den målte vindhastighed i 10 meters højde i m/s, h er reference højden i m.

Terræn	Ruheds-klasse	k	α	f_h 20 m	f_h 10 m
Opdyrket fladt land	IV	0,68	0,17	1,13	1,00
Åbent landskab	V	0,52	0,20	0,95	0,82
By	VIII	0,35	0,25	0,74	0,62
Bycentrum	IX	0,21	0,33	0,56	0,45

Tabel 6: Ruhedsklasser

$$\rho = \rho_0 * \frac{273}{T} \quad (25)$$

ρ er luftens massefylde ved en given temperatur T målt i K. ρ_0 er luftens massefylde ved $0^\circ\text{C} = 1,29 \text{ kg/m}^3$.

Et udtryk for p_i kan opstilles:

$$C_{d1} * A_1 * \sqrt{\frac{C_{p1} * \rho_u * v_{ref1}^2 - 2 * p_i}{\rho_u}} = C_{d2} * A_2 * \sqrt{\frac{2 * p_i - C_{p2} * \rho_u * v_{ref2}^2}{\rho_i}} \quad (26)$$

Hvis man antager at: $C_{p1}=C_{p2}$, $C_{d1}=C_{d2}$, $A_1=A_2$ og $\rho_u=\rho_i$ kan p_i skrives:

$$p_i = \frac{1}{4} * C_p * \rho * (v_{ref2}^2 + v_{ref1}^2) \quad (27)$$

Termisk indeklima

Predicted Mean Vote (**PMV**) er et indeks, som forudsiger, hvad gennemsnittet af en gruppe forsøgspersoner vil stemme på en 7 trins skala – se tabel 7 – baseret på deres termiske opfattelse af omgivelserne. PMV beregnes ifølge (ISO, 2006):

$$PMV = (0,303 * e^{-0,036M} + 0,028) * (a + b + c) \quad (28)$$

$$a = (M - W) - 3,05 * 10^{-3} * (5733 - 6,99 * (M - W) - p_a) - 0,42 * ((M - W) - 58,15) \quad (29)$$

$$b = -1,7 * 10^{-5} * M * (5867 - p_a) - 0,0014 * M * (34 - t_a) \quad (30)$$

$$c = -3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) - f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a) \quad (31)$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 * (M - W) - I_{cl} * (3,96 * 10^{-8} * f_{cl} * ((t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4) + f_{cl} * h_c * (t_{cl} - t_a)) \quad (32)$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 * \sqrt{v_{ar}} & \text{for } 2,38 * |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 * \sqrt{v_{ar}} \end{cases} \quad (33)$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,29 * l_{cl} & \text{for } l_{cl} \leq 0,078 \\ 1,05 + 0,645 * l_{cl} & \text{for } l_{cl} > 0,078 \end{cases} \quad (34)$$

Hvor M er metabolisk rate i W/m², W er den effektive mekaniske energi i W/m², I_{cl} er tøjets isoleringsevne i m²K/W, t_a er lufttemperaturen i °C, t_r er strålingstemperaturen i °C, v_{ar} er den relative lufthastighed i m/s, p_a er damptrykket, h_c er i W/(m²*K) er t_{cl} er i °C.

PMV beregner som sagt gennemsnitsstemmen af en gruppe personer, men de individuelle stemmer er fordelt rundt om gennemsnittet og det kan derfor være brugbart at kunne sige noget om hvor stor en procentdel der føler sig varme eller kolde. **PPD** (Predicted Percentage Dissatisfied) kan netop det. Den beregner andelen af personerne, som ikke føler sig termisk komfortable, det vil sige ikke mellem 1 og -1 på skalaen fra tabel 7. PPD bliver beregnet ud fra PMV:

$$PPD = 100 - 95 * e^{-0,03353*PMV^4 - 0,2179*PMV^2} \quad (35)$$

Som det kan ses af udtrykket, er det ikke muligt at tilfredsstille alle personer – minimum 5% vil ikke være komfortable. (ISO, 2006) har opdelt PPD i 3 kategorier, som kan ses i tabel 8. Til et åbent kontormiljø anbefaler de kategori A.

Termisk Autonomi (Levitt, Ubbelohde, Loisos, & Brown, 2013) er et indeks, som forudsiger hvor stor en procentdel af den befolkede tid, som er termisk komfortabel uden mekanisk opvarmning og køling. Indekset kan også beregnes med mekanisk opvarmning og køling og man får derved et indeks, som fortæller, hvor stor en del af tiden, et areal er termisk komfortabelt. En PPD kategori bruges til at bestemme, om tidsrummet er komfortabelt.

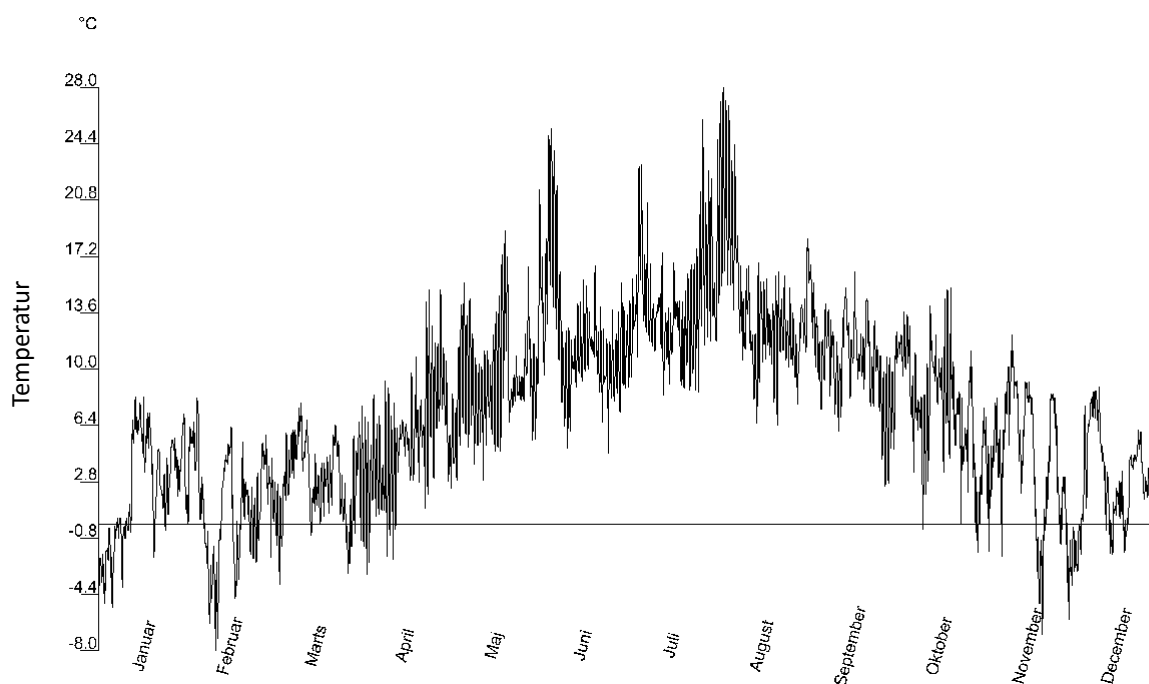
+3	Hed
+2	Varm
+1	Lidt varm
0	Neutral
-1	Lidt kølig
-2	Kølig
-3	Kold

Tabel 7: PMV skala

Kategori	PPD (%)
A	<6
B	<10
C	<15

Tabel 8: PPD kategorier

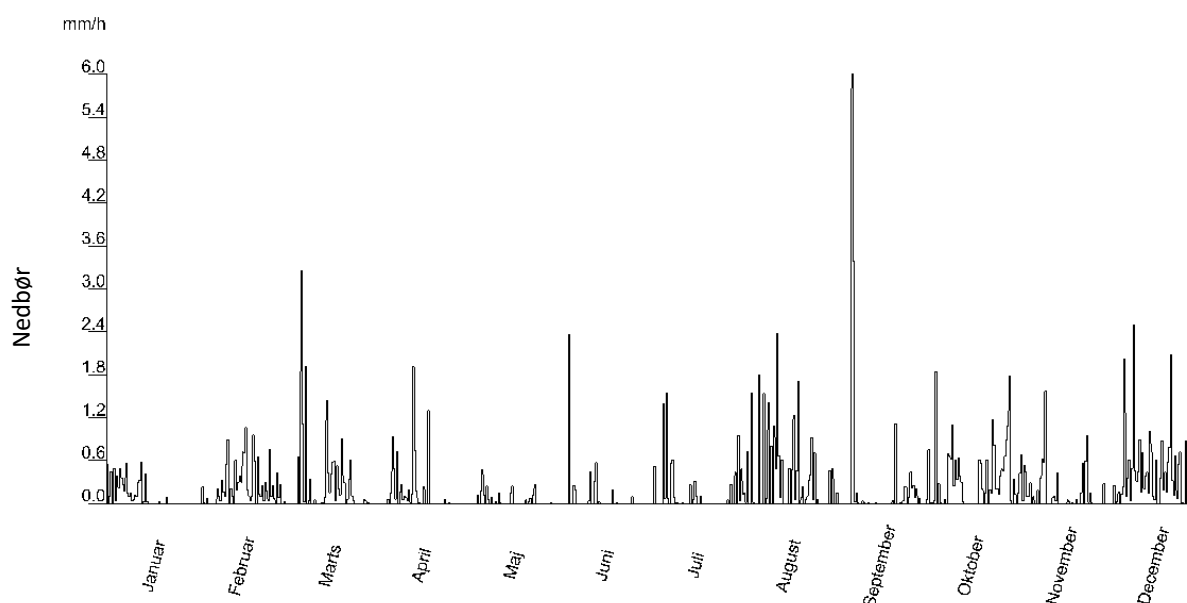
Inputdata



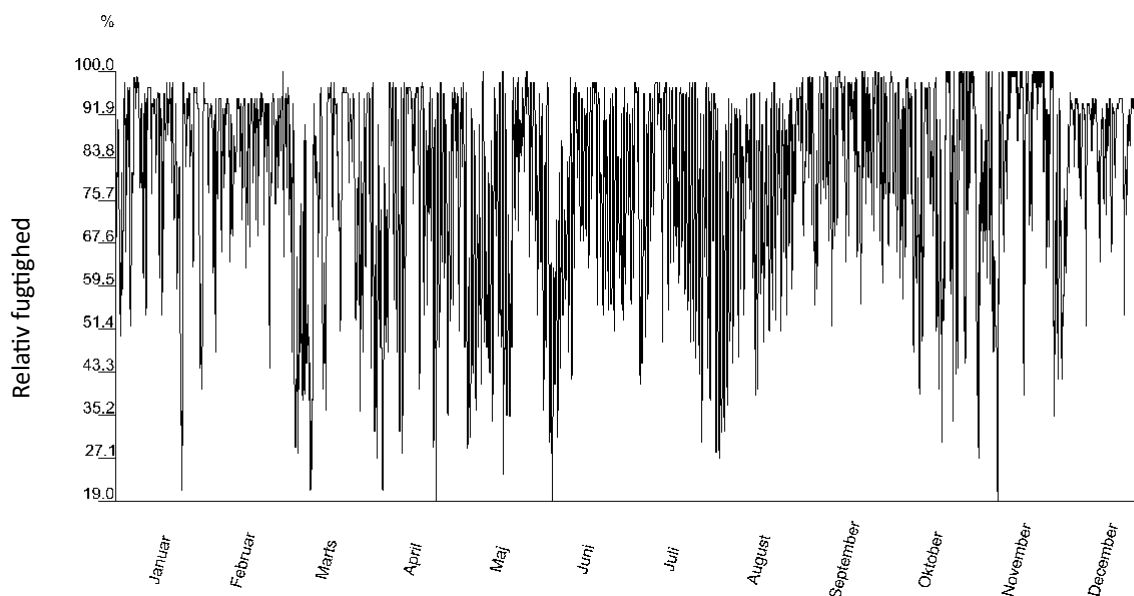
Graf 1: Ude temperatur

For at udføre simuleringerne har Delphin brug for en række data. På ydersiden af konstruktionen sættes randbetingelser for solstråling, slagregn, relativ fugtighed og temperatur. På indersiden sættes kun temperatur og relativ fugtighed. Til simuleringerne bruges vejrdata fra EnergyPlus databasen[3], der findes ingen vejrdata fra Stavanger, men i stedet bruges datasættet fra Bergen, da det vurderes, at forskellen på de to steder er maginal. I EnergyPlus datasættet findes der ikke nogen nedbørsmængder, men de hentes fra det norske metrologiske instituts database[4]. Datasættet er nedbørsmængder fra 2014, som er opgjort to gange i døgnnet. Nedbørsmængden er derfor blevet ligeligt fordelt på de mellemliggende timer.

Graf 1 viser ude temperaturen over året, i tabel 9 kan ses de månedlige gennemsnitlige temperaturer. Det viser sig, at februar og august er henholdsvis den koldeste og varmeste måned.



Graf 2: Nedbør per time over året



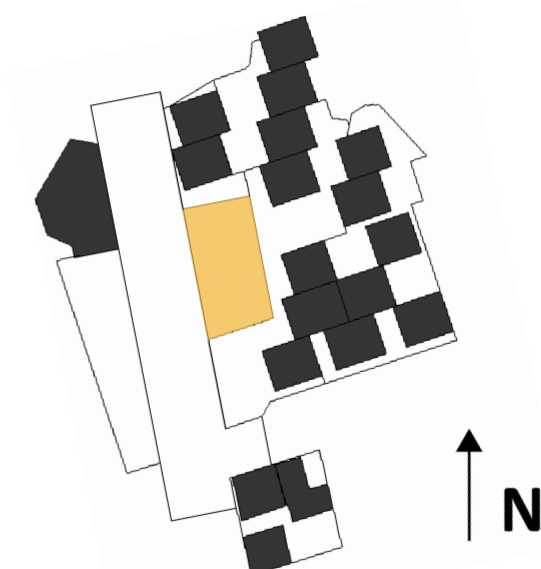
Graf 3: Udendørs relativ fugtighed



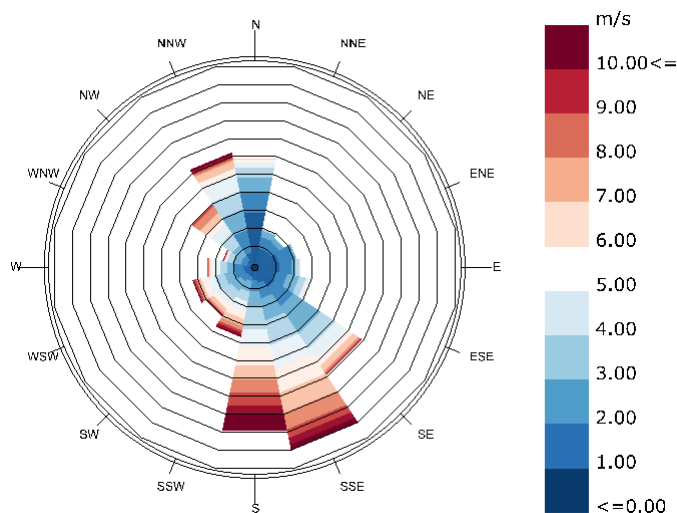
Figur 10: Årlig solstråling. Delphin for data fra det område, som ligger inde for cirklen.

Måned	Temperatur (°C)	Relativ fugtighed (%)
Januar	2,00	82,4
Februar	1,05	86,9
Marts	2,66	73,6
April	5,31	74,3
Maj	9,01	73,1
Juni	12,13	73,9
Juli	13,74	79,5
August	13,95	75,5
September	10,64	87,4
Oktober	7,53	81,4
November	4,04	82,6
December	2,78	86,0

Tabel 9: Gennemsnitsværdier for temperatur og relativ fugtighed



Figur 11: Bygningskontekst. Union Canning er markeret med gul. Omkringliggende bygninger er markeret med sort.



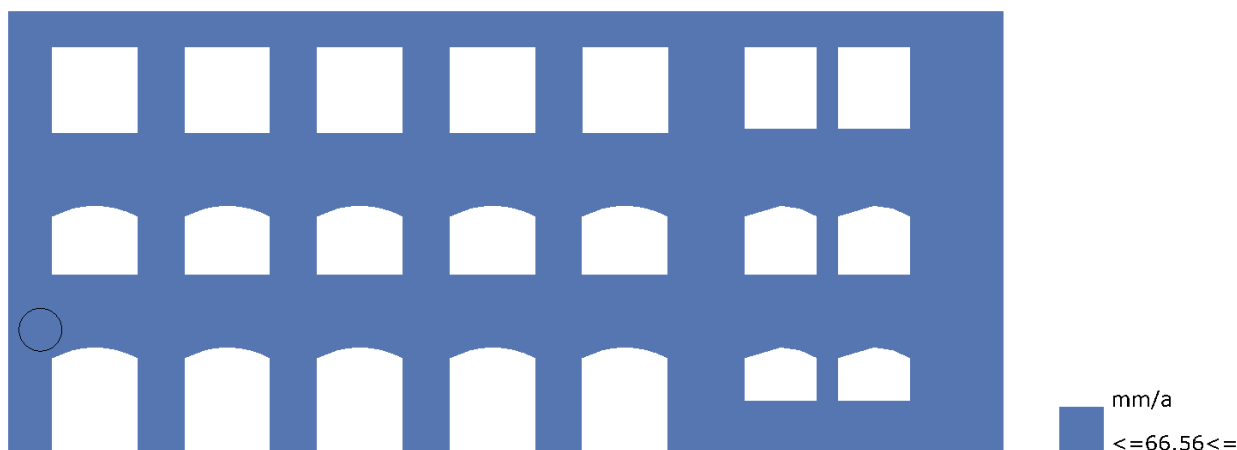
Figur 12: Vindrose. Vindstille i 4,14% af tiden = 363 timer. Hver cirkel repræsenterer en frekvens på 1,4% = 121 timer

En årlig solstrålingsmængde kan ses på figur 10 og slagregnsmængden kan ses på figur 13. Området i cirklen på figurene anses for at være blandt de kritiske for begge parametre og derfor vælges værdier derfra, som input til simuleringerne. Figur 10 viser, at solstrålingsindfaldet på facaden ikke er uniformt. Det skyldes, at bygningen nordvest for Union Canning skygger for solen noget af året. Vinddataen bruges til at bestemme slagregnen på facaden. Vindrosen viser, at vinden hovedparten af tiden kommer fra syd og sydøst. Facaden er derved beskyttet mod vinden og noget af slagregnen en god del af året.

Slagregnsværktøj

For at få et indtryk af slagregnsforholdene på facaden, er et simpelt værktøj blevet udviklet til at visualisere slagregnen på facaden. Intentionen har været at lave et værktøj, der gør det muligt at se fordelingen af slagregn på facaden, ligesom det er muligt at visualisere mængden af solstråling på facaden.

Til selve beregningen af slagregn bruges formel 18. For at kunne tage højde for "skyggeeffekt" fra omkringliggende bygninger eller et udhæng, der giver læ for eventuel slagregn, udledes et udtryk af formel 15. Det udledte udtryk angiver en vinkel med fladen, som beskriver regndråbernes indfaldsvinkel. 0 er vinkelret på fladen, og $\pi/2$ er parallelt med fladen.



Figur 13: Slagregn på vestfacaden. Delphin for data fra det område, som ligger inde for cirklen.

$$\gamma = \cos^{-1} \left(\frac{3 * c * \rho_L * V_{vind}^2 * r^2}{\sqrt{r^4 * (9 * V_{vind}^4 * c^2 * \rho_L^2 + 64 * g^2 * r^2 * \rho_v^2)}} \right) \quad (36)$$

γ er i radianer, c er en enhedsløs konstant og har værdien 0,3, V_{vind} er vindhastigheden i m/s, g er tyngdeaccelerationen = 9,81 kg/s², ρ_L er luftens densitet = 1,2 kg/m³, ρ_v er densiteten af vand = 1000 kg/m³ og r er regndråbernes radius i m. Til bestemmelse af r bruges gennemsnits størrelsen af regndråber fra (Best, 1950) ved en given nedbørsmængde.

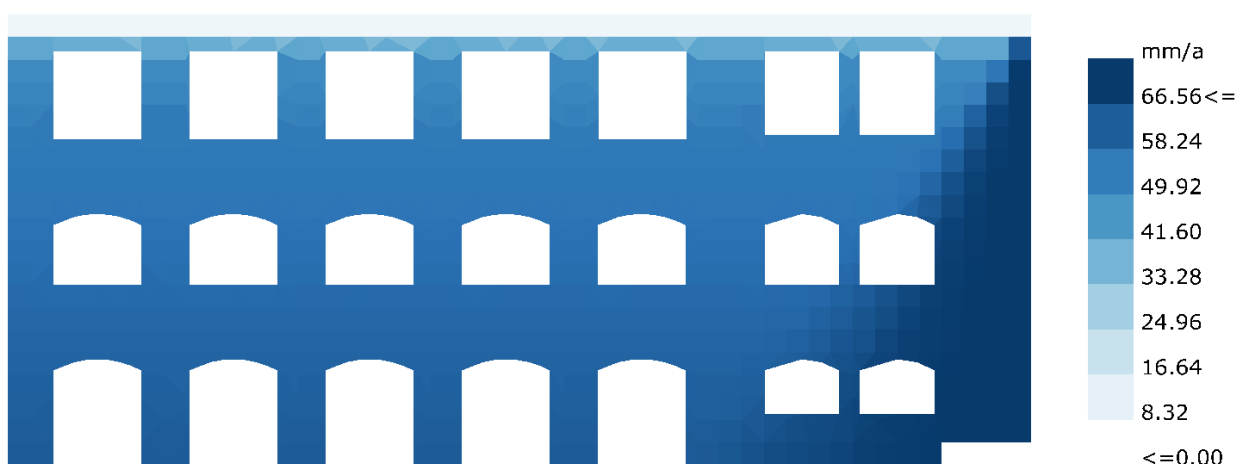
$$r = a * e^{\frac{\ln(-\ln(0,5))}{n}} * \frac{1}{1000} \quad (37)$$

$$a = A * I^p \quad (38)$$

A , p og n er enhedsløse konstanter med værdier på 1,3; 0,232 og 2,25 og I er nedbørsmængden i mm/h.

Hvis man tager en normalvektor til en flade, roterer den efter vindretningen og derefter bruger γ til at rotere den lodret, kan man tjekke, om vektoren rammer et objekt. Hvis vektoren rammer noget, vil dette give en reduktion af K_{regn} på fladen til det givne tidspunkt.

En demonstration kan ses på figur 14, hvor det demonstreres, hvordan slagregnsmængderne ville være, hvis vestfacaden havde et 2m udhæng. Udover at demonstrere værktøjet viser figuren også, at man nedsætter slagregnsbelastningen med 25% på store dele af facaden med et 2m stort udhæng.

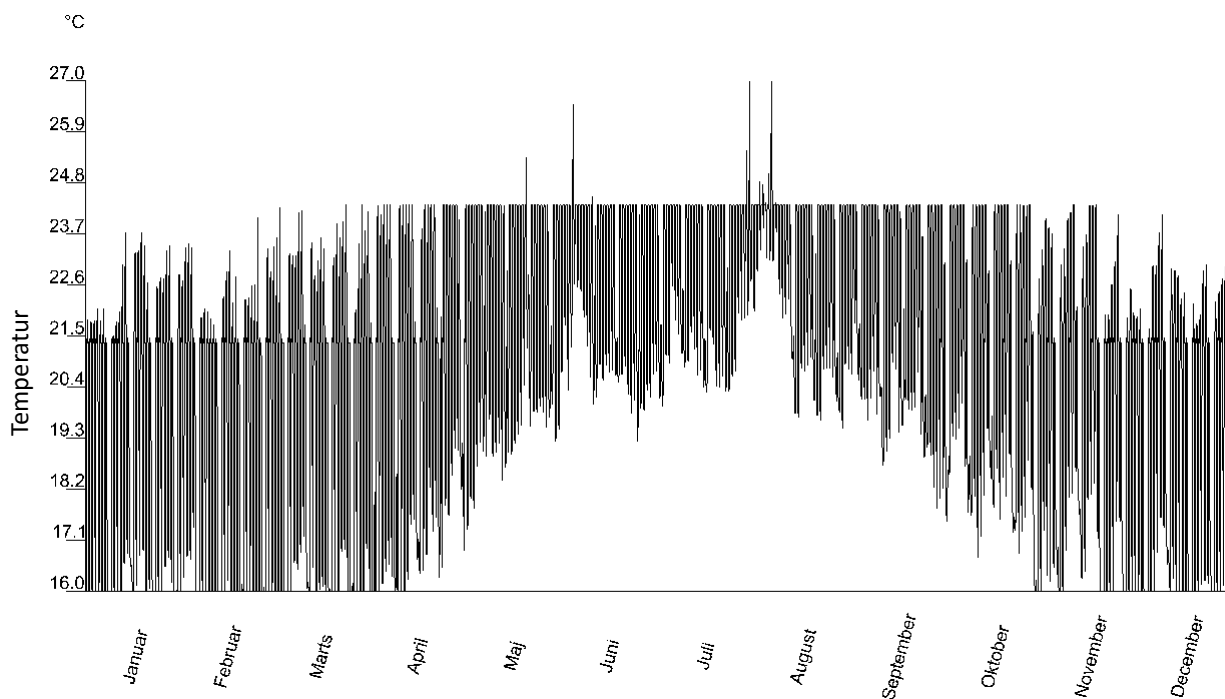


Figur 14: Nedbør på facade med 2m udhæng

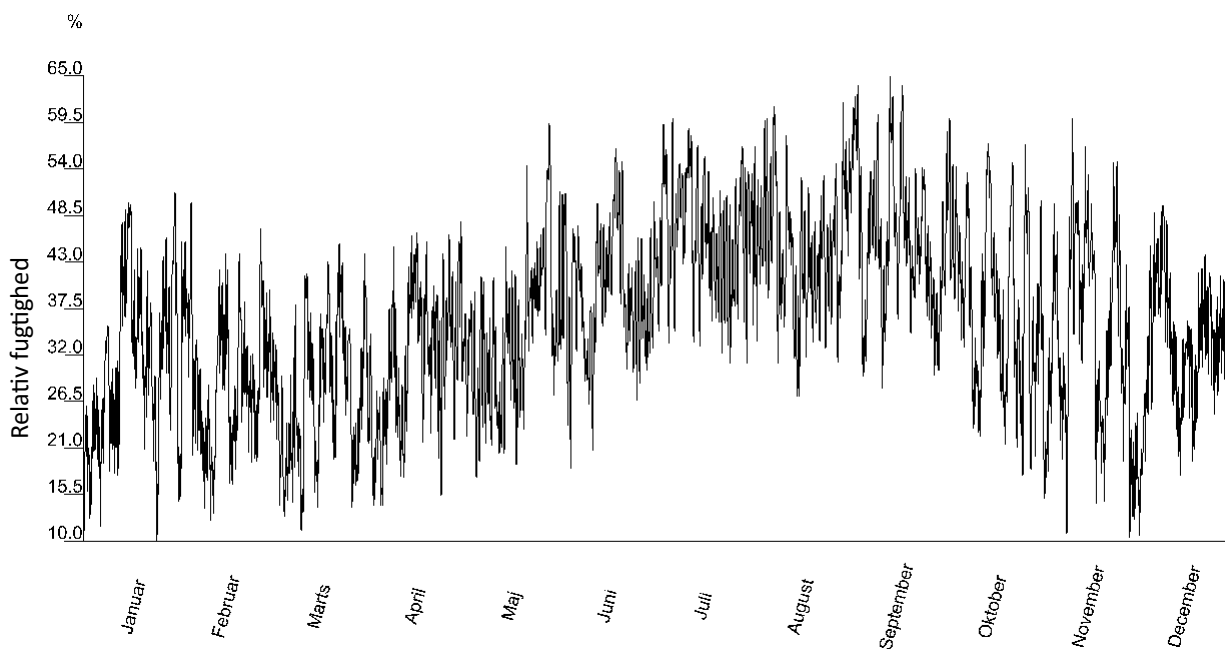
På nuværende tidspunkt er K_{regn} sat til 0,0, hvis vektoren rammer en forhindring og 0,3 hvis intet bliver ramt. I virkeligheden er K_{regn} ikke uniform over hele facaden og meget afhængig af fladens udformning og den omkringliggende kontekst. Man burde lave en CFD simulering for kunne at bestemme værdierne præcist.

Det viser sig, at der ikke er noget, der forhindrer regnen i at ramme vestfacaden, som den er nu og derfor bliver slagregns mængden ens alle steder på facaden, som det ses af figur 13.

Graf 4 og 5 viser temperatur og relativ fugtighed, som bliver brugt som grænseværdi på indersiden af konstruktionen. Værdierne stammer fra EnergyPlus. For at simplificere er hele bygningen blevet simuleret som en kontorbygning, det betyder, at det kun er i løbet af dagen, at bygningen bliver opvarmet. Derfor er der så hyppige temperaturudsving, det samme gør sig gældende for relativ fugtighed. Da der ikke er nogen mennesker i bygningen om aftenen og natten, bliver der ikke tilføjet nogen fugtbelastning.



Graf 4: Indendørs temperatur



Graf 5: Indendørs relativ fugtighed

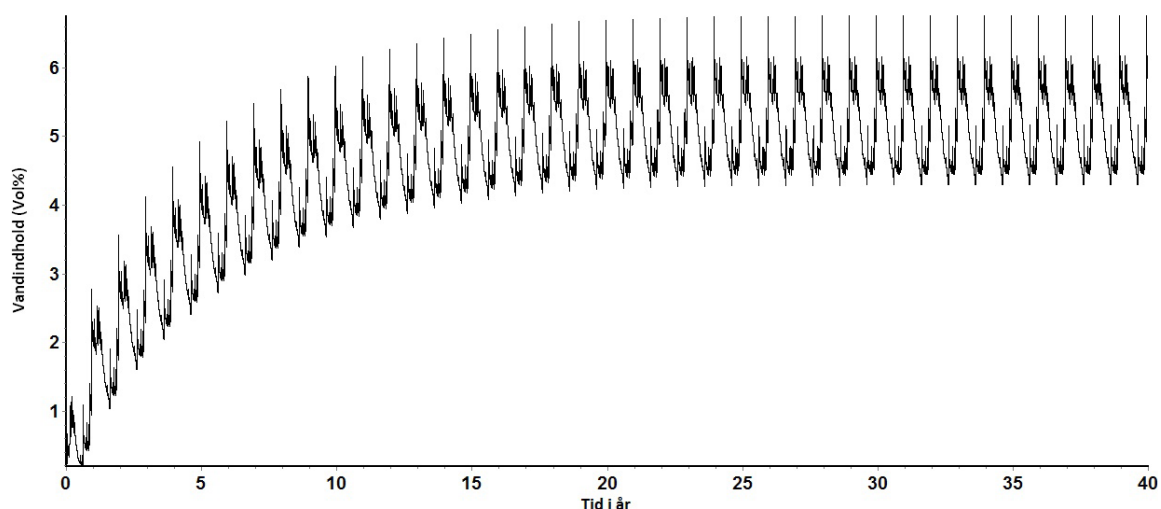
Resultater

Fugt

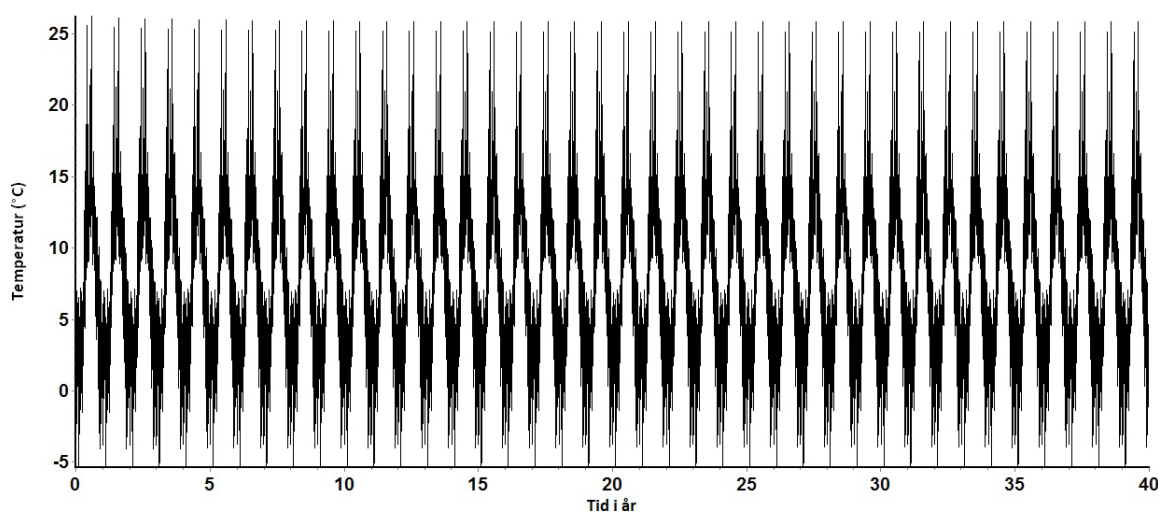
Da Delphin er et 2D værktøj, kigges der kun på et 1m højt generisk tværsnit af facaden. Der er valgt ikke at kigge på detaljer omkring vinduer, i hjørner eller etageadskillelser, selvom der potentielt er risiko for, at der er lige så kritiske eller værre steder. Konstruktionerne simuleres med en 350mm massiv teglvæg yderst og 50mm fyrretræsbeklædning inderst. Mellem tegl og træ er konstruktionerne som beskrevet i tabel 1. Union Cannings teglvæg består naturligvis ikke udelukkende af teglsten. For at simplificere simuleringerne er en massiv konstruktion valgt. Det antages, at transporten af fugt i fugen mellem murstenene, i forhold til teglen selv, ikke vil signifikant.

Konstruktionerne er blevet meshet, så mesh-felterne er finere i overgangene mellem materialerne i x retningen. Den mindste brede af et felt er sat til at være 1mm. I de konstruktioner, hvor der en luftstrøm, er udsnittet delt i 12 felter i y retningen. Det betyder at højden på hvert felt er 83,33mm.

For at få så nøjagtige simuleringer af forholdene i facaden har det været nødvendigt først at simulere forholdene i den nuværende konstruktion. Derved forsøges det at efterligne den virkelige situation, hvor den



Graf 6: Eksisterende væg - Vandindhold



Graf 7: Eksisterende væg - Temperatur

nuværende konstruktion bevares og samtidig bevares det ophobede vand- og fugtindhold også i konstruktionen. Ved en renovering vil disse forhold overføres til den nye konstruktion i de bevarede tegl.

Det antages, at Union Canning har været ubrugt de sidste mange år. Det vil sige, at bygningen ikke har været opvarmet og at der ikke har været tilføjet nogen ekstra intern fugtbelastning. Det er selvfølgelig ikke helt korrekt, men bygningen har kun været sparsomt brugt de seneste år og kun i nogle af rummene. En ren murstens konstruktion opstilles derfor med ens randbetingelser for ude og inde med hensyn til relativ fugtighed og temperatur. Dertil bruges vejrdataenes værdier. På ydersiden af konstruktionen sættes yderligere randbetingelser for slagregn og solstråling. Der simuleres indtil, at forholdene i konstruktionen kun udvikler sig med sæsonperiodiske udsving. Når der er opnået en sådan tilstand opføres værdierne for temperatur og vandindhold (volumen andelen) til den nye konstruktion, som ønskes undersøgt. Efter 40 år vurderes det at sådan en tilstand, som ønskes, er opnået.

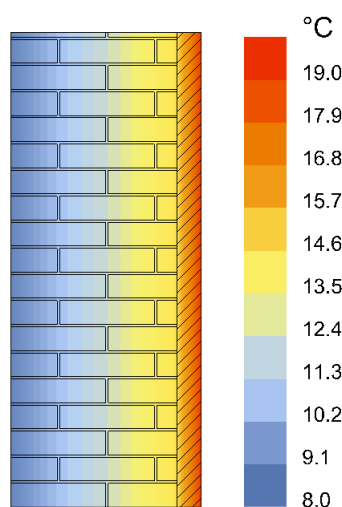
	Tegl		Isolering		Fyrretræ		Hulrum	
	Temperatur °C	Vandindhold (Vol%)	Temperatur °C	Vandindhold (Vol%)	Temperatur °C	Vandindhold (Vol%)	Temperatur °C	Relativ fugtighed (%)
Løsning 0	4,89	5,81	N/A	N/A	20	15	N/A	N/A
Løsning 1	4,89	5,81	20	1	20	15	20	26,05
Løsning 2	4,89	5,81	20	1	20	15	20	26,05
Løsning 3	4,89	5,81	20	1	20	15	20	26,03
Løsning 4	4,89	5,81	20	1	20	15	N/A	N/A

Tabel 10: Indledende fugt og temperatur forhold i konstruktionerne

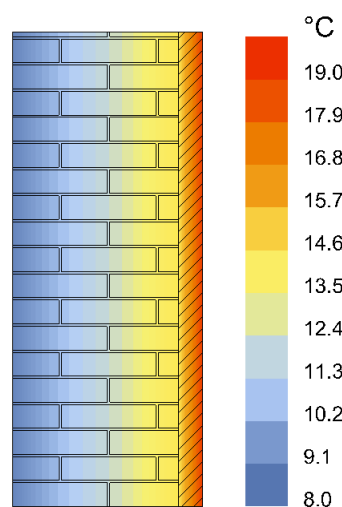
Løsning 0 og 4

Løsning 0 skal sammen med løsning 4 opfattes, som et yderpunkt for løsningsforslagene. Figur 5 viser konstruktionen, som kun er det eksisterende murværk og så 50mm fyrretræsbeklædning på indersiden. Løsningen er umiddelbart ikke aktuel på grund af det åbentlyse større transmissionstab og komfortudfordringer i forhold til de andre løsninger. Grunden til, at løsningen stadig undersøges, er, at den har den smalleste konstruktion og derved vil give bedre dagslysforhold end de tykkere vægge. De indledende temperatur- og fugtforhold til løsning 0 kan ses i tabel 10. Fugtindholdet i fyrretræet er hentet fra (Gottfredsen, 1997), hvor en standardværdi for fugtindholdet i fyrretræ er opgivet. Til simuleringen er der anvendt Delphins energi- og fugtbalance. Konstruktionen er simuleret i 5 år, for at undersøge om der sker en udvikling – primært af fugtforholdene.

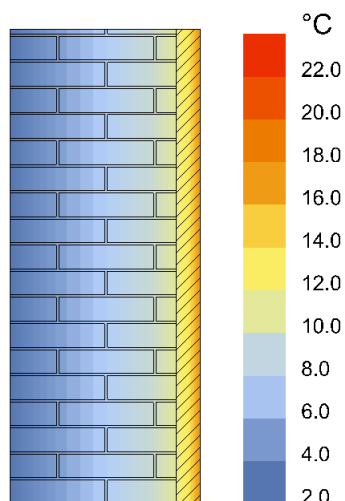
Figur 15 og 16 viser den gennemsnitlige temperatur for det første og sidste simulerede år. Som man kan se, sker der ikke en synlig udvikling af temperaturforholdene. Ifølge tabel 9, kan det ses, at den varmeste og koldeste måned i Bergen er henholdsvis august og februar. Figur 17 og 18 viser netop temperaturen i de to måneder. Som man kan se, er temperaturen i august mellem 16 og 22°C i konstruktionen og mellem 2 og 14°C i februar. Den indvendige vægtemperatur er ret lav og kan give komfortproblemer nær muren. For en uddybning, se figur 82 og afsnittet om komfort. På figur 19 og 20 ses den relative fugtighed i muren for år 1



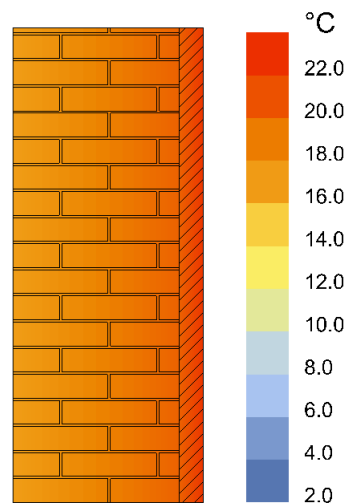
Figur 15: Løsning 0 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 1.



Figur 16: Løsning 0 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5.



Figur 17: Løsning 0 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5.

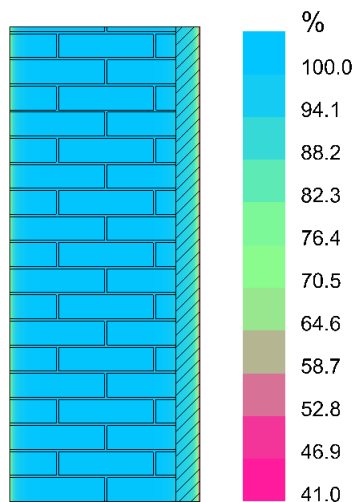


Figur 18: Løsning 0 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for august, år 5.

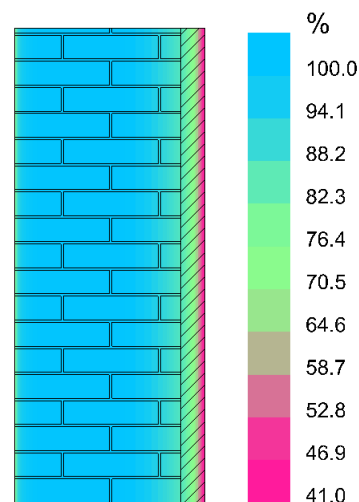
og 5. Der er ikke den store udvikling mellem de to år på nær, at den yderste fjerdedel af træbeklædningen tørrer ud til omkring 40%. Det skyldes formentlig den lavere relative fugtighed i indeluften. Der ser ikke ud til at være det store sæsonmæssige udsving på den relative fugtighed. Februar har en større andel med lav relativ fugtighed i fyrretræet. I august er den yderste del af teglkonstruktionen mere tør på grund af en større mængde sol.

Løsning 4 er det andet yderpunkt i løsningsforslagene. De indledende temperatur- og fugtforhold kan ses i tabel 10. Fugtindholdet i isoleringen kommer fra (Gottfredsen, 1997). Der bruges de samme indstillinger til simuleringen som ved løsning 0.

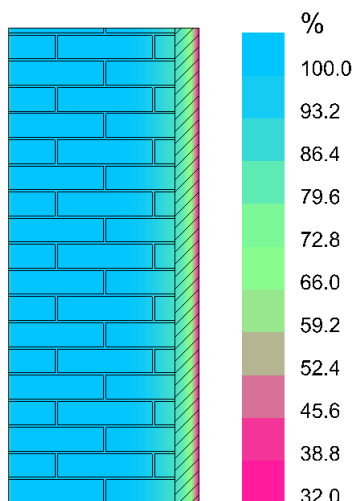
Af figur 23 og 24 kan det ses, at udviklingen af temperaturgennemsnittet er ret lille. Som forventet sker det store temperaturspring i isoleringen, hvor den yderste del af isoleringen har stort set samme temperatur som teglvæggen, mens den inderste del af isoleringen har den samme temperatur som fyrretræet og indeluften. For august måned (figur 26) kan man lige som i figur 18, se at temperaturen er høj i hele konstruktionen, mens den i februar (figur 25) er kold i de yderste dele, men formår at holde en indvendig overflade temperatur på omkring 18°C, hvilket er godt hop op ad i forhold til forholdene i løsning 0. Som i løsning 0 tørrer konstruktionen i løsning 4 ud, dog en del mere og i år fem er hele træbeklædningen tørret ud til omkring 35%. Fugtforholdene i august og februar viser, i figur 29 og 30, de samme tendenser, som ved løsning 0.



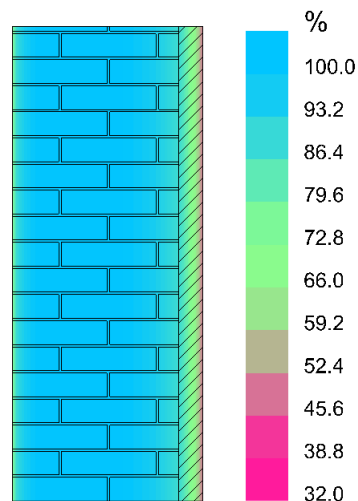
Figur 19: Løsning 0 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 1.



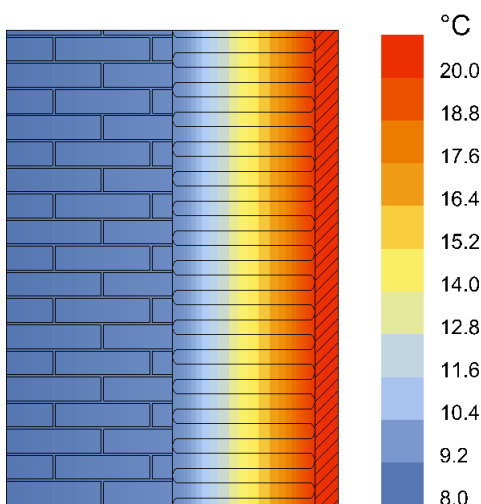
Figur 20: Løsning 0 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 5.



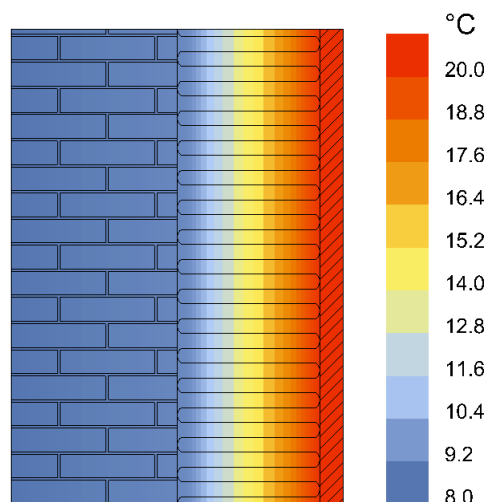
Figur 21: Løsning 0 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 1.



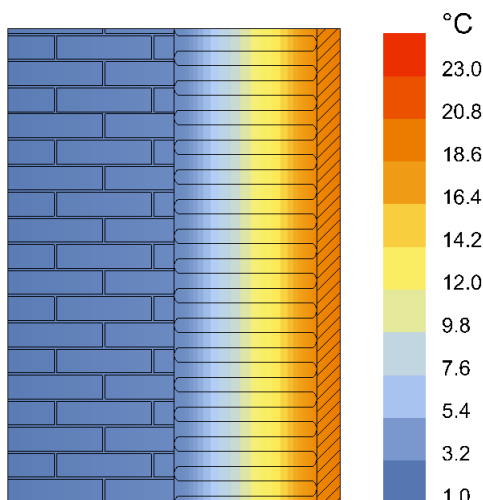
Figur 22: Løsning 0 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for august, år 5.



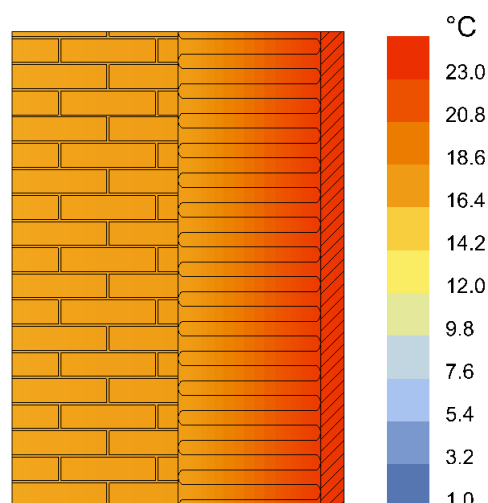
Figur 23: Løsning 4 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 1.



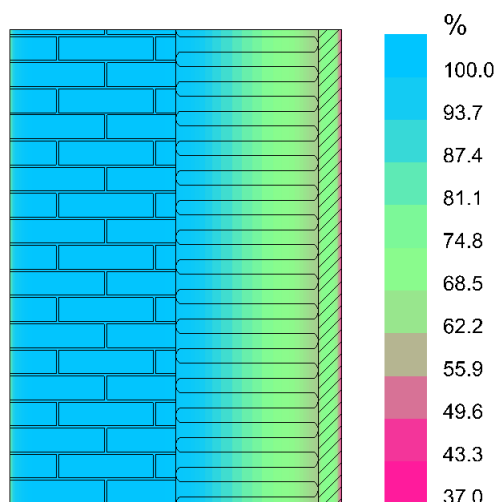
Figur 24: Løsning 4 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5.



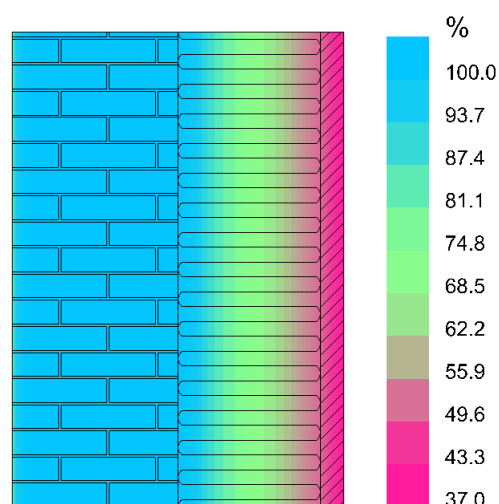
Figur 25: Løsning 4 - Månedlig temperaturgennemsnit for februar, år 5.



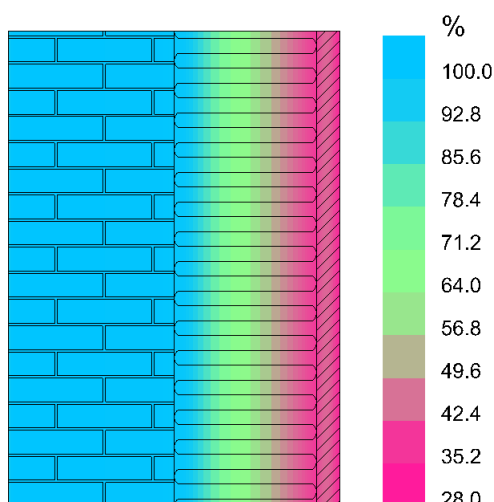
Figur 26: Løsning 4 - Månedlig temperaturgennemsnit for august, år 5.



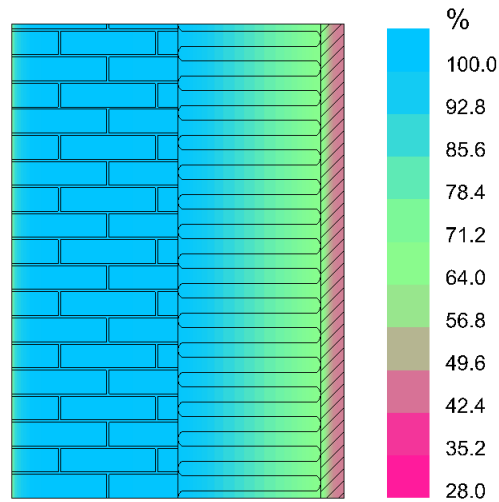
Figur 27: Løsning 4 - Årlig relativ fugtighedsgennemsnit for år 1.



Figur 28: Løsning 4 - Årlig relativ fugtighedsgennemsnit for år 5.



Figur 29: Løsning 4 - Månedlig relativ fugtighedsgennemsnit for februar, år 5.



Figur 30: Løsning 4 - Månedlig relativ fugtighedsgennemsnit for august, år 5.

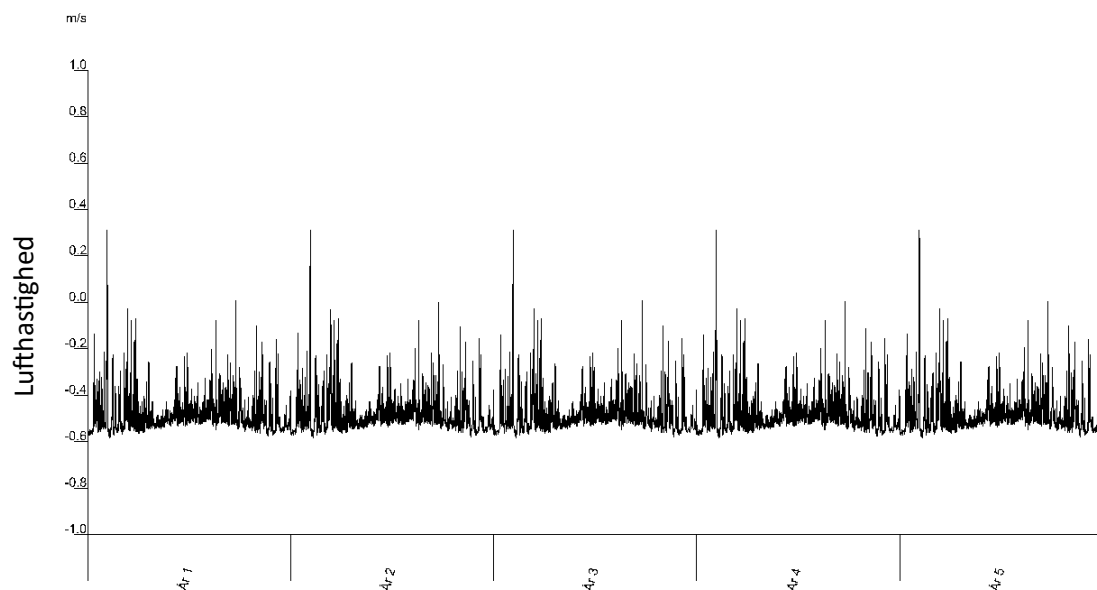
gen 0: i februar er det inderste af konstruktionen tørreste og der sker en opfugtning hen mod sommeren.

Lufthastigheder i hulrummene

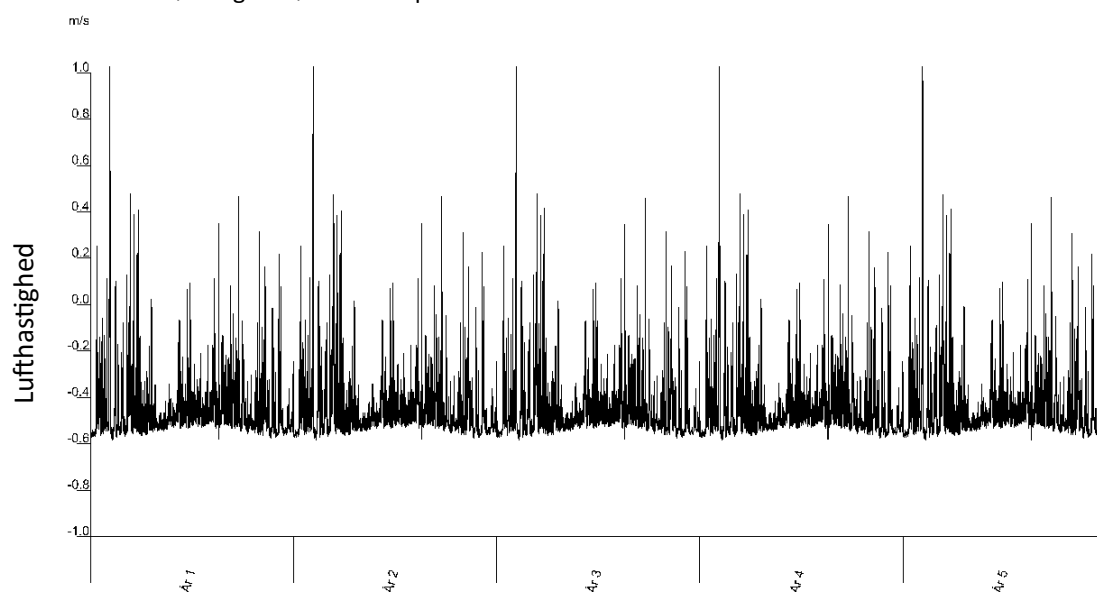
Til de konstruktioner med hulrum er der udover Delphins energi- og fugt balance også brugt luftstrømsmodel med opdrift og tyngdekraft. Med luftstrømsmodellen er det muligt at have en luftstrøm med i beregningerne. Til beregning af lufttryk i hver ende af hulrummet bruges formel 21 og anvendte konstanter til løsning 1-3 kan ses i tabel 11. Delphin kan også vise forskellige data om luftstrømmen. I graf 8-10 ses lufthastighederne i hulrummene for løsning 1-3. Positiv er en luftstrøm nedad. Som man kan se ud af formel 23 og 24 er differensen mellem h_1 og h_2 , en af de drivende kræfter til at skabe en luftstrøm gennem hulrummet. Løsning 2 og 3 har den samme højdeforskel, mens løsning 1 har en højdeforskel, som er noget lavere. Ud fra graf 8-10 kan man se, at løsning 1 har en lavere lufthastighed end de to andre. Der er dog ikke den store forskel mellem løsning 1 og 2, bortset fra at løsning 2 har nogle større udsving. Løsning 3 er den løsning med den største hastighed. Det interessante er, så om det medfører bedre fugtforhold i konstruktionen.

Løsning 1-3

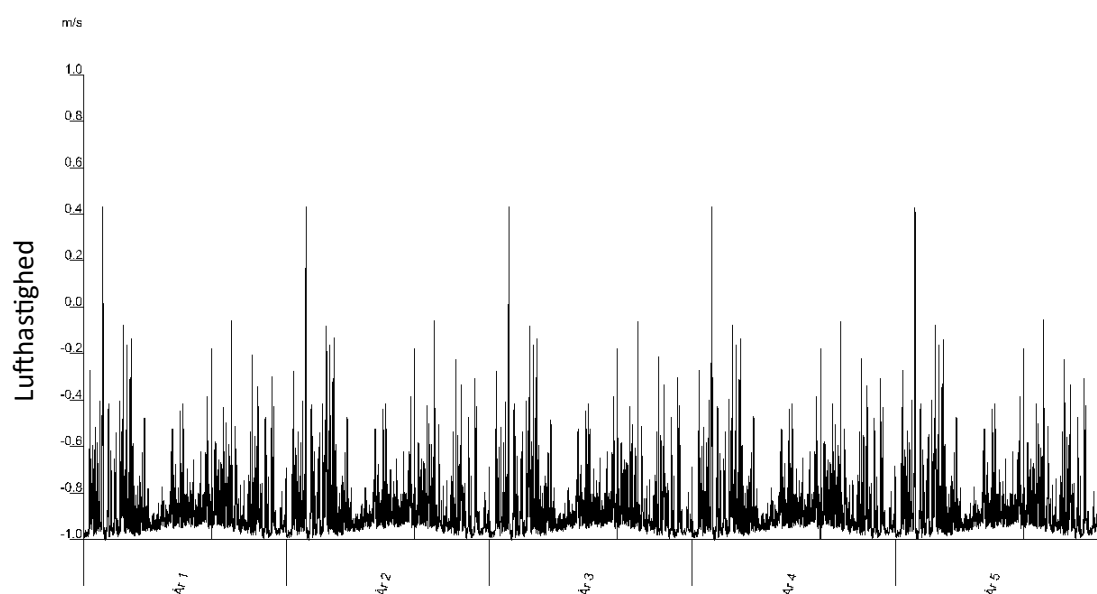
Når man kigger på resultatfigurerne af løsning 1-3, ser man de samme tendenser som ved løsning 0 og 4. Der ser ikke ud til at være nogen årlig temperaturudvikling af betydning mellem år 1 og 5. Temperaturen i



Graf 8: Løsning 1 - Tør lufttransport i hulrummet.

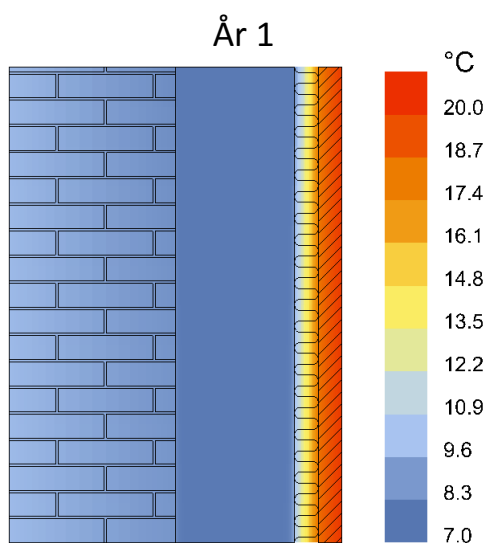


Graf 9: Løsning 2 - Tør lufttransport i hulrummet.

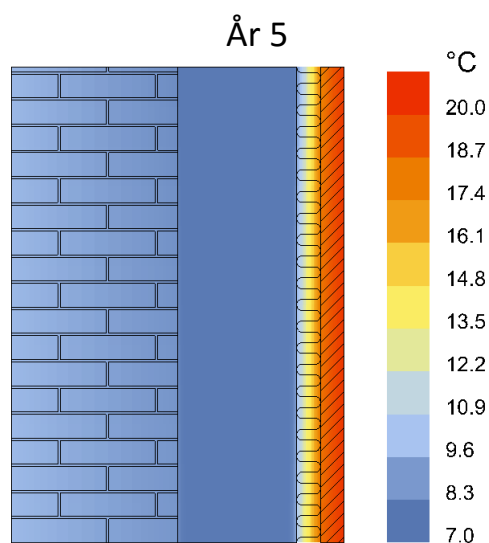


Graf 10: Løsning 3 - Tør lufttransport i hulrummet.

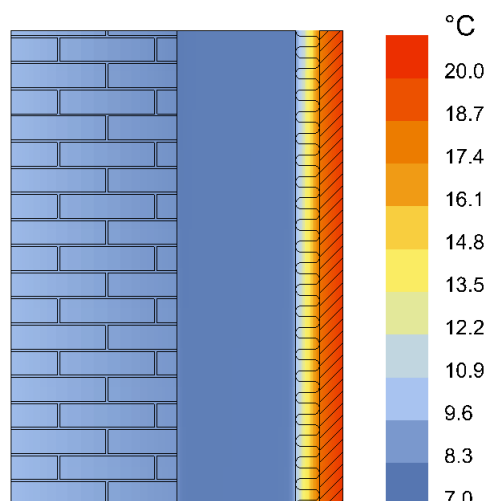
Løsning 1-3 - Temperatur - Årligt gennemsnit



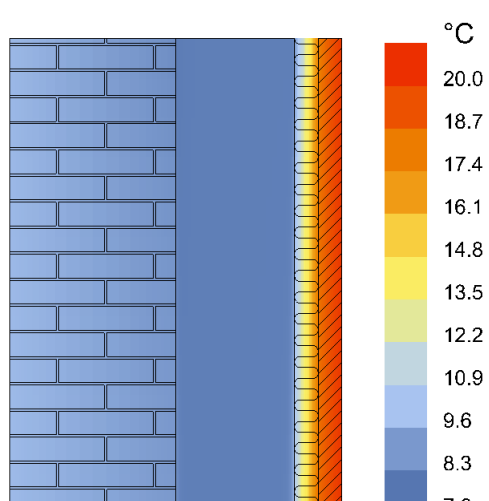
Figur 32: Løsning 1 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 1



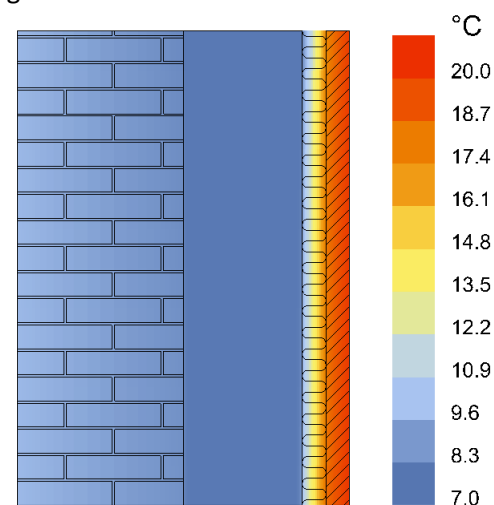
Figur 31: Løsning 1 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5



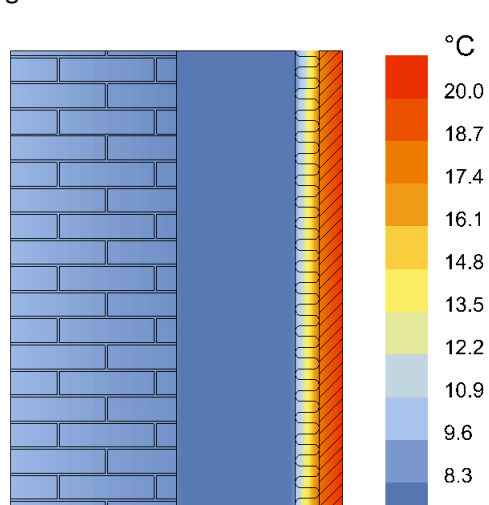
Figur 33: Løsning 2 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 1



Figur 34: Løsning 2 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5

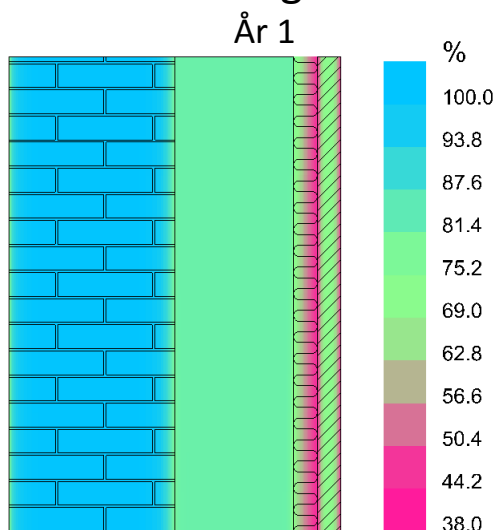


Figur 35: Løsning 3 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 1

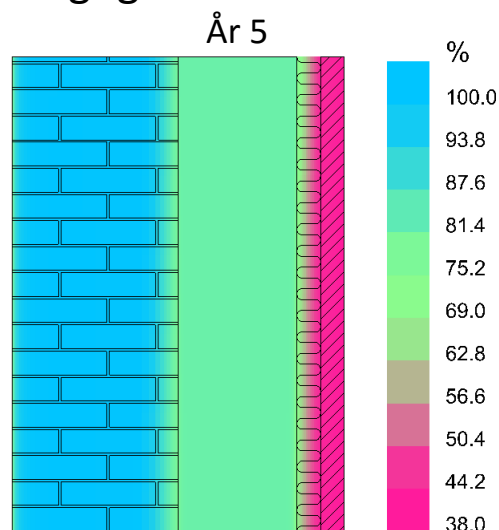


Figur 36: Løsning 3 - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5

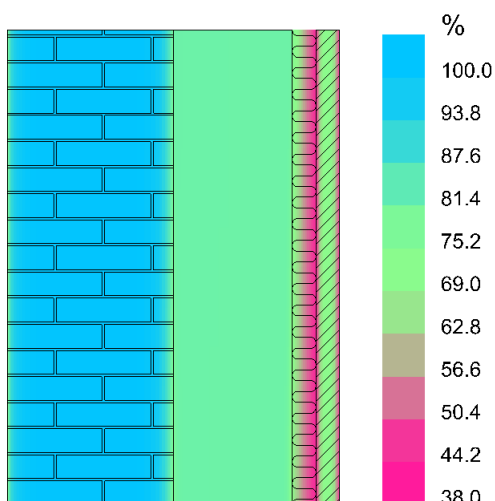
Løsning 1-3 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit



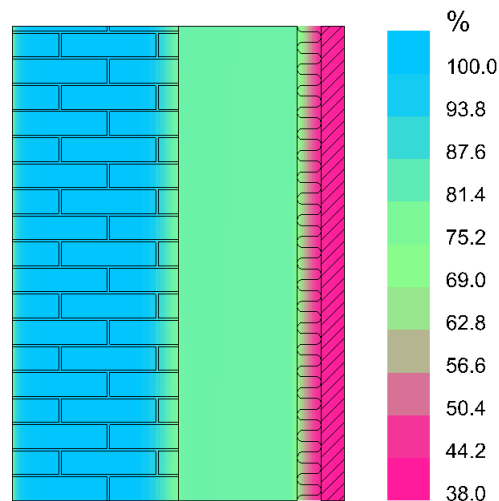
Figur 37: Løsning 1 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 1



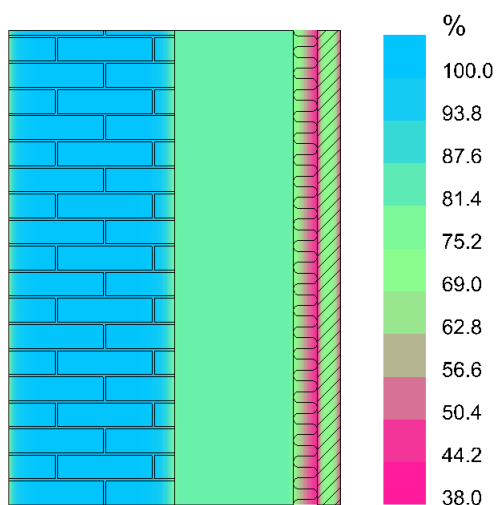
Figur 38: Løsning 1 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 5



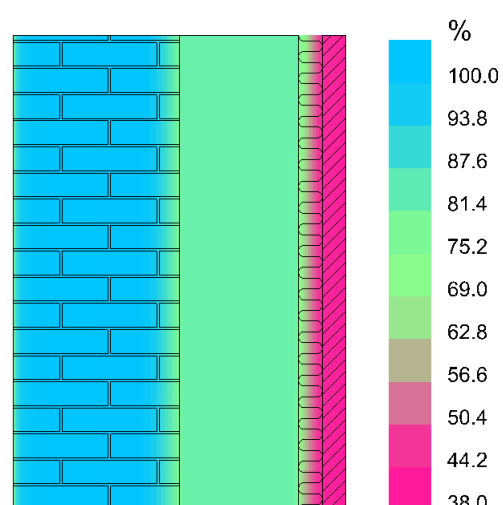
Figur 39: Løsning 2 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 1



Figur 40: Løsning 2 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 5



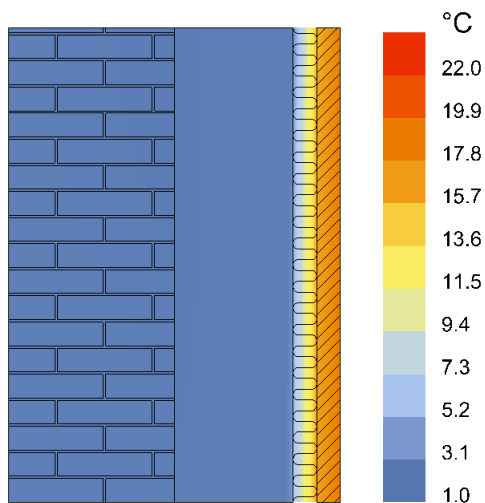
Figur 41: Løsning 3 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 1



Figur 42: Løsning 3 - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 5

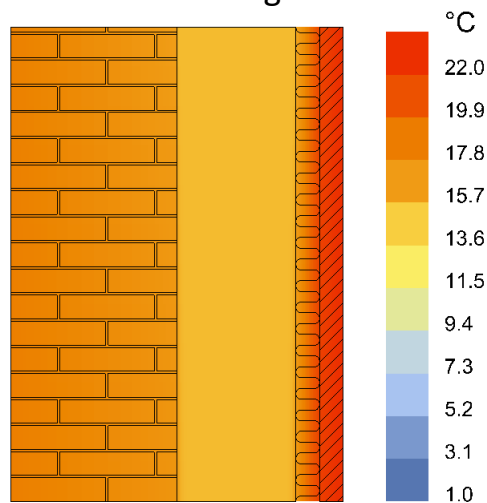
Løsning 1-3 - Temperatur - Månedligt gennemsnit

Februar

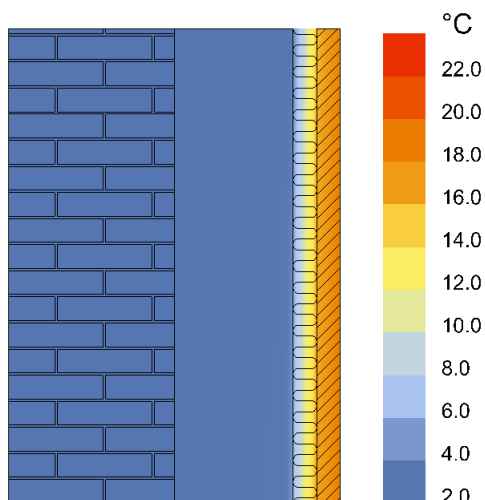


Figur 43: Løsning 1 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5

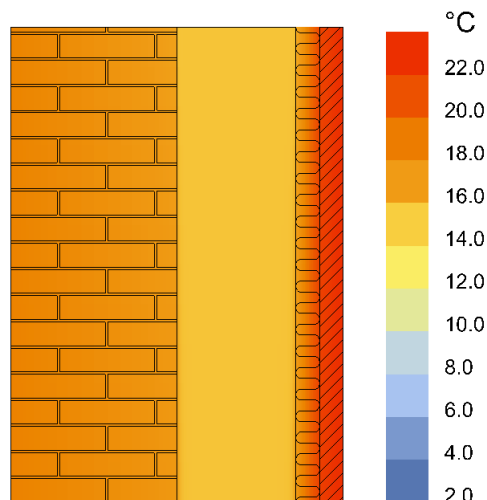
August



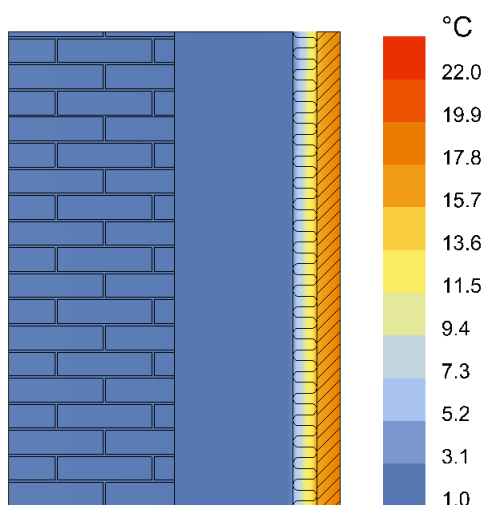
Figur 44: Løsning 1 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



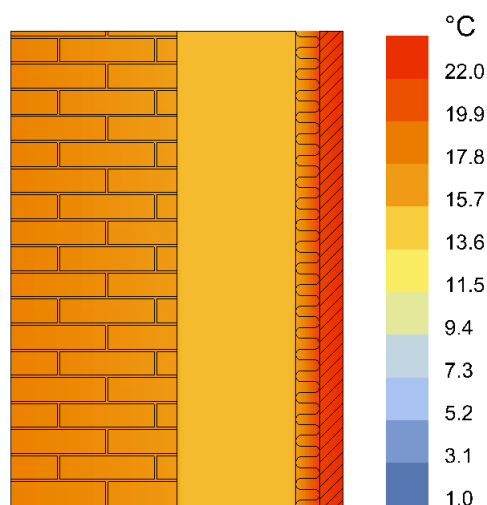
Figur 45: Løsning 2 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



Figur 46: Løsning 2 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5

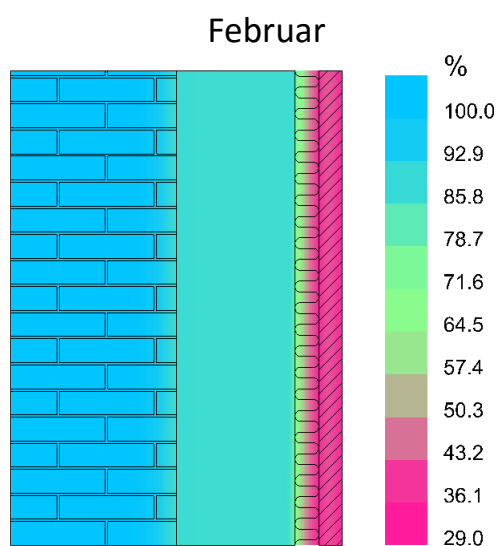


Figur 47: Løsning 3 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5

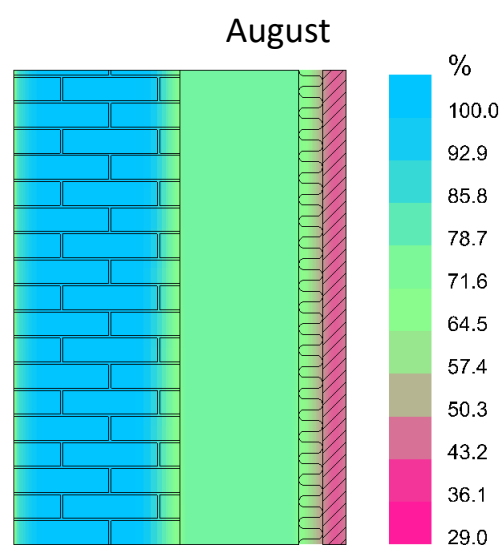


Figur 48: Løsning 3 - Temperatur - Månedligt gennemsnit for februar, år 5

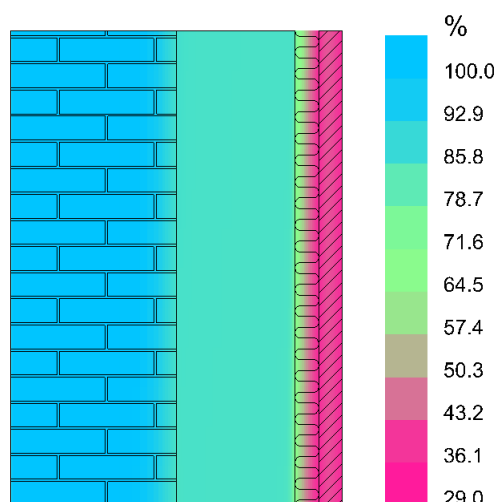
Løsning 1-3 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit



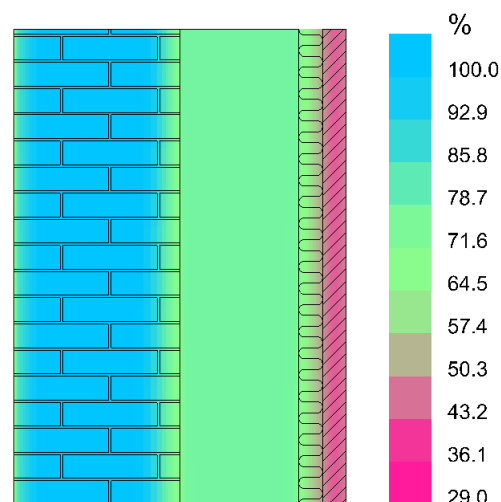
Figur 49: Løsning 1 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



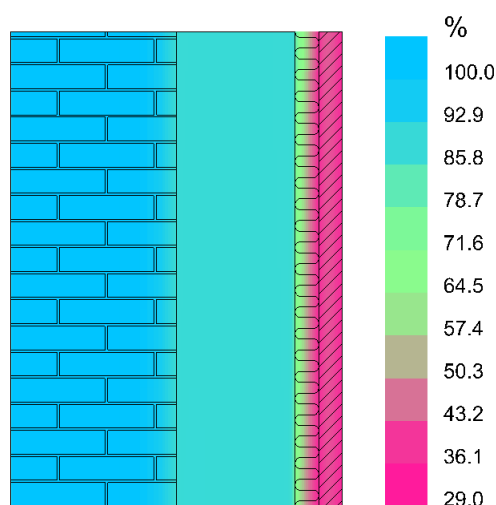
Figur 50: Løsning 1 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



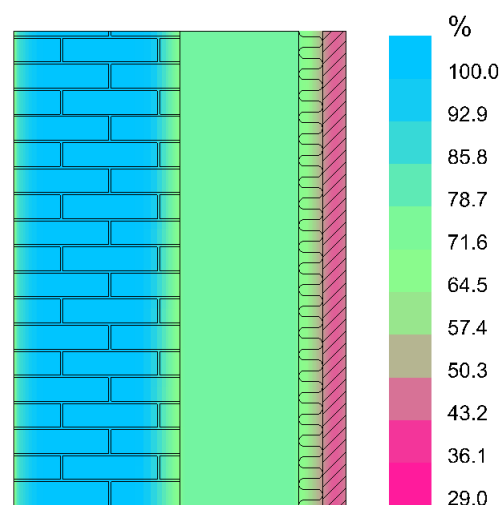
Figur 51: Løsning 2 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



Figur 52: Løsning 2 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



Figur 53: Løsning 3 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5



Figur 54: Løsning 3 - Relativ fugtighed - Månedligt gennemsnit for februar, år 5

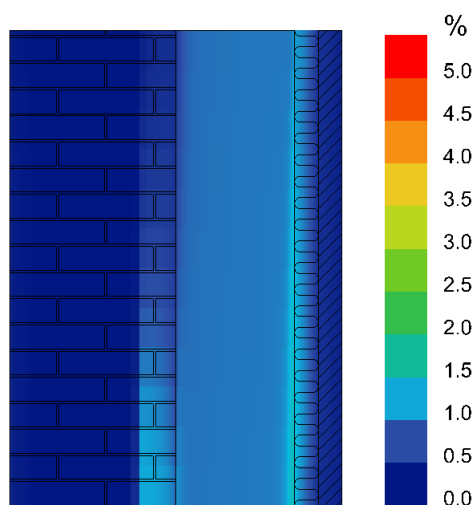
	Areal (m ²)	h ₁ (m)	h ₂ (m)	P _{i, mek} (Pa)
Løsning 1	0,0195*	0,07	2,93	5
Løsning 2	0,0195*	0,07	10,34	5
Løsning 3	0,0195*	0,07	10,34	-

Tabel 11: Værdier til trykberegning. *Anvendt rist kan ses i bilag VIII

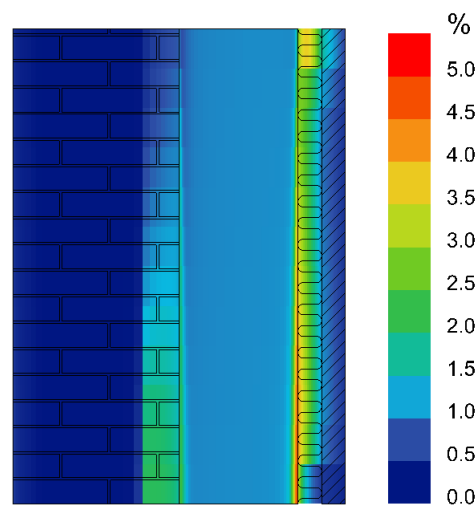
fyrretræsbeklædningen ligger mellem 17 og 20°C og har dermed næsten lige så høj som løsning 4. Den årlige gennemsnitlige relative fugtighed i fyrretræet minder også om løsning 4 og ligger lidt under de 40% i år 5. Indersiden af teglvæggen, som støder op til hulrummet, har også en lavere relativ fugtighed end resten af teglen, hvilket tyder på, at skimmeludviklingen har sværere ved at udvikle sig her end i løsning 4. Hvis man kigger på temperaturen i februar og august ser man nogle af de samme tendenser som ved løsningen 4. I februar er teglvæggen helt igennem kold sammen med hulrummet, mens træbeklædningen beholder en temperatur et par grader mindre end løsning 4 omkring 16°C. I august er træbeklædningen selvfølgelig varmere, men på grund af luftstrømmen i hulrummet ser indersiden af teglvæggen faktisk ud til at være et par grader koldere end ydersiden.

Fordi forskellene mellem løsninger 1-3 ikke er så tydelige i figurene 32-42, er der lavet nogle sammenligninger, som kan ses på figur 55-58. Figurene viser den procentvise forskel mellem løsning 1 og 2 og løsning 3 og 2. Figurene kan ses som en visualisering af spørgsmålet: "Hvor mange procent er værdierne i løsning 2 lavere end i løsning 1 eller 3?". Her bliver forskellene tydelige at se, men det viser også, hvorfor man ikke har, kunne se forskellene før, da de er ret små – under 10%.

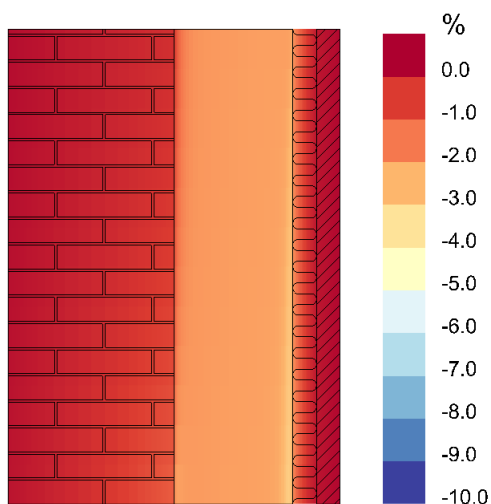
Hvis man kigger på figurene (55 og 56) for temperaturforskellen, går skalaen fra 0 til -10, hvilket så betyder, at nogle steder er temperaturen i løsning 2 faktisk højere end i løsning 1 og 3. I sammenligningen mellem 1 og 2 er det stort set kun i hulrummet, man ser en temperaturforskel. I det meste af hulrummet er løsning 2 omkring 2% højere. Omkring overfladen på den nederste del af isoleringen, som vender ud mod hulrummet, er der en større temperaturforskel på omkring de 5%. Der er lidt større forskel mellem løsning 2 og 3, noget der formentlig skyldes, at løsning 3 trækker udeluft ind igennem hulrummet. Her er det på begge sider af hulrummet, der er en temperaturforskel, den største på overfladen af isoleringen - cirka 10%. Igen ses det, at temperaturen i den nederste del af udsnittet er højere i løsning 2, som faktisk her i sammenligningen mellem 2 og 3 spreder sig lidt ud i teglvæggen. Forskellene i de relative fugtigheder følger tendenserne fra temperaturforskellene meget godt. Hulrummet er lidt mere fugtigt i løsning 1 og 3, mens teglen og træet har den samme relative fugtighed i alle tre. Den største forskel er i isoleringen på løsning 3, som har mellem 2 og 5 procent højere relativ fugtighed. I begge sammenligninger er det primært i den nederste halvdel af udsnittet de største forskelle optræder. Man kunne derfor i et videre studie undersøge hele facaden, for at



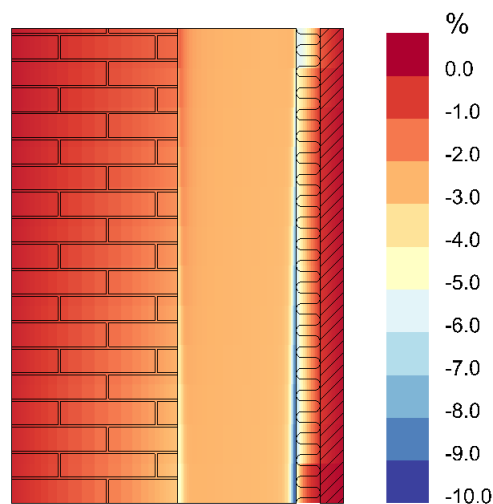
Figur 55: Relativ fugtighed - Forskel på år 5 mellem løsning 1 og 2



Figur 56: Relativ fugtighed - Forskel på år 5 mellem løsning 3 og 2



Figur 57: Temperatur - Forskel på år 5 mellem løsning 1 og 2



Figur 58: Temperatur- Forskel på år 5 mellem løsning 3 og 2

se om denne forskel mellem top og bund i et vilkårligt udsnit er så stort eller om det primært er et fænomen der opstår omkring ind- og udgangen. I samme note kan man spørge sig selv om meshet omkring ind- og udgangen ikke burde være finere for at få en mere gradvis overgang mellem felterne.

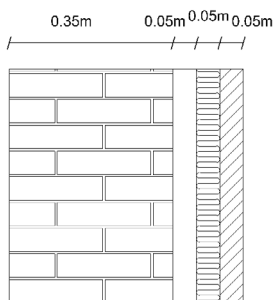
På sammenligningerne kan man se, at løsning 2 holder en højere temperatur og en lavere fugtighed end de to andre løsninger gennem konstruktionen. Det skal samtidig bemærkes, at de absolutte temperaturforskelle er ret små og ligger under 1°C i hulrummet. Den faktiske relative fugtigheds forskel er lidt mere betydelig, men stadig under 5 procentpoint lavere. På baggrund af disse delresultater er der valgt at gå videre med løsning 2, som udgangspunkt for nogle variationer af bredden på hulrummet og isoleringen.

Variationer

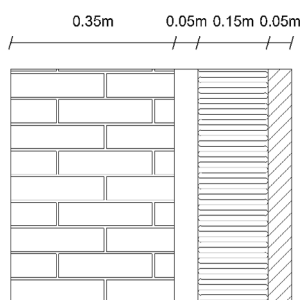
Der undersøges 6 variationer af løsning 2. Hulrummets og isoleringens brede varieres i spring af 100mm. Bredderne for de forskellige variationer kan ses i tabel 12. Først kigges der på en variation, hvor de 50mm

	Mursten (mm)	Hulrum (mm)	Isolering (mm)	Træbeklædning (mm)	Samlet (mm)
Løsning 2	350	250	50	50	700
Uden isolering	350	300	0	50	700
Variation 1	350	50	50	50	500
Variation 2	350	50	150	50	600
Variation 3	350	50	250	50	700
Variation 4	350	150	50	50	600
Variation 5	350	150	150	50	700

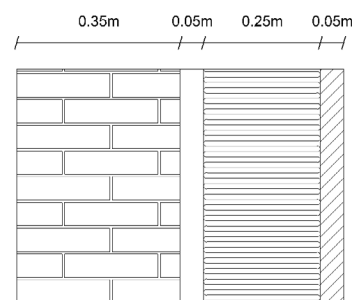
Tabel 12: Variationer af løsning 2



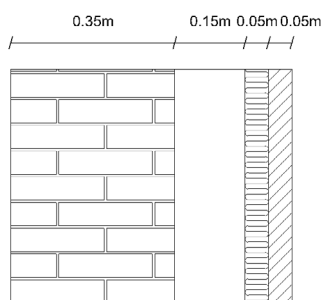
Figur 59: Dimensioner - Variation 1



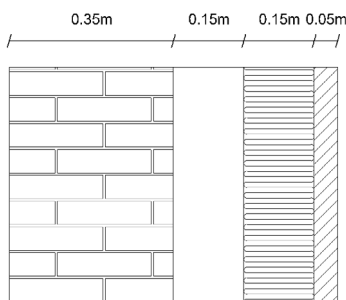
Figur 60: Dimensioner - Variation 2



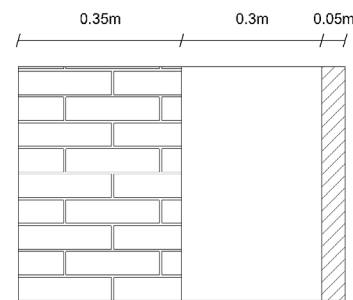
Figur 61: Dimensioner - Variation 3



Figur 64: Dimensioner - Variation 4



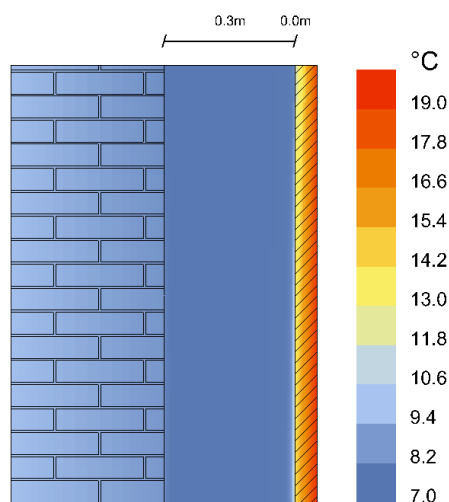
Figur 65: Dimensioner - Variation 5



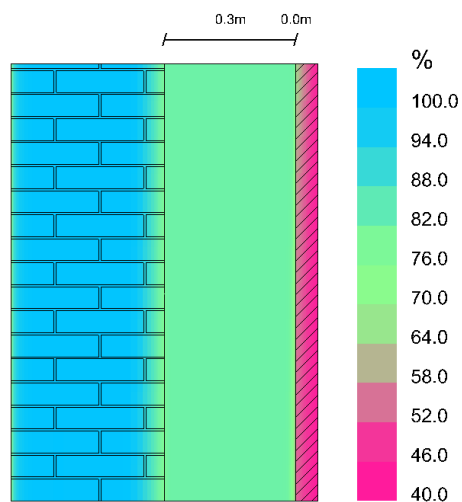
Figur 66: Dimensioner - Løsning 2 uden isolering

isolering bliver udskiftet med et tilsvarende bredere hulrum. Det ses tydeligt på figur 62, at konstruktionen helt ind til træbeklædningen er kold og hele temperaturspringet sker i fyrretræet. Man kan også se, at den indvendige overfladetemperatur af træet ikke når helt så højt op, som ved nogle af de andre variationer. Den relative fugtighed ligner meget de andre konstruktioner, men har lidt højere værdier i træet. Generelt viser figurerne 62-76, de samme tendenser som løsning 1-3, både i forhold fordelingen af temperatur og relativ fugtighed igennem konstruktionen, men også at der er forskel på top og bund i udsnittet. Variation 2, 3 og 5 skiller sig lidt ud ved at have en anelse højere overfladetemperatur på fyrretræet end de andre variationer og løsninger. Det giver også udslag i en lidt lavere relativ fugtighed i fyrretræet. I variationen 3, en meget stor forskel på, hvor dybt ind i isoleringen der er varmt, hvilket også giver forskel i den relative fugtighed i isoleringen. Som tidligere skrevet vil det være værd at undersøge dette fænomen på et udsnit af hele facaden, da det gør sig gældende i alle løsningsforslagene, men er mest tydelig i de konstruktioner med mest isolering. Man kan se, at variation 3 og løsning 2 uden isolering har en lidt dybere blå farve i hulrummet, og dermed også en lidt lavere temperatur der, end de andre variationer.

Variationerne beskrives videre i forhold til deres egenskaber i afsnittene om skimmelsvamp, energi og komfort.

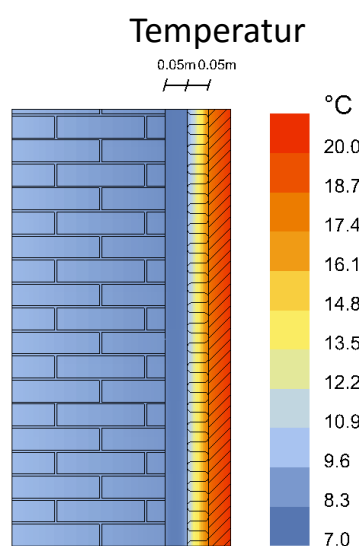


Figur 62: Løsning 2 uden isolering - Temperatur - Årligt gennemsnit for år 5

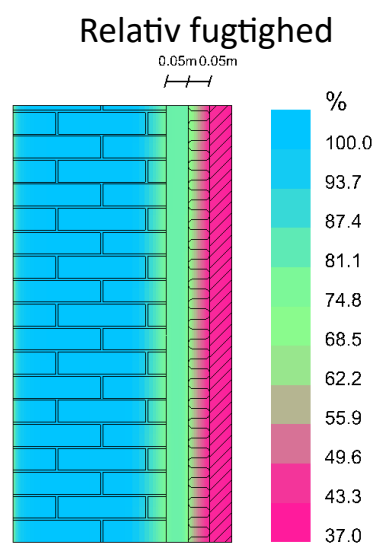


Figur 63: Løsning 2 uden isolering - Relativ fugtighed - Årligt gennemsnit for år 5

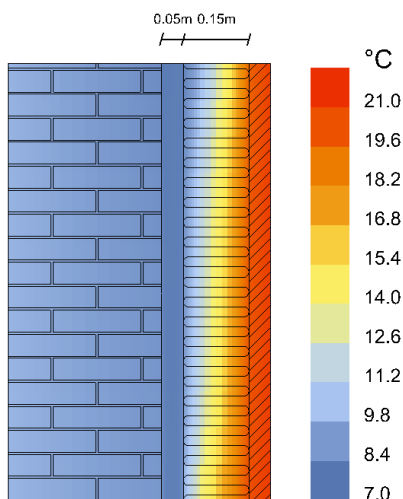
Variationer



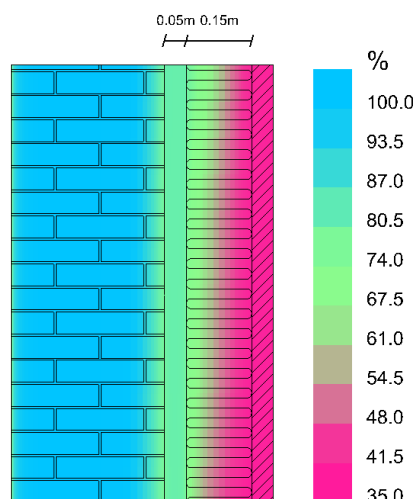
Figur 69: Variation 1 - Temperatur -
Årligt gennemsnit for år 5



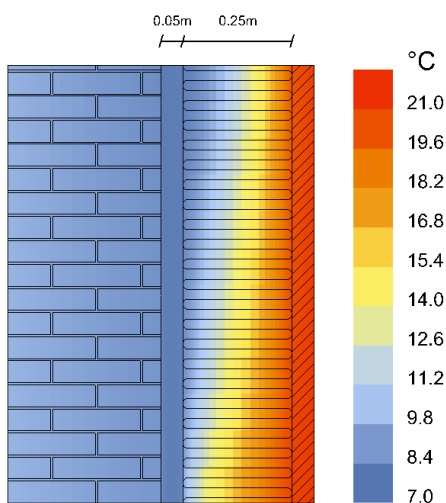
Figur 70: Variation 1 - Relativ fug-
tighed - Årligt gennemsnit for år 5



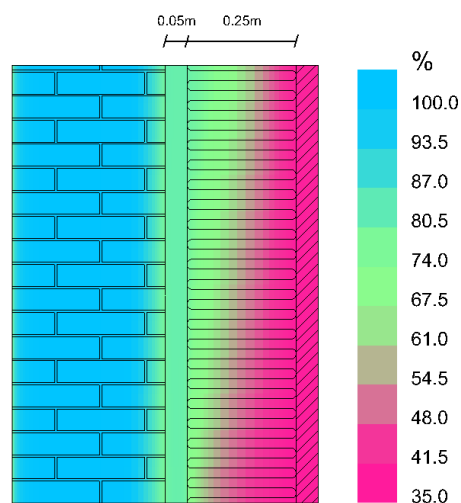
Figur 71: Variation 2 - Tempera-
tur - Årligt gennemsnit for år 5



Figur 72: Variation 2 - Relativ fug-
tighed - Årligt gennemsnit for år 5



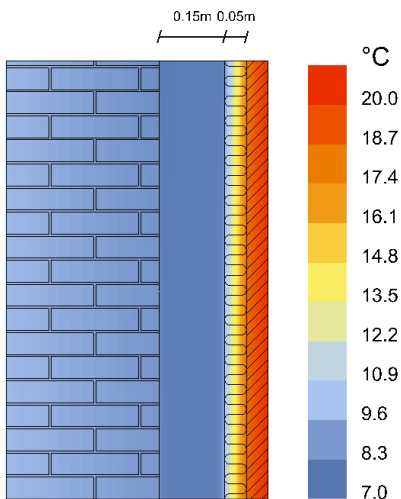
Figur 67: Variation 3 - Temperatur -
Årligt gennemsnit for år 5



Figur 68: Variation 3 - Relativ fug-
tighed - Årligt gennemsnit for år 5

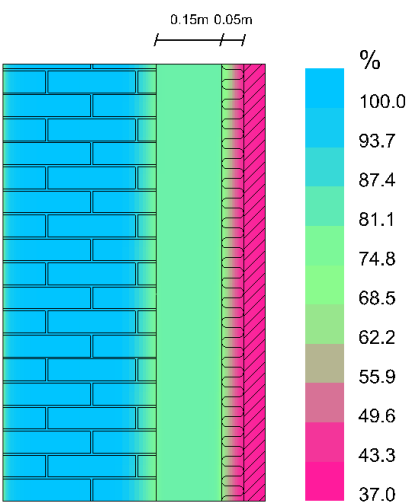
Variationer

Temperatur

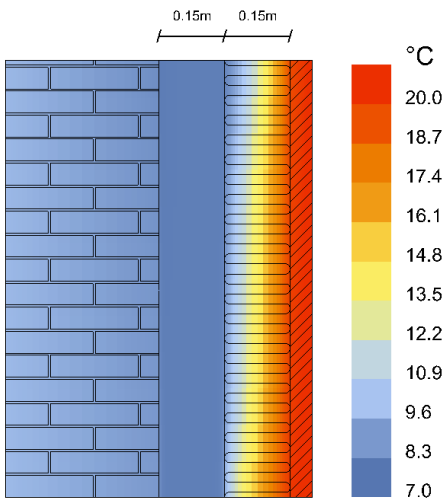


Figur 73: Variation 4 - Temperatur -
Årligt gennemsnit for år 5

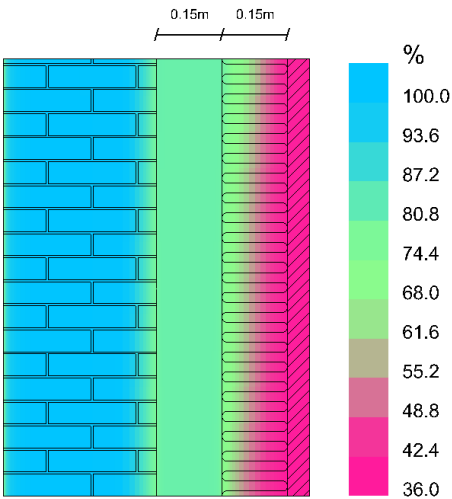
Relativ fugtighed



Figur 74: Variation 4 - Relativ fugtighed -
Årligt gennemsnit for år 5



Figur 75: Variation 5 - Temperatur -
Årligt gennemsnit for år 5

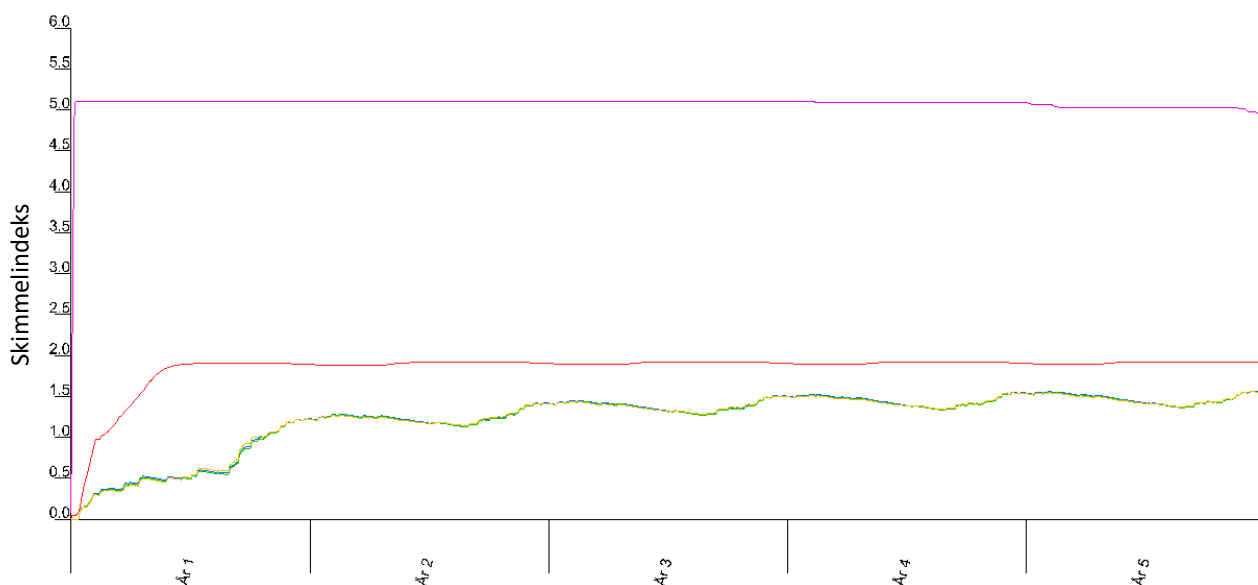


Figur 76: Variation 5 - Relativ fugtighed -
Årligt gennemsnit for år 5

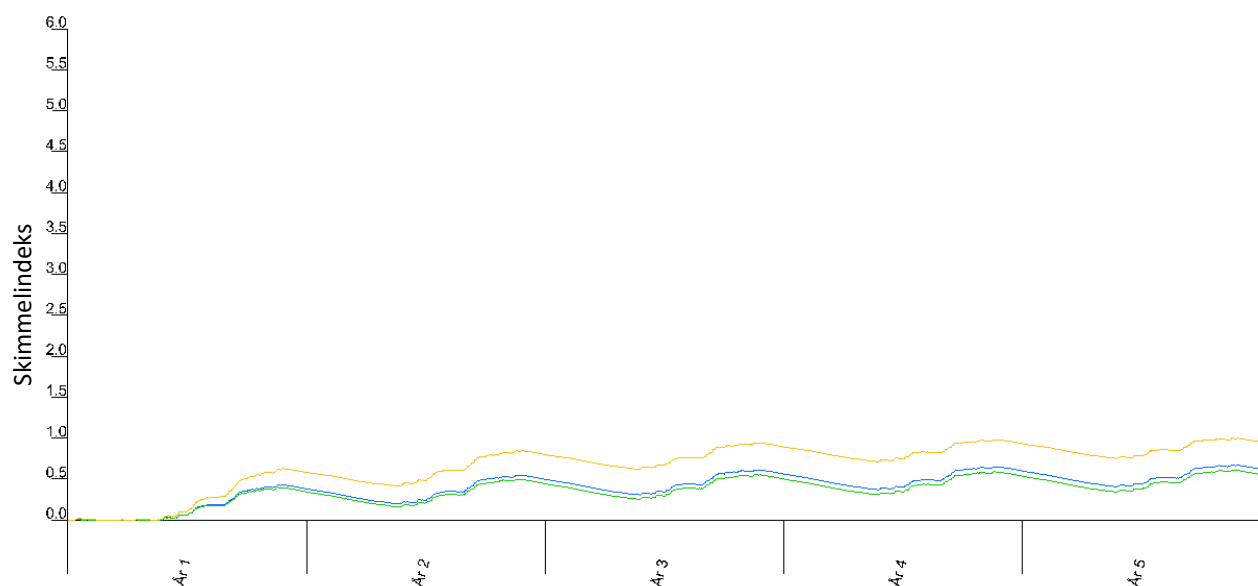
Skimmelsvamp

Der regnes et skimmelindeks for løsningsforslagene løsning 0-4 og variationerne af løsning 2. Der kigges kun på møder mellem overflader, da det antages, at der ikke kan opstå skimmel inde i materialerne. Til beregningerne bruges gennemsnitsværdier for relativ fugtighed og temperatur i et område på 5 x 1000mm. Det vil sige de yderste 2,5mm af hvert materiale i tilfælde af et møde mellem to materialer. I tilfælde af møde mellem et materiale og luft bruges værdier fra yderste 5mm i materialet. De 1000mm er vægudsnittets højde. I mødet mellem to materialer anvendes værdierne for det mest sensitive. Tegl og isolering antages at være i den meste resistente klasse og fyrretræet som "sensitive". Grunden til at tegl og isolering betragtes, som at være "resistant" er, at ved en renovering af Union Canning vil teglen blive rengjort og eventuelt behandlet for at give skimmelsvampen de dårligste betingelser og at man som isoleringsmateriale anvender glasuld.

For løsning 0 regnes skimmelindeks for to steder: i overgangen mellem tegl og træbeklædning og i overgangen mellem træbeklædningen og interiøret. For løsning 1-3 regnes skimmelindekset for 4 steder: overgan-



Graf 11: **Løsning 0-4**. Den inderste overflade af teglvæggen. Lilla: Løsning 0, Blå: Løsning 1, Grøn: Løsning 2, Gul: Løsning 3, Rød: Løsning 4



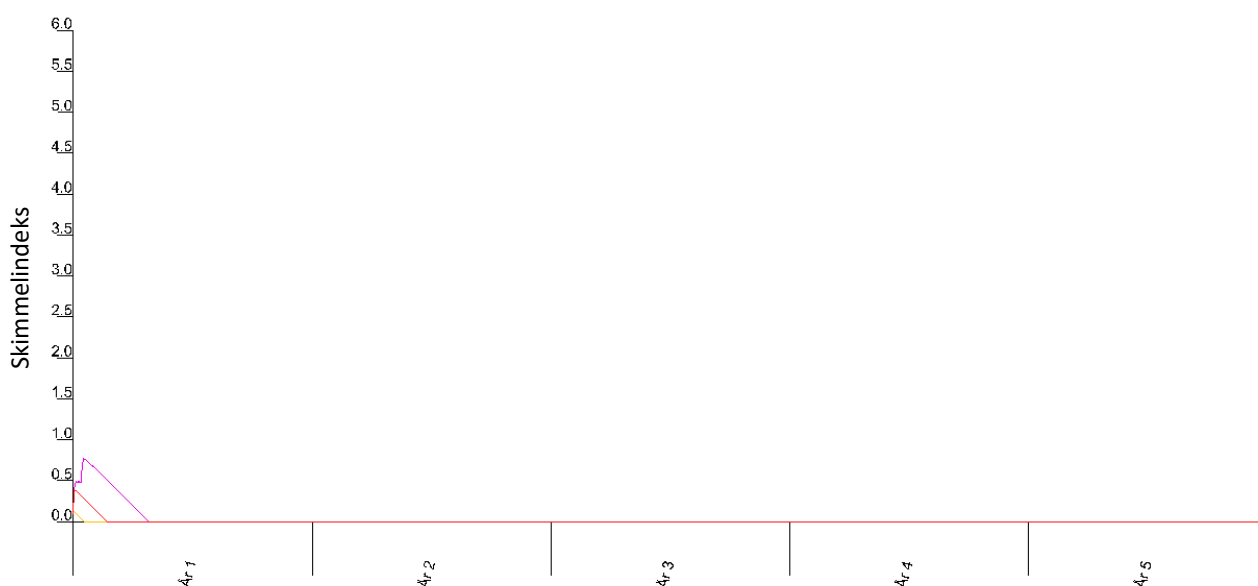
Graf 12: **Løsning 0-4**. Den overflade mellem hulrum og isolering. Blå: Løsning 1, Grøn: Løsning 2, Gul: Løsning 3

gen mellem tegl og hulrum, overgangen mellem hulrum og isolering, overgangen mellem isolering og træbeklædning og overgangen mellem træbeklædningen og interiøret. For løsning 4 regnes skimmelindekset for 3 steder: overgangen mellem tegl og isolering, overgangen mellem isolering og træbeklædning og overgangen mellem træbeklædningen og interiøret. For variationerne af løsning 2 kigges der kun på tegloverfladen, ydersiden af isoleringen og overgangen mellem isolering og træbeklædning.

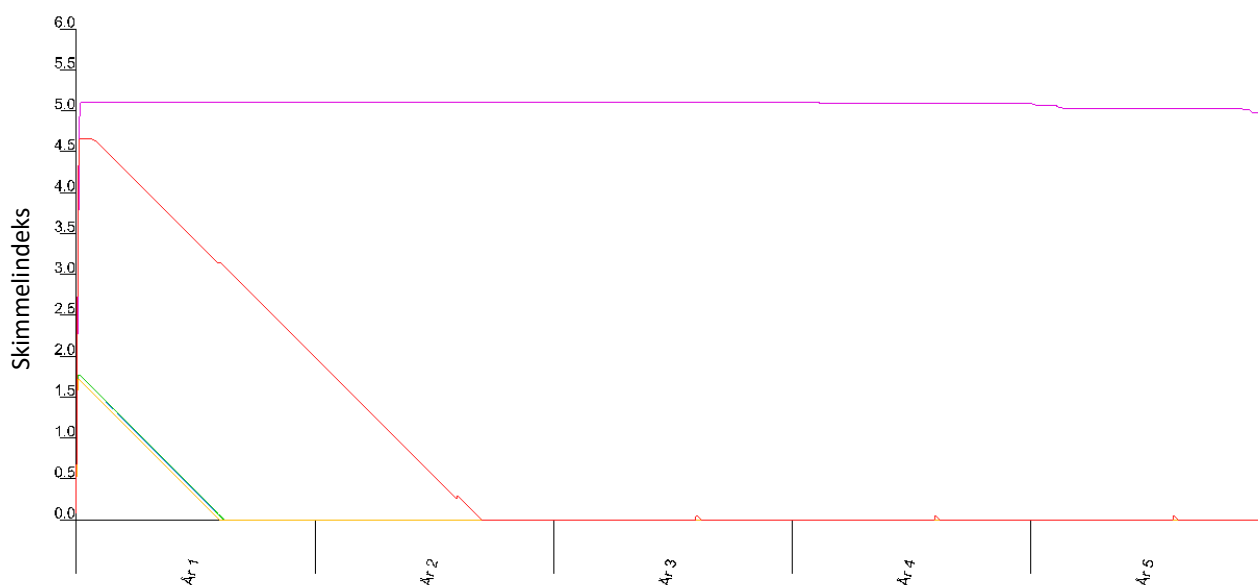
Løsning 0

Som det kan ses af graf 11, udvikles der utroligt hurtigt meget skimmel i denne overgang. Den når 5 på skalaen, hvilket vil sige, at der er meget skimmelvækst og 50% af fladen er dækket.

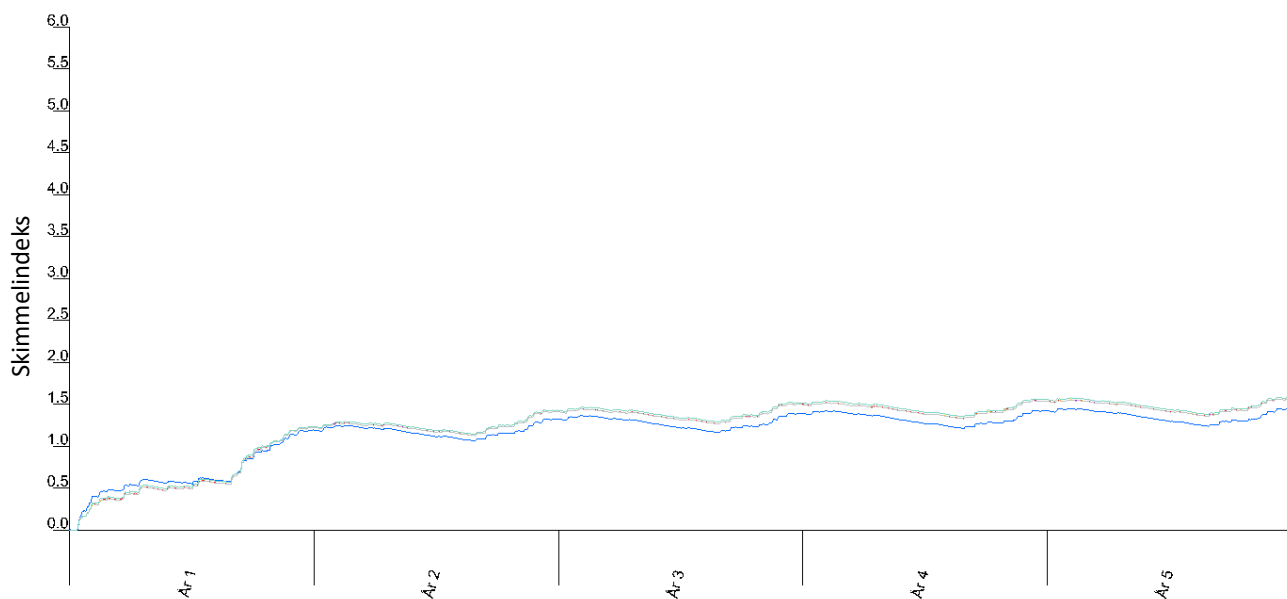
Meget bedre ser det ud for træbeklædningens overflade, hvor det kun er de første 4 måneder, hvor væksten kan måles på skalaen. Kurven når ikke over 1 og det vil sige, at der kun er vækst på et mikroskopisk niveau i et begrænset omfang. Lignende tendenser vil ses i de andre løsningsforslag, da den relative fugtighed i inde-luften ikke er så høj jævnfør graf 5.



Graf 14: **Løsning 0-4.** Den inderste overflade af træbeklædningen. Lilla: Løsning 0, Blå: Løsning 1, Grøn: Løsning 2, Gul: Løsning 3, Rød: Løsning 4



Graf 13: **Løsning 0-4.** Yderste overflade af træbeklædningen. Lilla: Løsning 0, Blå: Løsning 1, Grøn: Løsning 2, Gul: Løsning 3, Rød: Løsning 4



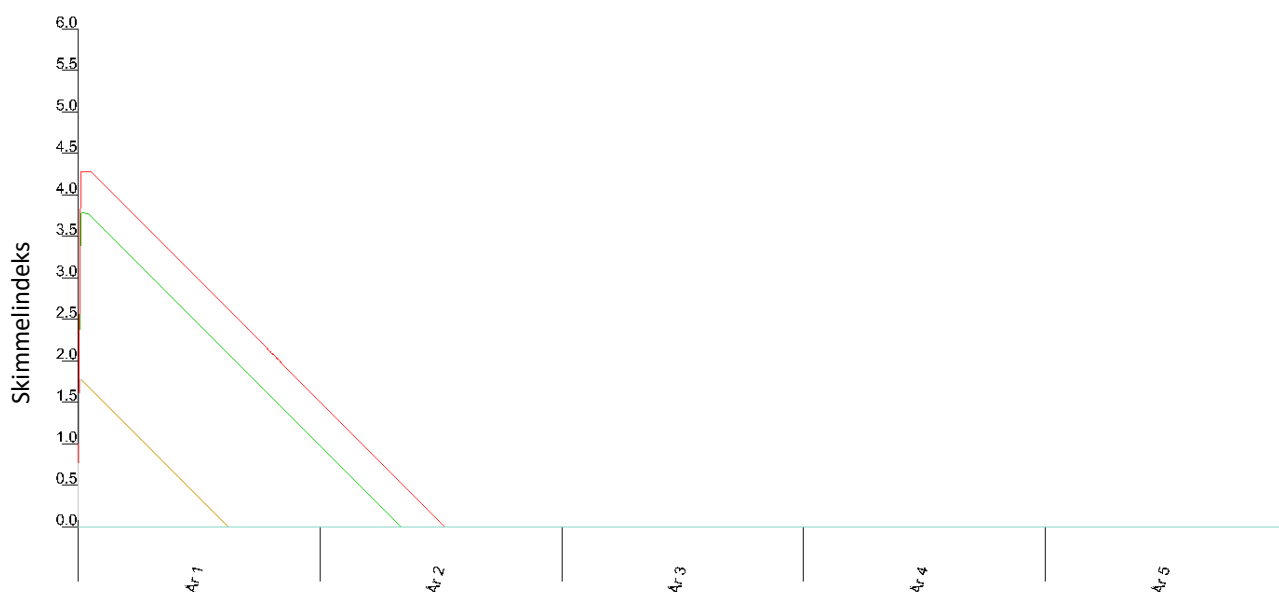
Graf 15: **Variationer.** Den inderste overflade af teglvæggen. Grå: Variation 1, Grøn: Variation 2, Rød: Variation 3, Blå: Variation 4, Lilla: Variation 5, Turkis: Uden isolering, Gul: Løsning 2.

Løsning 1-3

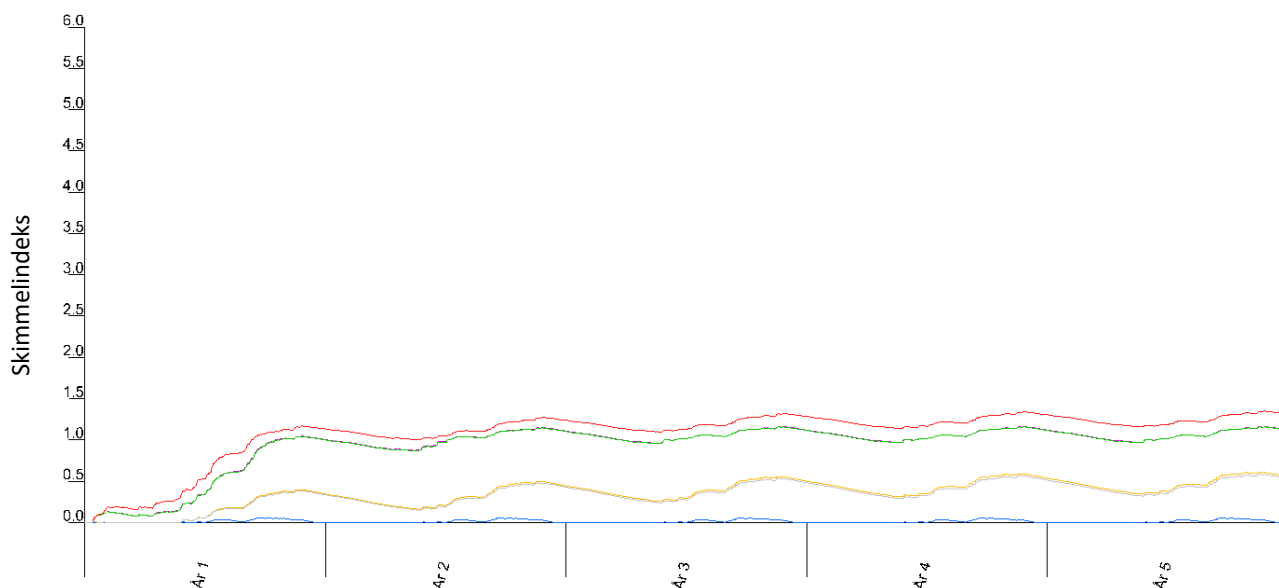
Skimmelindekset for de tre løsninger ligger meget tæt på indersiden af teglvæggen. De vokser mest det første år, som også er det fugtigste. Herefter de kommer ind i en cyklus, hvor indekset stiger lidt om vinteren og derefter falder en smule i løbet af foråret og sommeren, for så at stige igen hen mod efteråret. Maksimalt når de omkring 1,5 på skalaen, hvilket selvfølgelig betyder, at der vil være en skimmelvækst, men jævnfør tabel 2, vil det være på mikroskopisk niveau.

I overgangen mellem hulrummet og isoleringen stiger skimmelindekset de første to år, før det når en lignende cyklus som på overfladen af teglvæggen. Her kommer forskellene mellem de tre løsninger mere til udtryk end på teglen. Det er tydeligt at se, at Løsning 3 har et noget højere skimmelindeks, omkring 0,2 højere, mens de to andre følger hinanden meget godt, dog har Løsning 2 en anelse lavere værdier.

I overgangen mellem isoleringen og træet og på træets overflade indtil interiøret ses næsten ingen skimmeludvikling. I overgangen mellem isolering og træbeklædningen ses en smule den første halvdel af år 1, hvor



Graf 16: **Variationer.** Den yderste overflade af træbeklædningen. Grå: Variation 1, Grøn: Variation 2, Rød: Variation 3, Blå: Variation 4, Lilla: Variation 5, Turkis: Uden isolering, Gul: Løsning 2.



Graf 17: **Variationer.** Den yderste overflade af isoleringen. Grå: Variation 1, Grøn: Variation 2, Rød: Variation 3, Blå: Variation 4, Lilla: Variation 5, Gul: Løsning 2.

de tre løsninger har et indeks lidt under 1,8. Det tørre dog hurtigt ud i løbet af sommeren og forsvinder helt derefter.

Løsning 4

I overgangen mellem tegl og isolering udvikler skimmel indekset for løsning 4 sig mest det første halvår, lige som de andre løsninger. I løbet af sommeren år 1 finder skimmelvæksten et leje, som ikke udvikler sig særligt meget mere i løbet af de fem år, der simuleres. Det næsten konstante skimmelindeks ligger lidt over 1,8, hvilket selvfølgelig ikke er optimalt, men det vurderes ikke til at være super kritisk, da indekset skal over 4 for at give visuelt skimmel. Samtidig er det ret langt inde i konstruktionen, så påvirkning på indeklimaet vurderes ikke til at være af særlig stor betydning.

Til gengæld er der problemer i overgangen mellem isolering og fyrretræ. Det er først sidst i år 1, at indekset kommer under tre og det starter helt oppe over 4,5, hvilket vil sige, at op mod halvdelen af overfladen er dækket af skimmel. Da denne overgang er meget tættere på indeluften, vurderes den også til at have indflydelse på indeklimaet, som kan forværres af spore fra skimmelen. Det skal dog påpeges at skimmelsvampen vil trække sig tilbage og i løbet af efteråret i år 2 vil indekset nå nul og derefter være konstant.

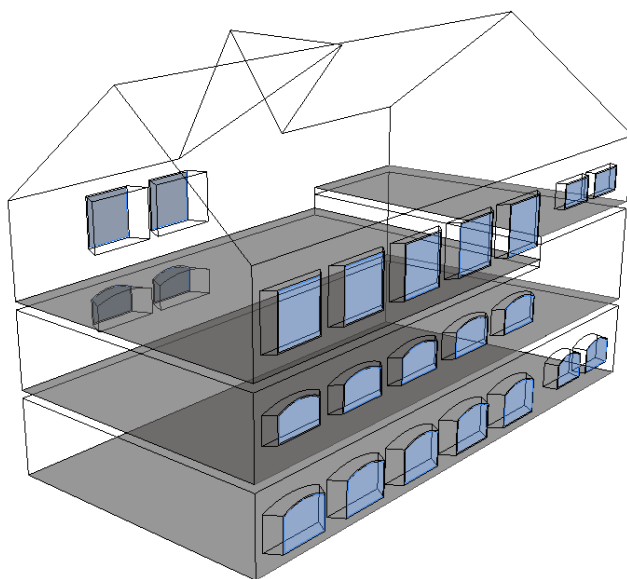
Variationer

I overgangen mellem teglvæggen og hulrummet er det kun variation 4, som viser en forbedring af skimmelforholdene med 0,1, mens resten af variationerne og løsning 2 ligger oven i hinanden. På overfladen af isoleringen er det igen variation 4, som viser den laveste mængde skimmel. Det er faktisk så godt, at den holder sig under 0,06 alle år. Løsning 2 og variation 1 har de næstlaveste værdier. Det store spring er op til de resterende variationer, som kommer op over 1 på skalaen. På den yderste overflade af fyrretræet, er det variationen uden isolering, som viser sig at være bedst. Den har ikke helt samme forudsætninger, som de andre da fyrretræet støder op mod hulrummet i den løsning og ikke mod isoleringen som i de andre løsninger. Variation 1 og 4 ligger sig sammen med løsning 2 og følger den resten af tiden. Variation 2 og 5 har nået højere værdier på lidt over 3,5 og variation 3 er værst. De tre sidste viser sig at være lige så dårlige som løsning 4 på denne overflade.

Det viser sig, at løsning 2 igen er den bedste løsning blandt de første forslag. Variation 4 er denne gang den bedste sammenlignet med de andre variationer og den oprindelige løsning.

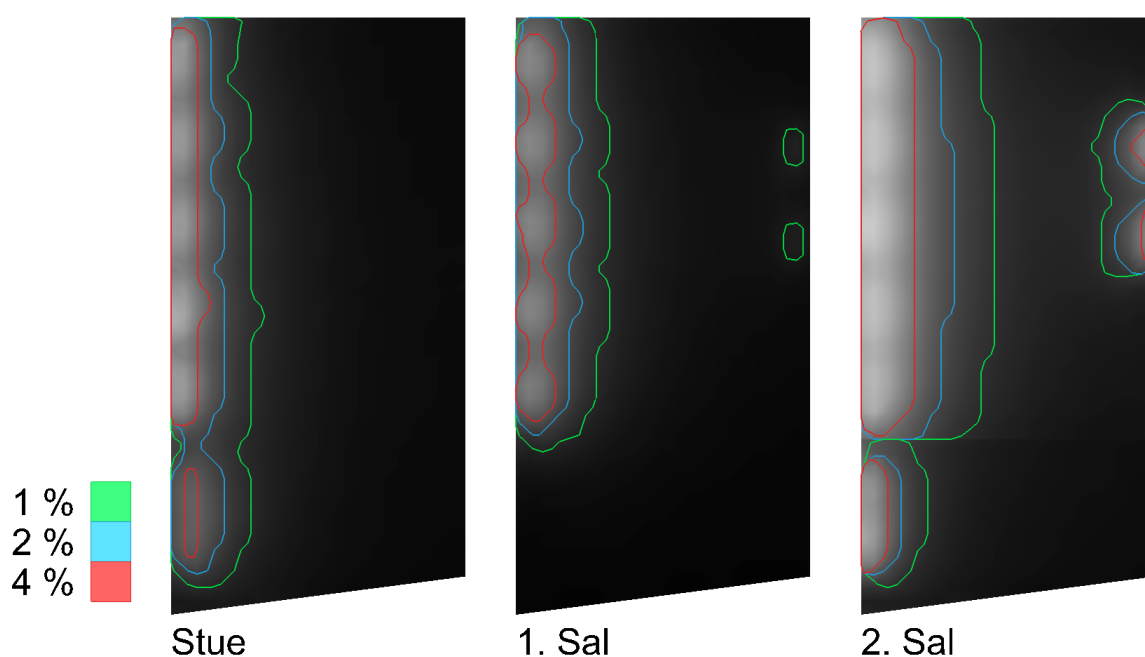
Dagslys

For at have et udgangspunkt til vurdering af dagslysforholdene i bygningen efter en renovering er bygningen blevet simuleret med det eksisterende vinduesparti. For at gøre det så sammenligneligt som muligt, er vægtykkelser og materialer de samme som beskrevet i baggrundsafsnittet. Facaden mod vejen har opbygningen som løsning 0. Egenskaberne for materialerne til simuleringen kan ses i bilag IX. Som det fremgår af figur 78 og tabel 13 er dagslysforholdene ret dårlige i denne situation. Da de fleste vinduer er i vestfacaden, er det selvfølgelig også her, at der er bedst dagslys. Vinduernes størrelse og antal er ikke nok til at give en dagslysfaktor over 2% på mere end 18,1% af etagearealet og det er kun på 2. sal at 2% linjen ligger længere inde end 2m fra væggen. Altså alt i alt temmelig utilstrækkeligt i en moderne kontorbygning.



Figur 77: Løsning 0 - Eksisterende vinduespartier.

Da det er tydeligt, at de eksisterende vinduespartier ikke giver tilstrækkeligt lys foreslås et andet design. Da det er arkitekternes ønske at renovere facaden



Figur 78: Løsning 0 - Eksisterende vinduespartier

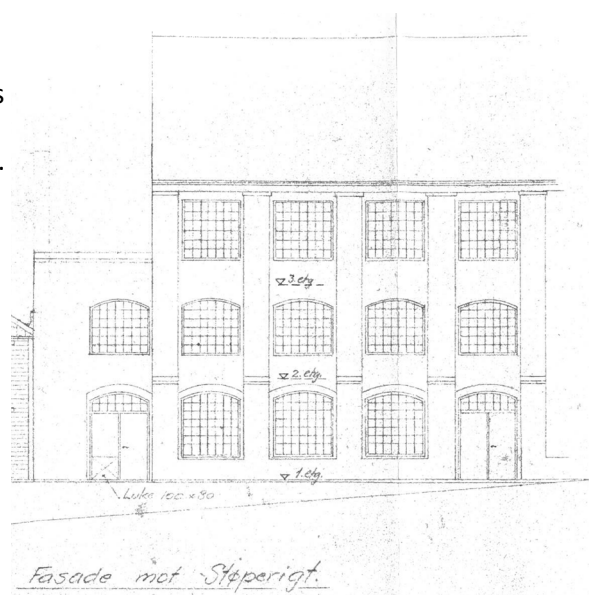
til et mere oprindeligt udtryk, beholdes vinduernes placering, men de forstørres i henhold med oprindelige vinduesstørrelser. Samtidig laves der vinduesbånd på østfacaden ud mod gården der efterligner båndene på facaden mod vest. Der sættes også en stort vindue i kvisten og sættes vinduer i sydgavlen og der laves lys-skakter til vinduer på bagsiden af stueetagen.

Løsningerne med det nye forslag til vinduespartier næsten fordobler arealet med 1, 2 og 4% dagslysfaktor, hvis man sammenligner med løsning 0 med de gamle vinduespartier. Løsningerne hvor væggen er lidt tykkere har et lidt dårligere dagslys – omkring 3-4 procentpoint for hver kurve.

Variationernes facadetykkelse befinder sig et sted mellem løsning 0 og løsning 1-4s tykkelse. Derfor vil dagslysresultaterne også ligge et sted mellem løsning 0 og løsning 1-4s resultater. Det kan dermed konkluderes at variation 1 har det bedste dagslys, fordi det er den tyndeste konstruktion. Løsning 2 og 4 vil have næst bedst dagslys og variation 3, 5 og løsning 2 uden isolering vil have samme dagslys som løsning 1-4, fordi de har den samme tykkelse.

Forbedringer af dagslyset

Når man har set forslaget med større og flere vinduer i oprindelig stil, kan man nemt forestille sig, at et ønske om bedre dagslys vil være til stede, da det egentligt kun er på anden sal, at dagslyset trænger langt i bygningen. Da det ikke umiddelbart er muligt at indsætte flere vinduer, er en anden tilgang nødvendig. Nedenfor præsenteres to koncepter til, hvordan et andet design af vinduespartier kan tilgås. Da forslagene primært beskæftiger sig med facaden



Figur 79: Opstalt af oprindelig facade

Eksisterende vinduespartier		
Dagslysfaktor	Areal (m ²)	Andel af areal (%)
1%	214,1	29,6
2%	130,6	18,1
4%	68,4	9,5

Atrium		
Dagslysfaktor	Areal (m ²)	Andel af areal (%)
1%	496,4	75,9
2%	388,3	59,4
4%	196,3	30,0

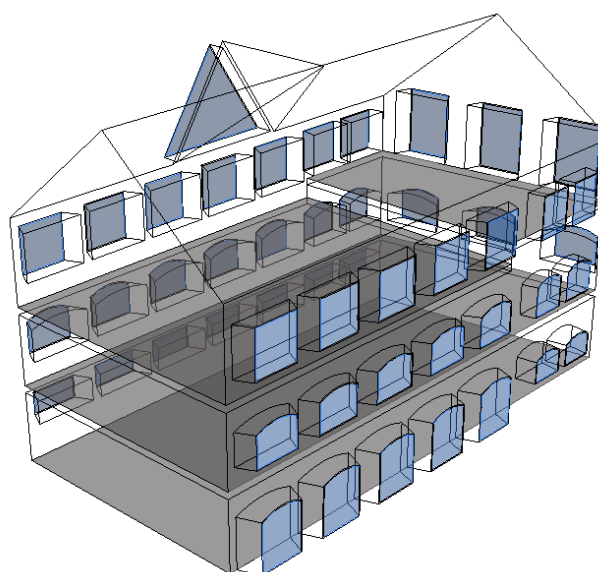
Tabel 13: Dagslysfaktor ved forskellige løsninger.

mod gården og da mulighederne for et anderledes design af facaden mod vest er begrænset, da man ønsker at bevare den, vil de to konceptforslag kun uddybes i det følgende afsnit.

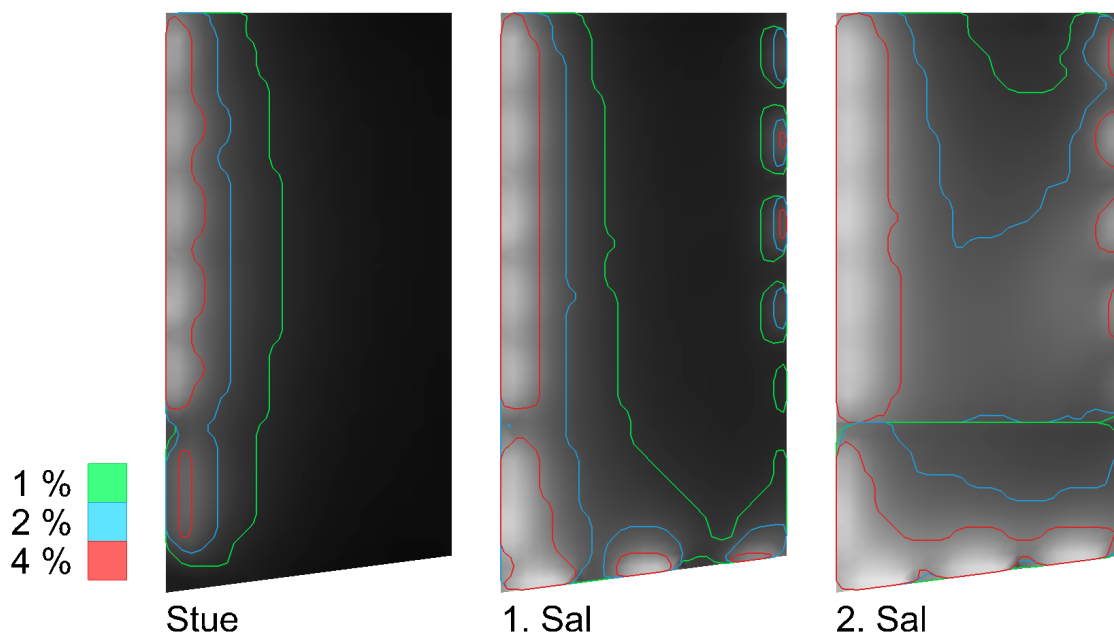
Som det ses af figurene 81 og 83 er det primært i østsiden af rummene, hvor dagslyset er dårligt. Det er samtidig også det sted, hvor der er størst designfrihed, når man følger opgavens præmisser. Det giver derfor mulighed for at gøre noget meget andet med vinduespartierne på denne facade. Et koncept kunne være at lave et dobbelthøjt rum i østsiden af bygningen, så man kunne indsætte vinduer i to etagers højde. Da de bedste dagslysforhold er på 2. sal, ville man ved at indføre dette dobbelt høje rum, kunne trække noget af dagslyset med ned til 1. sal. Man ville altså ved at opgive nogle kvadratmeter på 2. sal udnytte andre kvadratmeter til arbejdspladser, hvor det ikke før var muligt og derfor i praksis få mere plads. Det dobbelt høje rum kunne fungere, som lobby eller reception og forbinde etagerne, som det for

Store vinduer - Løsning 0		
Dagslysfaktor	Areal (m ²)	Andel af areal (%)
1%	435,9	60,3
2%	284,8	39,4
4%	115,3	16,0

Store vinduer - Løsning 1-4		
Dagslysfaktor	Areal (m ²)	Andel af areal (%)
1%	407,1	56,3
2%	253,1	35,0
4%	91,8	12,7



Figur 80: Løsning 0 - Nye vinduespartier.

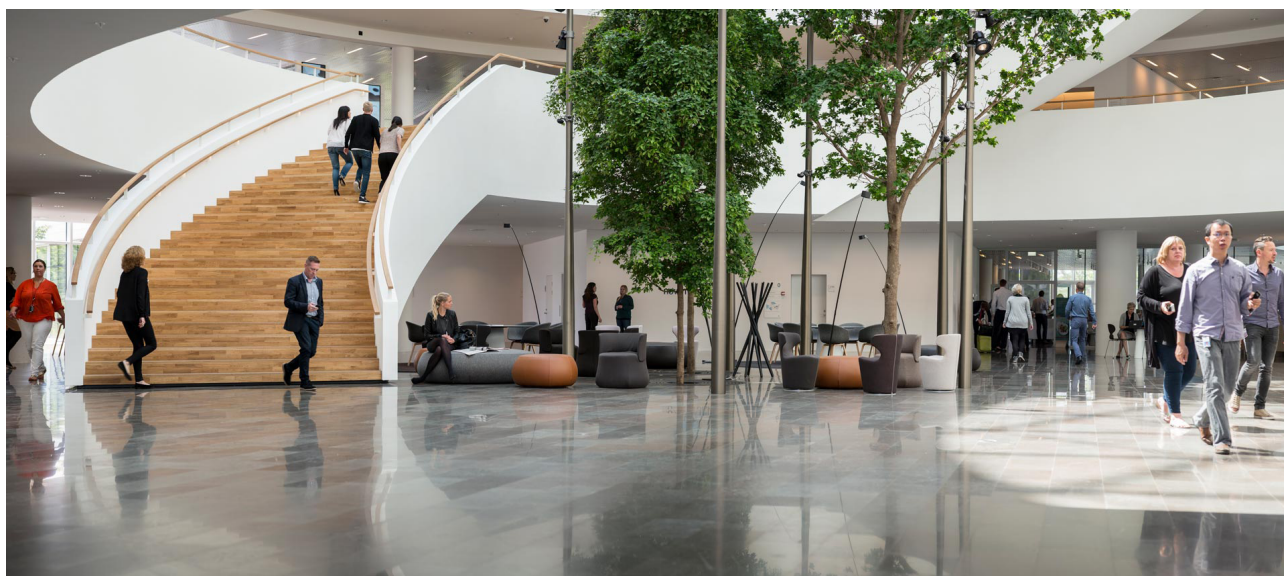


Figur 81: Løsning 0 - Store vinduespartier

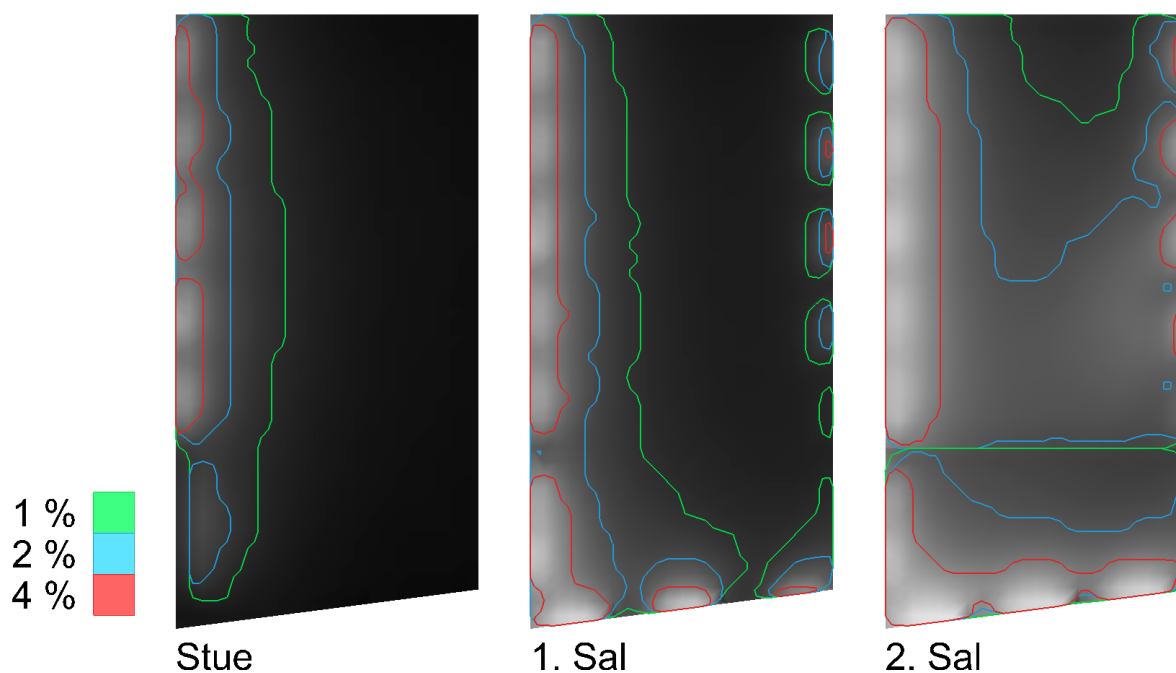
eksempel ses i nogle nye kontorbygninger. Figur 84 og tabel 13 viser tydeligt, at det kan betale sig at lave et atrium. Løsningen her med et atrium er klart den, der har flest kvadratmeter, som har en dagslysfaktor over både 2 og 4%.

I forslaget hvor vinduesbåndene fra vestfacaden kopieres til østfacaden er glasprocenten af facaden faktisk god – cirka 31%. Man kan derfor spørge sig selv, hvorfor der ikke kommer mere lys ind i bygningen. For at besvare det må man kigge på bygningskonteksten. Planen, der ligger for den nye bebyggelse på grunden, giver anledning til en ret tæt kontekst. Derfor kunne det være interessant at åbne bebyggelsen mere og derved give dagslyset mere råderum i uderummet og i bygningerne. En forsimplet metode til at undersøge dette kan gøres ved at undersøge, hvor meget stråling en facade modtager. Det kan ikke direkte oversættes til en illuminans, men da stråling primært falder på en flade i direkte sollys, kan dette give en indikation, af hvor meget lys facaden vil få.

De nedenstående figurer viser forholdet mellem den årlige modtagne stråling på Union Cannings nord, øst og syd facader i en situation, hvor der ikke er omkringliggende bygninger er og en situation hvor de bygninger, som er markeret med sort på den lille plantegning, er til stede. Det vil sige, hvis området på facaden



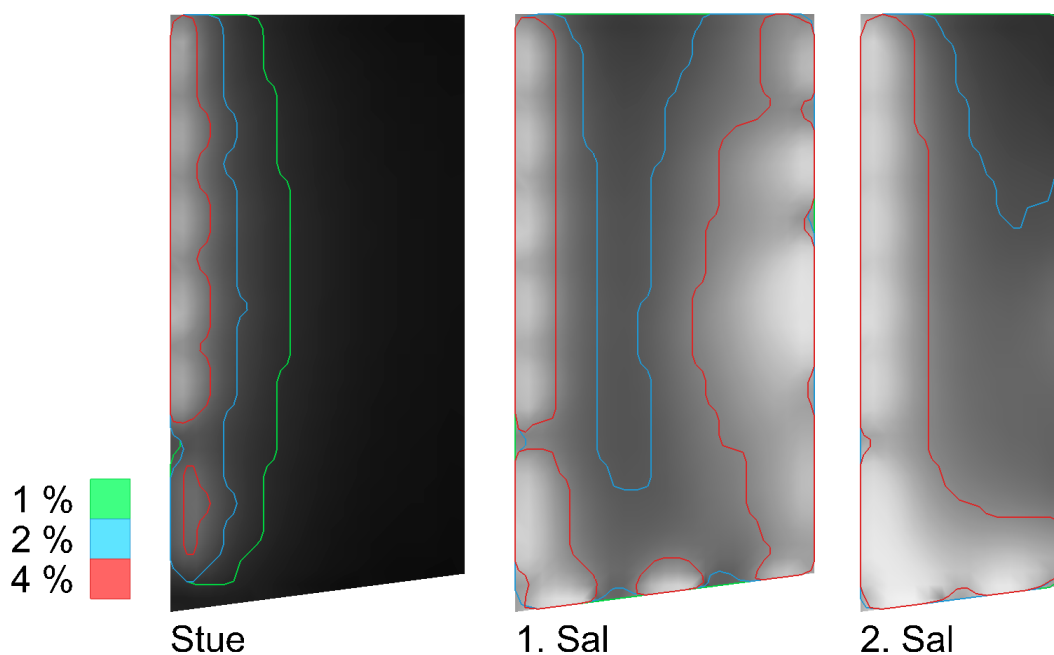
Figur 82: Atrium i Novo Nordisk NN1 [4]



Figur 83: Løsning 1-4 - Store vinduespartier.

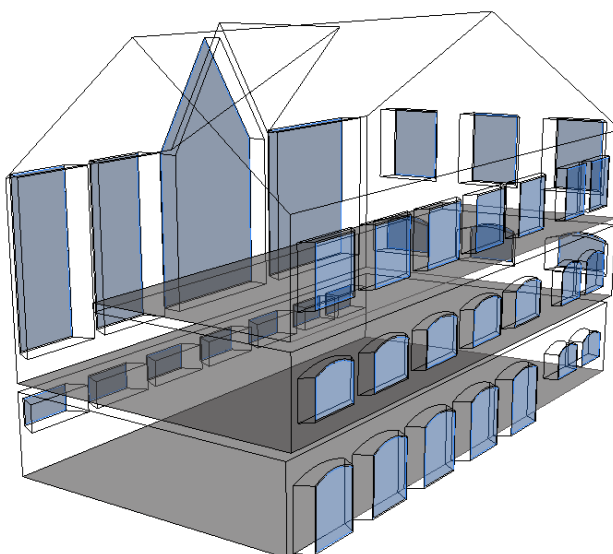
er rødt (100%) modtager området lige så meget stråling, som situationen hvor der ingen omkringliggende bygninger er. Modsat betyder blå (0%), at facadedelen ikke modtager nogen stråling. Det mest interessante tilfælde og tilfældet for det nuværende forslag vises nedenfor, mens de andre tilfælde, som blev undersøgt kan ses i bilag XII.

Som det kan ses på figur 86, modtager østfacaden kun mellem 10-30% af den solstråling, som den ellers ville modtage i et tilfælde uden omkringliggende bygninger. Det afspejler sig også i det dagslys, som er tilgængeligt inde i bygningen fra vinduer i facaden. Hvis man derimod fjerner 2 bygninger og derved gør udearealet på østsiden af bygningen større, vil man kunne modtage et sted mellem 50-60% af den årlige solstråling. Det

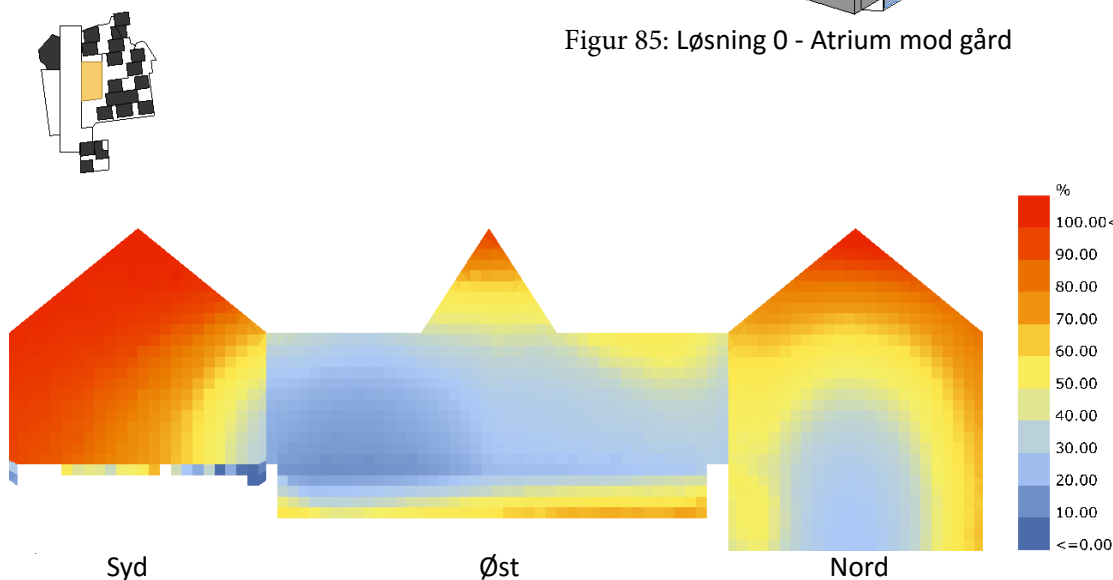


Figur 84: Løsning 1-4 - Atrium mod gård

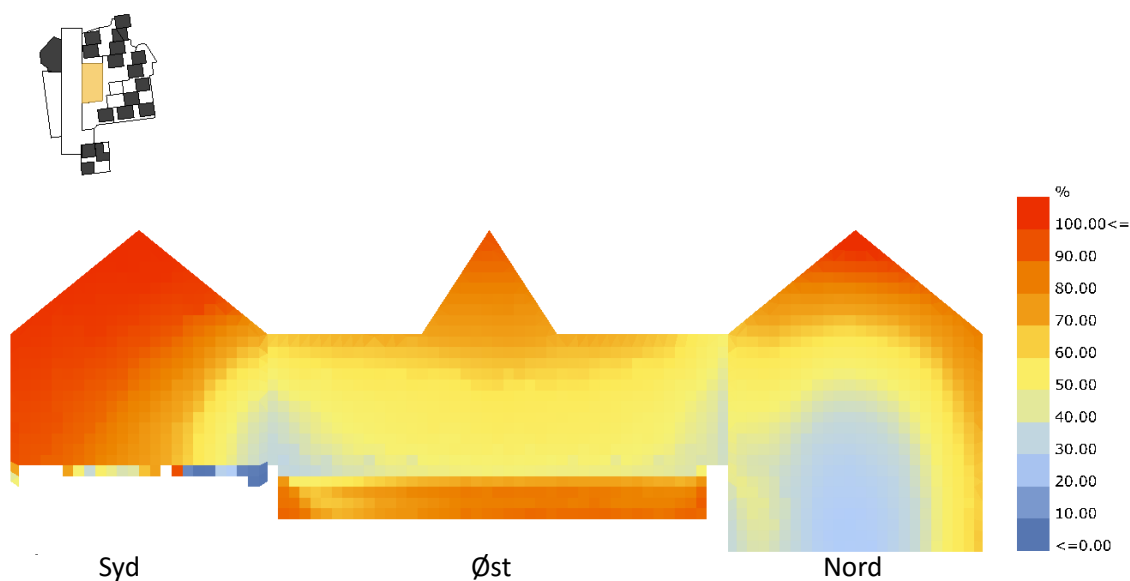
er en stor forskel, som selvfølgelig ikke kun har indflydelse på dagslysforholdene, men også det interne varmetilskud fra strålingen, som vil kunne ændre på de termiske indeklimaforhold. Derfor vil det være tilrådelig at vurdere denne tilgang nærmere også på andre aspekter end dagslyset og energiforbruget.



Figur 85: Løsning 0 - Atrium mod gård



Figur 86: Strålingsanalyse - Version 15



Figur 87: Strålingsanalyse - Version 16

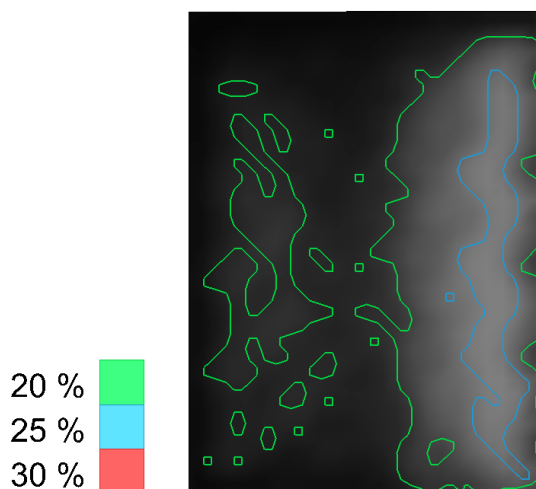
Termisk indeklimate

Til vurdering af facadens komfortmæssige præsentation bruges Termisk Autonomi. Figurerne 88-93 viser hvor stor en procentdel af tiden, et område er termisk komfortabelt. Det er kun tidspunkter, hvor der er personer i rummet, som bliver medtaget i beregningerne. Rummet, der er valgt til at vise den termiske autonomi i, er det store rum på 1. sal, da det er der, Delphin simuleringen antages at undersøge jævnfør figur 10 og 13. Figurerne viser resultaterne for et helt år. Beregningerne er lavet ved at bruge værdierne fra EnergyPlus simuleringerne og så substituere overflade temperaturerne for vestfacaden med dem fra Delphin. De brugte Delphin værdier er fra det sidste simulerede år. Figurerne har konturlinjer, der ligesom ved dagslysberegningerne, viser de områder hvor et kriterium er opfyldt. Her er der valgt tre værdier: 20, 25 og 30% af tiden hvor man er termisk komfortabel.

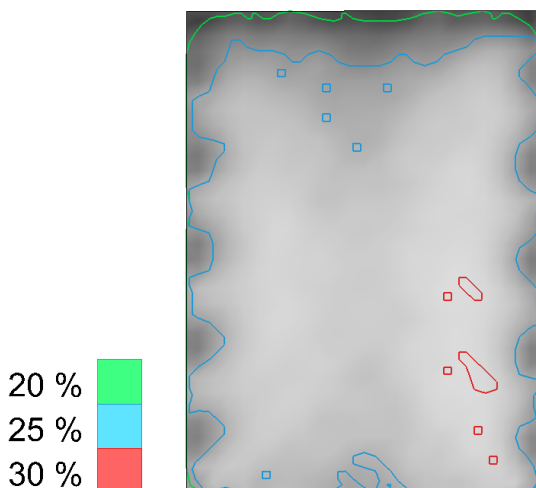
Den termiske komfort i løsning 0 er meget dårlig sammenlignet med de andre fire løsninger. Der er ingen steder, hvor personer i rummet vil være termisk komfortable i 30% af tiden. Man kan se, at det er i den østlige halvdel af rummet, hvor man vil være termisk komfortabel. Det skyldes, at i løsning 0 er det østfacaden, der er langt den bedst isolerede. Konturerne for løsning 1-3 ser ret identiske ud. Der er nogle få pletter af områder, hvor man 30% af tiden er komfortabel. Ellers fylder både 20 og 25% konturlinjerne det meste af rummet ud. Løsning 4 er også næsten identisk med løsning 1-3, men der er et par pletter af områder over 30% i den vestlige halvdel af rummet.

Tabel 14 viser for variationerne, hvor stort et areal som ligger inden for henholdsvis 30%, 25% og 20% konturkurverne. Det viser sig, at den originale løsning 2 ligger sig cirka i midten, når det kommer til arealer med størst komfortabelhed. Variation 2,3 og 5 er meget lige. Variation 2 har et lidt større område med over 30%, mens variation 3 har de største områder over 25 og 20%. De 3 variationer er også dem, der har den bredeste isoleringstykkelser. Når man kigger på figur 93, kan man se, at konturerne ligner meget dem fra løsning 4. Der er dog en anelse mindre områder med 30%.

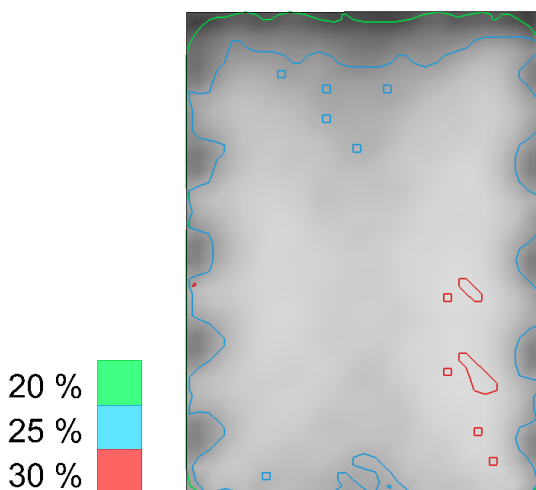
Som man kan se, er der ingen af løsningerne eller variationerne, som har specielt godt termisk indeklimate. Man burde derfor nok undersøge dette nærmere, men da det vigtige her er sammenligningen mellem de forskellige løsningsforslag, er ikke gjort i denne opgave. Man kan sige at resultaterne er simuleret på nogle ret strenge krav til indeklimate. Som sagt anbefaler (ISO, 2006) at et kontormiljø opfylder kategori A, hvilket betyder at maksimalt 6% må være utilfredse før, at indeklimate bliver bedømt som termisk ukomfortabelt. Hvis man genkalder sig formel 35, så siger den, at det ikke er muligt at have under 5% utilfredse, så man arbejder med en meget lille marginen til at opfylde den termiske komfort.



Figur 88: Løsning 0 - Termisk Autonomi

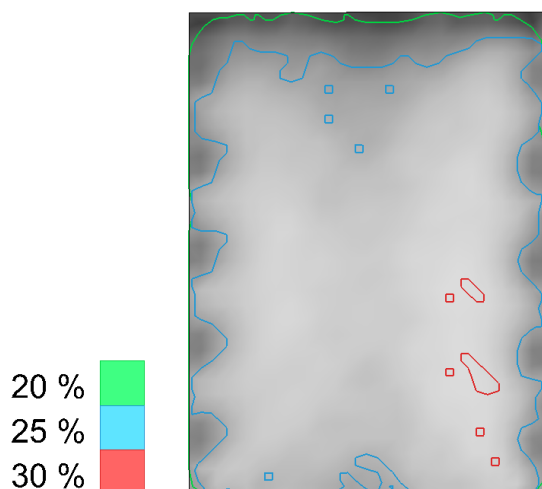


Figur 89: Løsning 1 - Termisk Autonomi

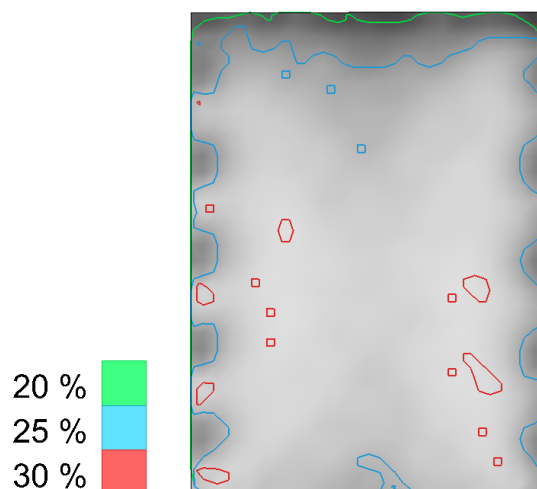


Figur 90: Løsning 2 - Termisk Autonomi

For at opsummere så klarer løsning 4 sig en anelse bedre end de andre løsninger, mens variation 2 klarer sig bedst blandt variationerne tæt forfulgt af variation 3 og 5.



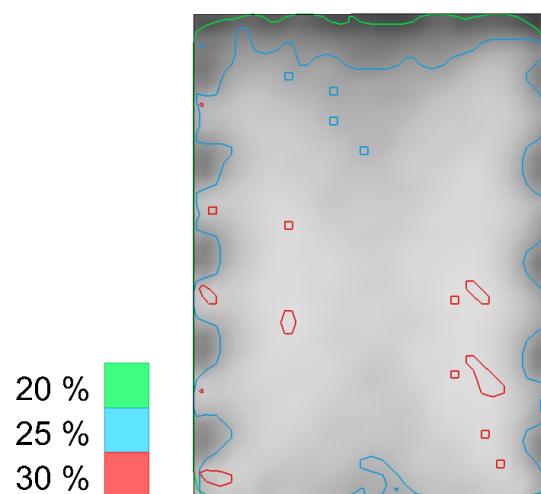
Figur 91: Løsning 3 - Termisk Autonomi



Figur 92: Løsning 4 - Termisk Autonomi

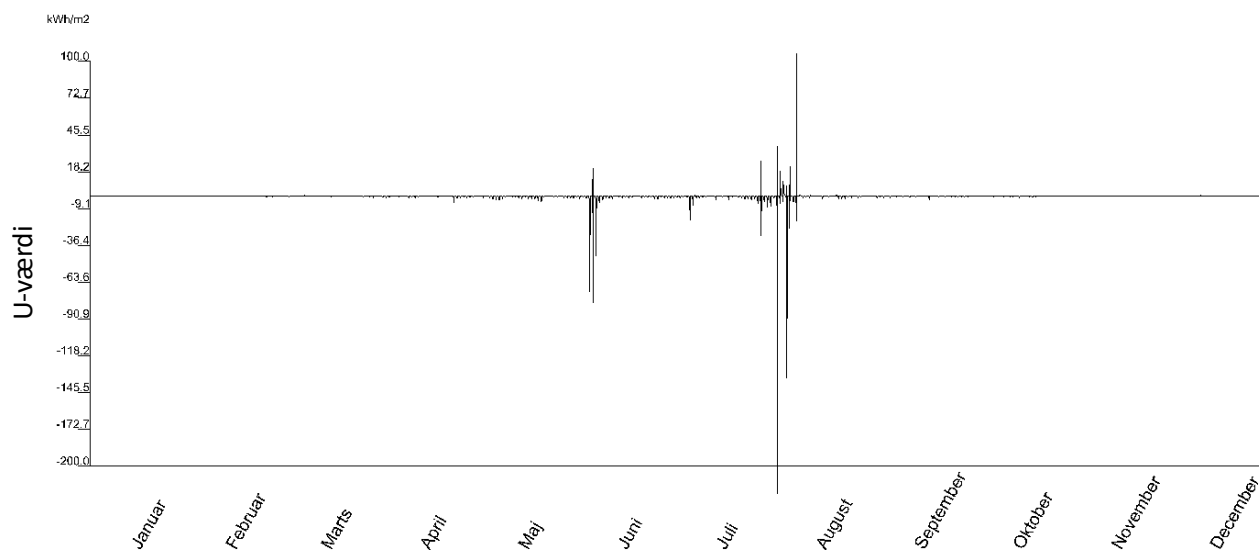
	>30%		>25%		>20%	
	m ²	%	m ²	%	m ²	%
Løsning 2	1,4	0,7	160,8	82,8	190,9	98,3
Uden isolering	1,1	0,6	145,7	75,0	189,5	97,6
Variation 1	0,0	0,0	141,5	72,9	189,4	97,5
Variation 2	2,4	1,2	162,5	83,7	191,5	98,6
Variation 3	2,1	1,1	162,9	83,9	191,6	98,6
Variation 4	0,3	0,1	155,9	80,3	190,8	98,2
Variation 5	2,1	1,1	162,5	83,7	191,5	98,6

Tabel 14: Termisk autonomi - Variationer af løsning 2



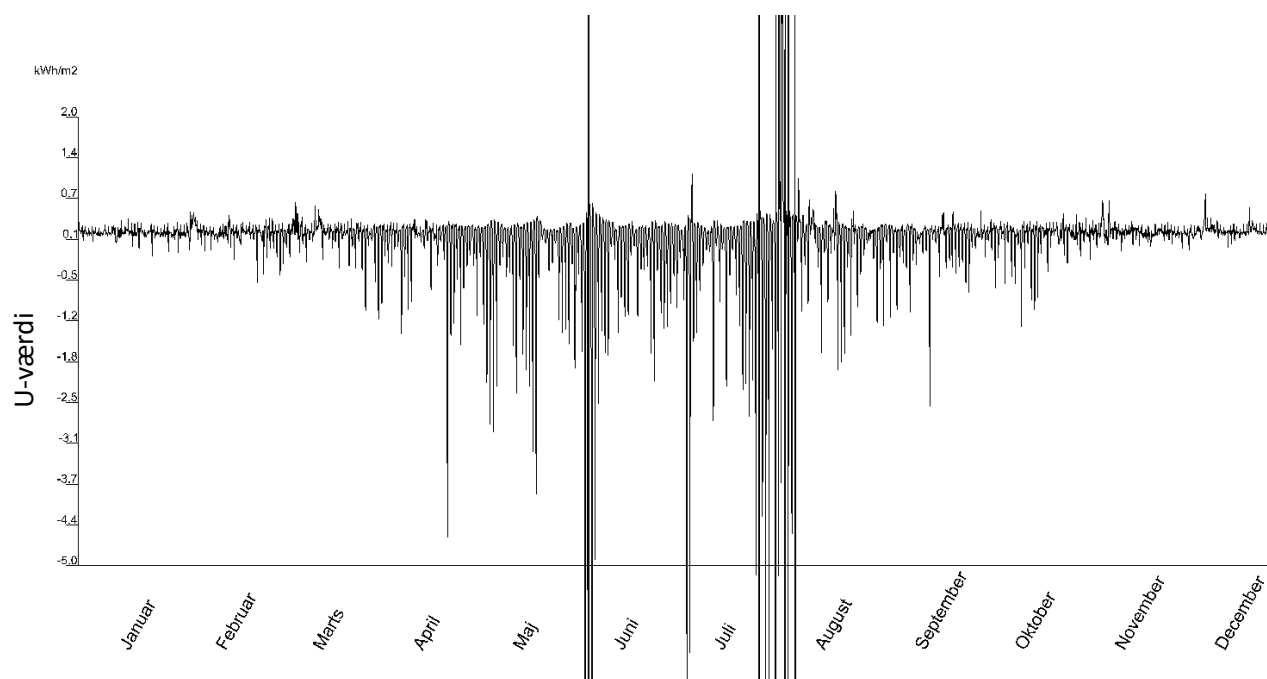
Figur 93: Variation 2 - Termisk Autonomi

Energi

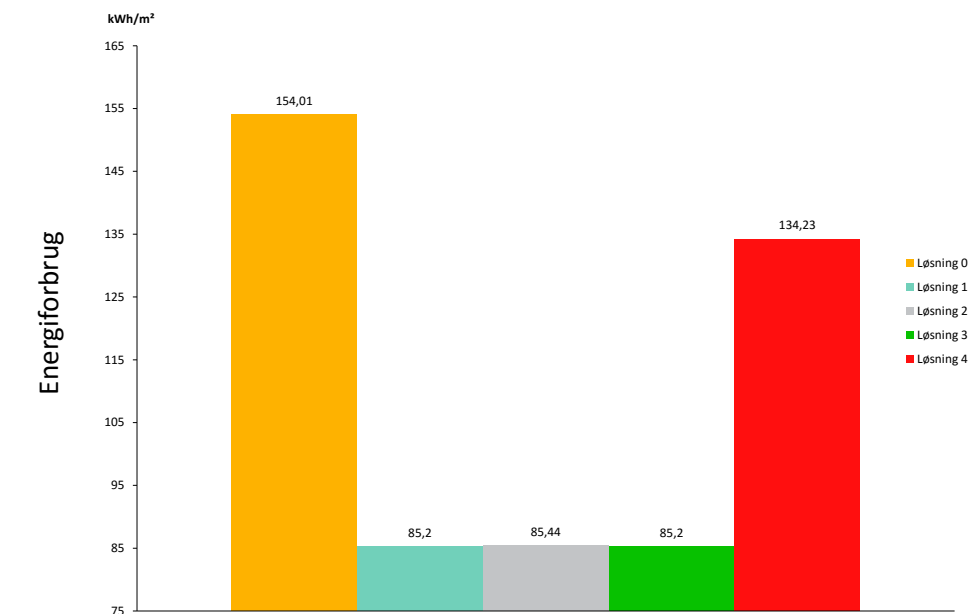


Graf 18: U-værdier for løsning 2

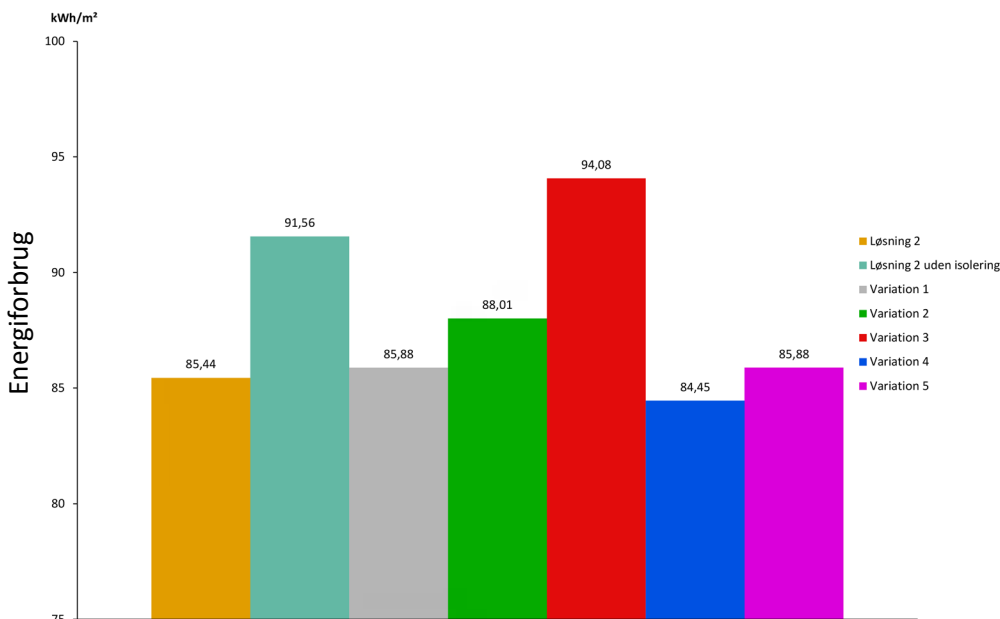
Isoleringsevnen for de konstruktioner, som har et ventileret hulrum, er ikke nem at bestemme. Det er muligt at få en Delphin til at beregne et transmissionstab gennem hvert af de simulerede udsnit. Det er blevet brugt til at beregne en u-værdi for den konstruktion, som kigges på. U-værdien er ikke nødvendigvis konstant, på grund af luftstrømmen, som man kan se på graf 18, sker der i løbet af sommeren store udsving. Graf 18 viser u-værdien for løsning 2, men de andre løsninger og variationer viser samme tendenser og kan ses i bilag XIII. Hvis man zoomer ind tættere på x-aksen, kan man se på graf 19, at den faktisk ikke er så konstant, som først antaget, når man bare ser på graf 18. De større udsving begynder i marts og slutter omkring oktober. Fordi det kun er få gange om året, at u-værdien svinger meget er det blevet vurderet, at et gennemsnit er en rimelig tilnærmelse på den faktiske u-værdi. Den gennemsnitlige u-værdi er blevet brugt til at bestemme λ for hulrummet.



Graf 19: U-værdier for løsning 2 - Udsnit omkring x-aksen



Graf 20: Energiforbrug - Originaler



Graf 21: Energiforbrug - Variationer

	Samlet værdi		R-værdier (m²K/W)					λ (W/mK)
	U (W/m²K)	R (m²K/W)	Mursten	Hulrum	Isolering	Træ	Isolanser	Hulrum
Løsning 0	1,044	0,958	0,402	N/A	0,000	0,385	0,170	N/A
Løsning 1	0,028	35,714	0,402	33,157	1,250	0,385	0,520	0,008
Løsning 2	0,030	33,333	0,402	30,776	1,250	0,385	0,520	0,008
Løsning 3	0,026	38,462	0,402	35,905	1,250	0,385	0,520	0,007
Løsning 4	0,113	8,852	0,402	N/A	7,500	0,385	0,170	N/A
Uden isolering	0,135	7,407	0,402	6,100	0,000	0,385	0,520	0,049
Variation 1	0,037	27,027	0,402	24,470	1,250	0,385	0,520	0,002
Variation 2	0,059	16,949	0,402	11,892	3,750	0,385	0,520	0,004
Variation 3	0,086	11,628	0,402	4,071	6,250	0,385	0,520	0,012
Variation 4	0,034	29,412	0,402	26,855	1,250	0,385	0,520	0,006
Variation 5	0,055	18,182	0,402	13,125	3,750	0,385	0,520	0,011

Tabel 15: Simulerede u-værdier, samt R- og λ-værdier.

Graf 20 viser energiforbruget for Union Canning, hvis vestfacaden bliver udført som løsning 0-4. Som forventet har løsning 0 det største energiforbrug. Løsning 1-3 ligger på samme niveau og lidt overraskende bruger løsning 4 næstmest energi. Union Canning med løsning 1, 2 eller 3 bruger henholdsvis 85,2; 85,4 og 85,2 kWh/m² per år. Hvis man kigger på tabel 15, kan man se, at der selvfølgelig er en sammenhæng mellem energiforbruget og u-værdien. Der er dog ikke nogen lineær sammenhæng, men det var heller ikke umiddelbart forventeligt, da det kun er vestfacadens u-værdi, der opgøres her. Norges energiramme for kontorbygninger er på 115 kWh/m²[6], og det kommer løsning 1-3 ind et godt stykke under, mens både løsning 0 og 4 ligger et stykke over.

Energiforbruget for Union Canning, hvor vestfacaden er udført som en af variationerne ses i graf 21. Variation 4 har den bedste u-værdi og også det laveste energiforbrug. Faktisk viser det sig, at den originale løsning 2 har en lidt bedre u-værdi, men variation 4 har dog det laveste energiforbrug.

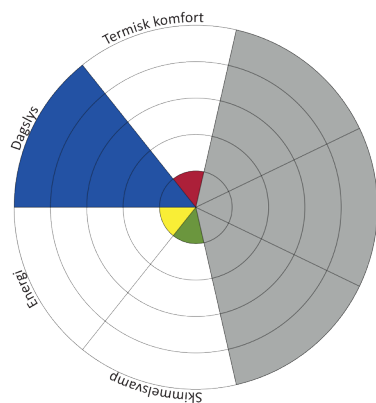
Konklusion og diskussion

I hvert af de fire områder, som der er blevet arbejdet med i denne opgave, har hver løsning og variation fået en score. Scoren i hver kategori er blevet inddelt således, at den løsning, som har det bedste resultat har fået flest point, det næstbedste resultat næst flest point og så videre. Hvis to eller flere løsninger har lige gode resultater i en kategori, gives de samme mængde point. Løsning 0-4 har fået en score separat fra variationerne. Variation 1-5 er desuden blevet vurderet sammen med løsning 2 og løsningen uden isolering. Ved at gøre det på denne måde skulle det gerne være muligt at se hvilken et af forslagene, som er bedst i forhold til de andre. Ved at have løsning 2 i hver af puljerne, er det også muligt at lave en sammenligning mellem de to puljer.

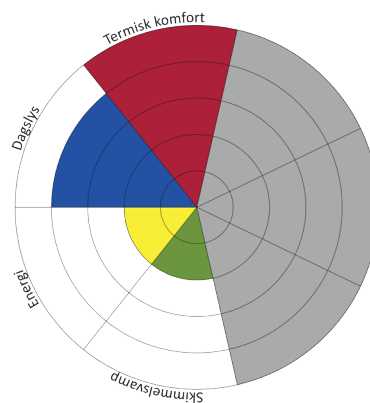
For at kunne vurdere løsningerne på tværs af kategorierne bliver man nødt til at foretage en vægtning. Den vægtning som er valgt her, har til hensigt at vægte de forskellige kategorier lige. Det er ikke nødvendigvis den rigtige vægtning i alle situationer, men afhænger af projektets omfang, bygherre og rådgivere. Man kan i Union Cannings tilfælde for eksempel argumentere for at vægte energidelen mindre, end der er gjort. Energirammen for kontorbygninger i Norge er på 115kWh/m² [6] og alle løsningsforslag ligger et godt stykke under, undtagen løsning 0 og 4. Det betyder i den sammenhæng ikke så meget, hvilket forslag man vælger, så længe man holder sig fra løsning 0 og 4 eller finder andre måder at spare på energien.

De grå felter i figurerne symboliserer de parametre, som ikke indgår i denne opgave, men som stadig vil være betydende i en beslutning af hvilken løsning, som endeligt vælges. De er med for at gøre opmærksom på at analyserne her ikke skal ses isoleret, men vil skulle indgå i en større helhed.

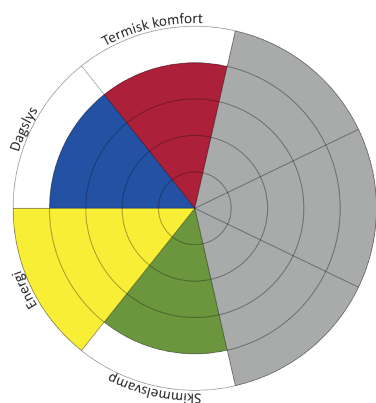
Mellem løsningerne kan man se, at indbyrdes er løsning 0 og løsning 4 de dårligste. Løsning 0 har de dårligste resultater i tre af kategorierne, men giver de bedste dagslysforhold. Som sagt tidligere så skyldes begge ting, at konstruktionen er den tyndeste og ikke har noget isolerende lag. Løsning 4 viser sig som det næst dårligste valg, primært fordi den ikke præsterer så godt på energi- og skimmelparametrene. Opstillet på den her måde, er løsning 1, 2 og 3 meget ens. Det er kun på resultaterne fra skimmelsvamp, som gør en lille



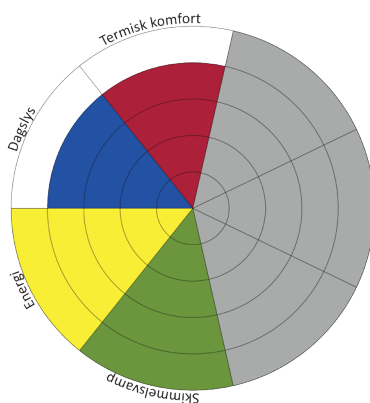
Figur 94: Løsning 0



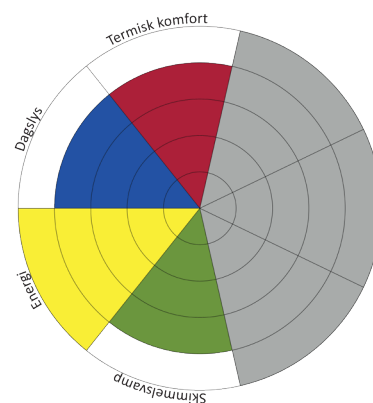
Figur 95: Løsning 4



Figur 97: Løsning 1



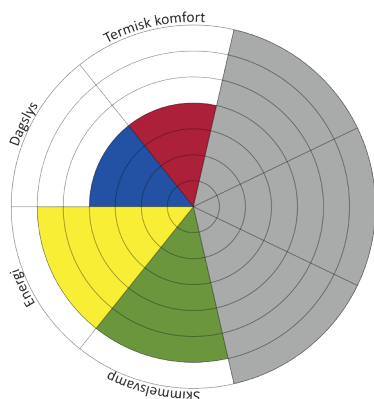
Figur 98: Løsning 2



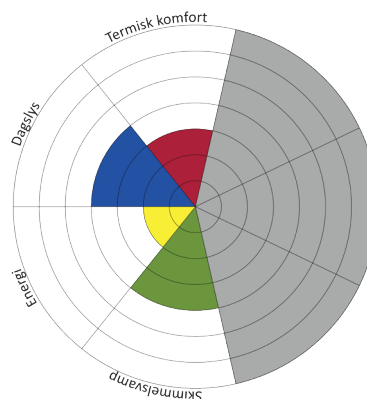
Figur 96: Løsning 3

forskel. Her viser løsning 2 sig at være bedst, og det var derfor at den løsning blev valgt til at arbejde videre med.

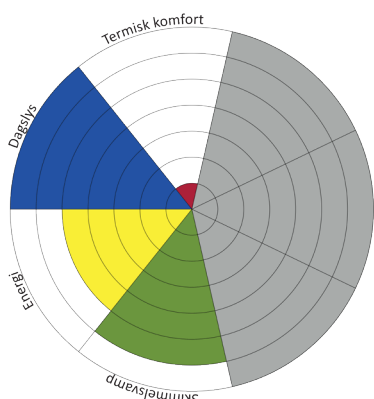
Når man kigger på scorefordelingen mellem variationerne ser man et lidt mere mudret billede uden en klar favorit. Den originale udgave af løsning 2 ligger meget godt med på alle parameter. Løsning 2 uden isolering og variation 3 viser sig som de dårligste her. Løsningen uden isolering klarer sig lidt blandet på alle kategorier, men i den dårlige ende, hvorimod variation 3 har de dårligste resultater på energi og skimmel, mens den har en god score i termisk komfort og dagslys resultaterne lander lidt i midten. Løsning 2, variation 2 og variation 5 er lidt en mellem gruppe, hvor de viser gode resultater i en eller to kategorier og har knapt så gode resultater i resten. Variation 1 og 4 ender ret tæt på hinanden med en fordel til variation 4. De viser begge gode resultater i skimmel, energi og dagslys, men falder så rimelig langt igennem i termisk komfort. Det er svært at udpege den bedste af variationerne. Hvis man for eksempel vælger variation 4, kan man så leve



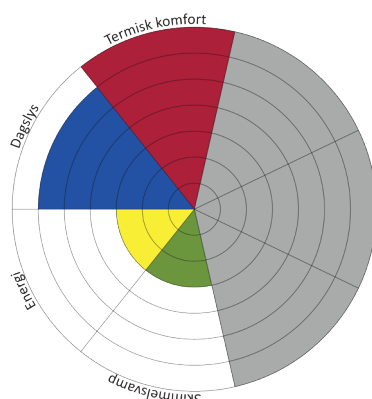
Figur 99: Løsning 2



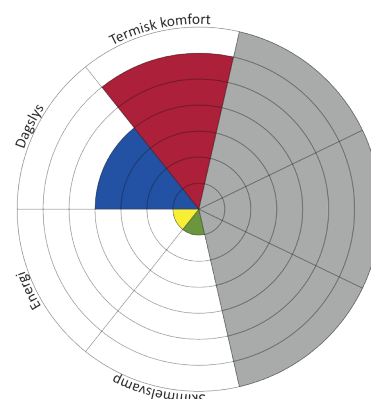
Figur 100: Løsning 2 uden isolering



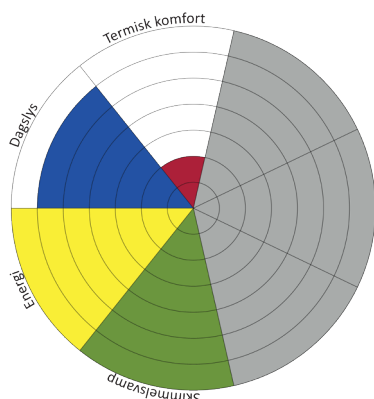
Figur 101: Variation 1



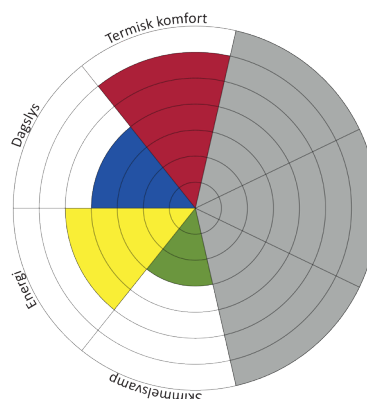
Figur 102: Variation 2



Figur 103: Variation 3



Figur 104: Variation 4



Figur 105: Variation 5

med dårligere termiske komfort eller vil man hellere have en løsning der klare sig rimeligt på alle parametre, som løsning 2 gør? En endelig vurdering vil også være afhængig af de kategorier, som de grå stykker af cirklerne repræsenterer. Fordi den termiske komfort generelt er så lav, vil man formentlig prøve at forbedre den og det kunne muligvis give nogle ændringer i scorefordelingen blandt variationerne og derfor er variation 4 måske den bedste, da det ikke betyder så meget, at de har en lav termisk komfort score nu. Som beskrevet i afsnittet omkring dagslys, kan det ligeledes være fordelagtigt at tage nogle tiltag omkring vinduesdesignet, som der ikke er arbejdet videre med her. De forslag, der præsenteres i det afsnit vil have nogle konsekvenser, som udover at ændre dagslyskvaliteten og vil have indvirkning på energiforbruget og den termiske komfort i bygningen. Både energi og termisk komfort kan man også gå videre med fordi man ønsker at nedbringe energiforbruget eller for at undersøge, hvorfor den termiske komfort er så skidt i det rum, der er kigget på og hvordan man forbedrer det.

Selvom løsning 2 og dens variationer viser sig at have de dårligste vækstbetingelser for skimmelsvamp, kunne man argumentere for, at det ikke skal være den løsning, man vælger. Som det kan ses af graf 9, er der nogle tider af året, hvor luften i hulrummet strømmer fra ude til inde og ikke omvendt. Dermed får man transporteret skimmelspore ind fra hulrummet og ind til indeluften. Selvom om løsning 3, har en anelse vækstbetingelser for skimmelsvamp, så er det ikke muligt i den løsning at få transporteret skimmelspore fra hulrummet ind til indeklimaet. Derfor kunne man argumentere for at vælge løsning 3 i stedet.

Som pointeret tidligere, vil det være fornuftigt at undersøge fugt og skimmelforholdene videre. Man kan forestille sig, at der er detaljer omkring vinduer, døre og dæk, som vil vise sig at være kritiske i forhold til skimmel og fugt. Udsnittet, som er valgt, skal forestille et nogenlunde arbitrært sted på facaden, men det kunne være fordelagtigt at simulere hele facadeudsnittet fra bund til top for at undersøge områderne omkring hulrummets ind- og udgange. Derved kan man også undersøge om de forskelle, man ser mellem bund og top i simuleringens udsnittene, se figur 55-58, er til stede over hele facaden og i hvilken grad. Et yderligere studie af luftstrømmene i væggen omkring vindueshullerne vil også være interessant. Hvordan man får luftstrømmen til at bevæge sig helt op under vinduerne, for at ventilere fugten væk, er ikke beskrevet her.

Der er også mulighed for at arbejde lidt videre med slagregnsværktøjet, det kunne være oplagt, hvis man kunne lave en tabel i stil med tabel 5, der giver nogle konstanter for K_{regn} , som man kunne bruge som inputs til sin beregning, for at få et mere korrekt resultat.

For variationerne betyder de mange opstillede kriterier, at det er svært at opnå et optimalt resultat for alle kriterier samtidigt, der må derfor prioriteres i det givne tilfælde. Her anbefales det at foretage prioritering på baggrund af yderligere undersøgelser. Ud fra opgavens undersøgelser er det klart at anbefale at have et ventileret hulrum sammenlignet med indvendig isolering i sin facadekonstruktion. Det er især på energi og skimmelsvamp, at det ventilerede hulrum viser sig overlegen.

Litteraturliste

Artikler og bøger

- Best, A. C. (1950). The size distribution of raindrops. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 76, 16–36. Retrieved from <http://www.nature.com/doifinder/10.1038/nphys1646>
- Ennis, B. J., & Litster, J. D. (1997). A Study of Driving Rain. *Knowledge Creation Diffusion Utilization*, 20–54.
- Peuhkuri, R., & Rode, C. (2010). Indvendig efterisolering: Sådan dimensioneres løsninger, som giver holdbare konstruktioner. *Videncenter for Energibesparelser I Bygninger*.
- Gottfredsen, F. R. (red. . (1997). *Bygningsmaterialer : grundlæggende egenskaber*. Polyteknisk Forlag.
- Hukka, a., & Viitanen, H. a. (1999). A mathematical model of mould growth on wooden material. *Wood Science and Technology*, 33, 475–485. doi:10.1007/s002260050131
- ISO, D. S. E. N. (2006). Dansk standard Ergonomi inden for termisk miljø – Analytisk bestemmelse og fortolkning af termisk komfort ved beregning af PMV- og PPD- indekser og lokale termiske komfortkriterier Ergonomics of the thermal environment –. *Management*.
- Jensen, H. T. (2005). Hans Thorkild Jensen BYG · DTU U -058: Naturlig ventilation, 1–42.
- Levitt, B., Ubbelohde, M. S., Loisos, G., & Brown, N. (2013). Thermal Autonomy as Metric and Design Process. *Building Lasting Change 2013*. Retrieved from http://www.coolshadow.com/research/Levitt_Thermal_Autonomy_as_Metric_and_Design_Process.pdf
- Ojanen, T; Viitanen, H. et al. (2010). Mold growth modeling of building structures using sensitivity classes of materials. *Buildings Conference*, 1–10.
- Viitanen, H., Toratti, T., Makkonen, L., Peuhkuri, R., Ojanen, T., Ruokolainen, L., & Räisänen, J. (2010). Towards modelling of decay risk of wooden materials. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(3), 303–313. doi:10.1007/s00107-010-0450-x
- Viitanen, H. (2007). Improved Model to Predict Mold Growth in. *VTT Technical Research*.

Hjemmesider:

- [1] http://bauklimatik-dresden.de/downloads/documentation/Delphin_5_reference_manual_en.pdf, d. 14. september 2015
- [2] <http://www.rockwool.dk/r%C3%A5dgivning/den+lille+lune>, d. 28. december 2015.
- [3] https://energyplus.net/weather-region/europe_wmo_region_6/NOR%20%20, d. 15. august 2015
- [4] http://sharki.oslo.dnmi.no/portal/page?_pageid=73,39035,73_39049&_dad=portal&_schema=PORTAL, d. 29. oktober 2015.
- [5] <http://da.henninglarsen.com/projekter/1000-1099/1049-novo-nordisk-domicil.aspx>, d. 6. december 2015.
- [6] <http://dibk.no/no/BYGGEREGLER/Gjeldende-byggregler/Veiledning-om-tekniske-krav-til-byggverk/?dpx=/dpx/content/tekniskekrav/14/2/>, d. 6. januar 2016
- [7] <https://gist.github.com/piac/ef91ac83cb5ee92a1294>, d. 3. januar 2016

[8]<http://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/dk/technical/b3020.pdf>, d. 8. januar 2016

Bilag

Bilag I: Skimmelsvamp	Side 56
Bilag II: Indfaldsvinkel af regndråber	Side 58
Bilag III: Slagregn	Side 59
Bilag IV: Beregning af trykforskelle i hulrum - Løsning 1 og 2	Side 61
Bilag V: Beregning af trykforskelle i hulrum - Løsning 3	Side 63
Bilag VI: Databehandling af resultater fra Delphin	Side 65
Bilag VII: Egenskaber for tre-lagsglas fra Calumen II	Side 68
Bilag VIII: Egenskaber for rist	Side 69
Bilag IX: Radiance materialer til brug i dagslysberegninger	Side 70
Bilag X: U-værdier for tag, terrændæk og vægge med udvendig isolering	Side 71
Bilag XI: Grasshopper og Delphin filer	Side 72
Bilag XII: Solstråling på nord-, øst- og sydfacade	Side 73
Bilag XIII: U-værdier for løsning 1-3 og variationer	Side 79
Bilag XIV: Variationer - Termisk Autonomi	Side 82

Bilag I: Skimmelsvamp

```
import math

#Inputs:
#Sensitivitets klasse - S
#Temperatur - T
#Relativ fugtighed - RF

|
#Sensitivitets klasser:
def SensClass(x):
    if x==1:
        return ((1,2),(1,7,2),80,1,1)
    elif x==2:
        return ((0.578,0.386),(0.3,6,1),80,0.5,1)
    elif x==3:
        return ((0.072,0.097),(0,5,1.5),85,0.25,0)
    elif x==4:
        return ((0.033,0.014),(0,3,1),85,0.1,0)
    else:
        return False

def Mold(T,RF,S):
    #Funktioner:

    def RFcrit(T):
        if T>20:
            return RFmin
        else:
            return -0.00267*T**3+0.16*T**2-3.13*T+100

    def Mmax(RFcrit,RF):
        return A+B*(RF_crit-RF)/(RF_crit-100)-C*((RF_crit-RF)/(RF_crit-100))**2

    def k1(M):
        if M<1:
            return k1_m1
        else:
            return k1_m3

    def k2(M):
        return max((1-math.exp(2.3*(M-M_max))),0)

    #Tjek at længderne af listerne er den samme
    if len(T)!=len(RF):
        return False

    #Konstanter

    i=0
    result=[]
    M=0
    t=0
```

```
k1_m1=SensClass(S)[0][0]
k1_m3=SensClass(S)[0][1]
A=SensClass(S)[1][0]
B=SensClass(S)[1][1]
C=SensClass(S)[1][2]
RFmin=SensClass(S)[2]
D=SensClass(S)[3]
SQ=SensClass(S)[4]

#Udregninger:

while i<len(T):
    RF_crit=RFcrit(T[i])

    if RF[i]<RF_crit or T[i]<=0:
        if t<6:
            dM=D*-0.00133
            t+=1
        elif t>=6 and t<=24:
            dM=0
            t+=1
        else:
            dM=D*-0.000667
            t+=1
    else:
        M_max=Mmax(RF_crit,RF[i])
        dM= 1/(7*math.exp(-0.68*math.log(T[i])-13.9*math.log(RF[i])-0.33*SQ+66.02))*k1(M)*k2(M)
        t=0

    M+=dM
    if M<0:
        M=0
    result+=M
    i+=1

return result

Mold_Index=Mold(T,RF,S)
```

Bilag II: Indfaldsvinkel af regndråber

```
import math

#Inputs:
#Nedbørsmængde - R
#Vindhastighed - V

|
def rain_vector(Vw, Regn):
    #Radius af dråber:
    A=1.3
    p=0.232
    n=2.25
    if Regn == 0:
        return 0
    def f_a(I):
        return A*I**p

    a=f_a(Regn)
    r=a*math.exp(math.log(-math.log(0.5))/n)/1000

    #Vinkel:
    rho_L=1.2
    rho_w=1000
    g=9.81
    c=0.3

    alpha = math.acos((3*c*rho_L*Vw**2*r**2)/math.sqrt(r**4*(9*Vw**4*c**2*rho_L**2+64*g**2*r**2*rho_w**2)))
    return alpha

R_v=rain_vector(V,R)
```

Bilag III: Slagregn

```
import math
import ghpythonlib.parallel
import ghpythonlib.components as ghcomp

#Inputs:
#Vindretning
#Nedbør
#Vindhastighed
#Obstruktioner
#Temperatur
#Væg
#Liste længde - x

def lister(a,x):
    result=[]
    i=1
    sub=[]
    while i < len(a)+1:
        if i%x!=0:
            sub.append(a[i-1])
        elif i%x==0:
            sub.append(a[i-1])
            result+=sub
            sub=[]
        i+=1
    return result

def J_regn_normal(Beta,J_regn_mmh,V_vind,Obs,T, Vinkel):

    #Korigering af retning
    def B_vind(retning):
        a=abs(Vinkel-retning)
        if a<180:
            b=a
        else:
            b=360-a
        return math.radians(b)

    result=[]
    i=0
    while i < len(Beta):
        sub_result=[]

        #Konvertering til kg/(m2*s)
        J_regn=J_regn_mmh[i]/3600

        #Tjek af vind
        if B_vind(Beta[i])>math.pi/2:
            sub_result=[0]*len(Obs[i])

        #Tjek af temperatur
        elif T[i]<=-2:
            sub_result=[0]*len(Obs[i])

        #Tjek af vindhastighed
        elif V_vind[i]<=0:
            sub_result=[0]*len(Obs[i])
```

```
#Tjek at det regner
elif J_regn<=0:
    sub_result=[0]*len(Obs[i])
else:
    K_vind=math.cos(B_vind(Beta[i]))/math.sqrt(1+1142*(math.sqrt(3600*J_regn)/V_vind[i]**4))
    *math.exp(-12/(V_vind[i]*5*(3600*J_regn)**(1/4)))
    for j in Obs[i]:
        #if i==168:
        #    print type(j)
        if float(j)== -1:
            K_regn=0.3
        else:
            K_regn=0.0

        sub_result+=[K_vind*K_regn*J_regn]

    result+=[sub_result]
    i+=1
return result

#Følgende er skrevet af Giulio Piacentino[7]
def list_to_tree(input, none_and_holes=True, source=[0]):
    """Transforms nestings of lists or tuples to a Grasshopper DataTree"""
    from Grasshopper import DataTree as Tree
    from Grasshopper.Kernel.Data import GH_Path as Path
    from System import Array
    def proc(input,tree,track):
        path = Path(Array[int](track))
        if len(input) == 0 and none_and_holes: tree.EnsurePath(path); return
        for i,item in enumerate(input):
            if hasattr(item, '__iter__'): #if list or tuple
                track.append(i); proc(item,tree,track); track.pop()
            else:
                if none_and_holes: tree.Insert(item,path,i)
                elif item is not None: tree.Add(item,path)
        if input is not None: t=Tree[object]() ;proc(input,t,source[:]);return t

Obs=lister (Obstruktioner,x)

Slagregn = list_to_tree(J_regn_normal(Vindretning,Nedbør,Vindhastighed,Obs,Temperatur, Væg))
```

Bilag IV: Beregning af trykforskelle i hulrum - Løsning 1 og 2

```
#Inputs:
#Vindretning - VR
#Vindhastighed - VH
#Temp Ude(C) - Tuc
#Inlet areal - A1
#Outlet areal - A2
#Højde: Rist Oppe - HO
#Højde: Rist Nede - HN
#Cp se funktion
#Tryktab Nede - TTN
#Tryktab Oppe - TTO
#Mekanisk genereret internt tryk - Pi_N
#Atmosfaerisk tryk - AT

AT=101325
Cv=0.98
Ck=0.7
Cd=Cv*Ck
Alpha=0.25
k=0.35

#Binær søgefunktion til at finde den rigtige vindtrykskonstant - Cp
def Cp(item):
    alist=[(-315,-0.12), (-270,-0.20), (-225,-0.38), (-180,-0.30), (-135,-0.38), (-90,-0.20), (-45,-0.12),
            (0,0.06), (45,-0.12), (90,-0.20), (135,-0.38), (180,-0.30), (225,-0.38), (270,-0.20), (315,-0.12)]
    first = 0
    last = len(alist)-1
    found = False
    result=0

    while first<=last and not found:
        midpoint = (first + last)//2
        print(midpoint)
        if alist[midpoint][0] == item:
            found = True
            result=alist[midpoint][1]
        elif item > alist[midpoint][0] and item<alist[midpoint+1][0]:
            found = True
            vinkel=item-alist[midpoint][0]
            forhold=(alist[midpoint+1][1]-alist[midpoint][1])/45
            result=forhold*vinkel+alist[midpoint][1]
        elif item < alist[midpoint][0] and item>alist[midpoint-1][0]:
            found = True
            vinkel=item-alist[midpoint-1][0]
            forhold=(alist[midpoint][1]-alist[midpoint-1][1])/45
            result=(forhold*vinkel)+alist[midpoint-1][1]
        else:
            if item < alist[midpoint][0]:
                last = midpoint-1
            else:
                first = midpoint+1

    return result

DeltaH=HO-HN
#Korrigeret vindretning
KVR=101-VR
```

```
Fh_O=k*HO**Alpha
Fh_N=k*HN**Alpha

Tu_K=Tuc+273.15

Vref_O=Fh_O*VH

Rho=1.29*273/Tu_K

Pv_O=Cp(KVR)*0.5*Rho*Vref_O**2

P_O=Pv_O+AT+TTO
P_N=Pi_N+AT+TTN

DeltaP=P_O-P_N

#DeltaP per meter=DeltaPm
DeltaPm=DeltaP/DeltaH

#Outputs:
#Pm_O
#Pm_N

Pm_O=P_O-(DeltaP-DeltaPm)/2
Pm_N=P_N-(DeltaP-DeltaPm)/2
```


Bilag V: Beregning af trykforskelle i hulrum - Løsning 3

```
#Inputs:
#Vindretning - VR
#Vindhastighed - VH
#Temp Ude(C) - Tuc
#Inlet areal - A1
#Outlet areal - A2
#Højde: Rist Oppe - HO
#Højde: Rist Nede - HN
#Cp se funktion
#Tryktab Nede- TTN
#Tryktab Oppe - TTO
#Atomosfaerisk tryk - AT

AT=101325
Cv=0.98
Ck=0.7
Cd=Cv*Ck
Alpha=0.25
k=0.35

#Binær søgefunktion til at finde den rigtige vindtrykskonstant - Cp
def Cp(item):
    alist=[(-315,-0.12), (-270,-0.20), (-225,-0.38), (-180,-0.30), (-135,-0.38), (-90,-0.20), (-45,-0.12), (0,0.06),
            (45,-0.12), (90,-0.20), (135,-0.38), (180,-0.30), (225,-0.38), (270,-0.20), (315,-0.12)]
    first = 0
    last = len(alist)-1
    found = False
    result=0

    while first<=last and not found:
        midpoint = (first + last)//2
        if alist[midpoint][0] == item:
            found = True
            result=alist[midpoint][1]
        elif item > alist[midpoint][0] and item<alist[midpoint+1][0]:
            found = True
            vinkel=item-alist[midpoint][0]
            forhold=(alist[midpoint+1][1]-alist[midpoint][1])/45
            result=forhold*vinkel+alist[midpoint][1]
        elif item < alist[midpoint][0] and item>alist[midpoint-1][0]:
            found = True
            vinkel=item-alist[midpoint-1][0]
            forhold=(alist[midpoint][1]-alist[midpoint-1][1])/45
            result=(forhold*vinkel)+alist[midpoint-1][1]
        else:
            if item < alist[midpoint][0]:
                last = midpoint-1
            else:
                first = midpoint+1

    return result

DeltaH=HO-HN

#Korrigeret vindretning
KVR=101-VR
```

```
Fh_O=k*HO**Alpha
Fh_N=k*HN**Alpha

Tu_K=Tuc+273.15

Vref_O=Fh_O*VH
Vref_N=Fh_N*VH

Rho=1.29*273/Tu_K

Pv_O=Cp (KVR) *0.5*Rho*Vref_O**2
Pv_N=Cp (KVR) *0.5*Rho*Vref_N**2

Pi=1/4*Cp (KVR) *Rho* (Vref_O**2+Vref_N**2)

P_O=Pv_O-Pi+AT+TTO
P_N=Pv_N-Pi+AT+TTN

DeltaP=P_O-P_N

#DeltaP per meter=DeltaPm
DeltaPm=DeltaP/DeltaH

#Outputs:
#Pm_O
#Pm_N

Pm_O=P_O-(DeltaP-DeltaPm)/2
Pm_N=P_N-(DeltaP-DeltaPm)/2
```

Bilag VI: Databehandling af resultater fra Delphin

```
import pprint
import os.path

#FUNKTIONER:

def make_float(a):
    b=[]
    for i in a:
        b+= [float(i)]
    return b

#process_data behandler data output fra Delphin og laver tekstfiler
#med måneds- og årsgennemsnit, som grasshopper kan åbne og håndtere.
def process_data(filename,path,name):
    #Indledning:
    startpoint_found = False
    output_is_valid = True
    current_year = 0
    current_month = 0
    lines_processed = 0
    lines_processed_current_year = 0
    sum_pr_month=[]
    sum_pr_year=[]

    #Åbner filen:
    with open(filename, 'r') as f:
        for line in f:
            #Start på en ny time

            #Leder efter data:
            if line[:8]=='ELEMENTS':
                #Fandt elements
                startpoint_found = True
            elif startpoint_found and '\t' in line:
                data=line.split('\t')[1].split(' ')
                data=data[:-1]

                i = 0
                while i<len(data):

                    while current_month >= len(sum_pr_month):
                        sum_pr_month.append([])
                    while current_year >= len(sum_pr_year):
                        sum_pr_year.append([])
                        #Appendede en måned

                    while i >= len(sum_pr_month[current_month]):
                        sum_pr_month[current_month].append(0)
                    while i >= len(sum_pr_year[current_year]):
                        sum_pr_year[current_year].append(0)
                        #Appendede et element i måneden

                    sum_pr_month[current_month][i]+=float(data[i])
                    sum_pr_year[current_year][i]+=float(data[i])
                    i+=1

                lines_processed+=1
                lines_processed_current_year+=1
```

```
if lines_processed % 10000 == 0:
    print('10000 linjer behandlet')

if lines_processed_current_year == 8760:
    lines_processed_current_year = 0
    current_month+=1
    current_year+=1
    #print('Nået til år ', current_year, ' måned ', current_month)
elif lines_processed_current_year % (24*30) == 0 and lines_processed_current_year <= 24*30*11:
    current_month+=1
    #print('Nået til år ', current_year, ' måned ', current_month)

#Skriver tekstfil af behandlede data
print('Skriver data')

file_m=os.path.join(str(path),str(name)+'_m'+'.txt')
file_a=os.path.join(str(path),str(name)+'_a'+'.txt')
outdata_m = open(file_m, 'w')
outdata_a = open(file_a, 'w')

m=0
d=11

outdata_m.write(str(len(sum_pr_month[0])) + '\n')
outdata_a.write(str(len(sum_pr_year[0])) + '\n')
for i in sum_pr_month:

    for j in i:
        if m%d!=0:
            element=j/720
        elif m%d==0:
            element=j/860
            d+=12
        outdata_m.write(str(element) + '\n')
    m+=1

for i in sum_pr_year:
    for j in i:
        element=j/8760
        outdata_a.write(str(element) + '\n')

outdata_m.close()
outdata_a.close()

#process_points skriver en tekstfil, der indeholder de punkter som definere meshet,
#som Delphin har anvendt på konstruktionen.
def process_points(filename,path,name):
    #Indledning:
    startpoint_found = False
    x_written = False
    y_written = False

    #Åbner filen:
    with open(filename, 'r') as f:
        x=[0]
        y=[0]
        location=os.path.join(str(path),str(name)+'_m'+'.txt')
        point_data = open(location, "w")
```

```
#Søger efter punkter:
for line in f:
    if line[:11]=='TABLE GRID':
        startpoint_found = True

    elif startpoint_found and '0' in line and x_written:
        y=line.split(' ')
        #print('y: ', y)
        y=y[:-1]
        #print('y1: ',y)
        y=make_float(y)
        y_written = True

        print('Antal y-værdier: ',len(y))

    elif startpoint_found and '0' in line and not x_written:
        x=line.split(' ')
        #print('x: ',x)
        x=x[:-1]
        #print('x1: ',x)
        x=make_float(x)
        x_written = True

        print('Antal x-værdier: ',len(x))
    elif x_written and y_written:
        break

#Skriver tekstfil med meshpunkter:
point_data.write(str(len(x)+1)+'\n')
point_data.write(str(0)+'\n')
for j in x:
    point_data.write(str(j)+'\n')

point_data.write(str(0)+'\n')
for k in y:
    point_data.write(str(k)+'\n')
point_data.close()

#EXPORT:
#Filstier til hvor dataen skal skrives til:

path = 'C:\\Users\\Christian\\Dropbox\\Uddannelse\\DTU\\7. semester\\Opgave\\Delphin\\Resultater\\L0'

process_data('temperature_field.out',path,'Temperatur')
process_data('relhum_field.out',path,'Relativ fugtighed')

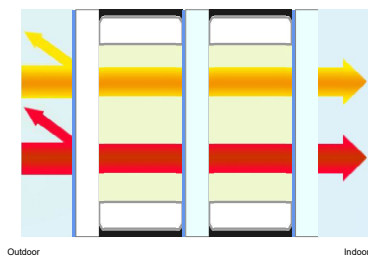
process_points('temperature_field.out',path,'Konstruktion')
```

Bilag VII: Egenskaber for tre-lagsglas fra Calumen II



Calumen® II 1.3.3
20 September 2015
Data base : SGG Nordic

Glazing design



	First glazing	Second glazing	Third glazing
Gas		Argon 90% 14.00mm	Argon 90% 14.00mm
Coating	VISION-LITE	PLANITHERM XN II	PLANITHERM XN II
First glass	DIAMANT 4.00mm	PLANICLEAR 4.00mm	PLANICLEAR 4.00mm
Coating			
Layer			
Coating			
Second glass			
Coating			

Manufacturing sizes

Nominal thickness : **40.0 mm**
Weight : **30.0 kg/m²**

Luminous factors (EN410-2011) : (D65 2°)

Transmittance : **77 %**
Outdoor reflectance : **13 %**
Indoor reflectance : **14 %**

Colour rendering :

Ra : **98** **Transmittance**
Ra : **94** **Outdoor reflectance**

Energy factors (EN410-2011) :

Transmittance : **50 %**
Outdoor reflectance : **35 %**
Indoor reflectance : **32 %**
Absorptance A1 : **2 %**
Absorptance A2 : **8 %**
Absorptance A3 : **4 %**

Solar factors (EN410-2011) :

g : **0.58**
Shading coefficient : **0.67**

Thermal transmission (EN673-2011) - 0° related to vertical position

Ug : **0.6 W/(m².K)**



Christian
DTU
Byg

Phone :
Mobile :
Fax :
s123455@student.dtu.dk

CALUMEN® II is a simulation software to calculate key performance of glass such as light transmission, solar factor or thermal insulation coefficient. Computed values are indicative and subject to change. They can not be used to guarantee performance of the products.

These values are calculated according to EN410-2011 and EN673-2011 standards. Tolerances are defined according to EN 1096-4 or ISO9050-2003 standards. Nevertheless, user must check the feasibility of the associated products, in particular in terms of thickness and colour. Furthermore, it is his responsibility to check that the resulting combination of glazing meets regulatory requirements at national, local or regional level. Computed values with NFRC-2010 standards are indicative. Please use NFRC certified software for certified values.

Calculation rules and functional output of Calumen II have been validated by TÜV Rheinland Quality Report 11923R-11-33705



Kilde: Calumen II

Bilag VIII: Egenskaber for rist

lindab | riste

Ventilationsrist

B3020



Beskrivelse

B3020 er en rektangulær aluminiums rist med faste horisontale lameller.

B3020 anvendes til såvel indblæsning som udsugning og leveres som standard med klemfjedre for montage i trykfordelingsboks type VBA, WB eller monteringsramme type GGR.

B3020 kan endvidere anvendes med mængderegulering GAT.

Vedligeholdelse

Risten demonteres for at opnå fri adgang til trykfordelingsboks eller kanal. De udvendige dele aftørres med en fugtig klud.

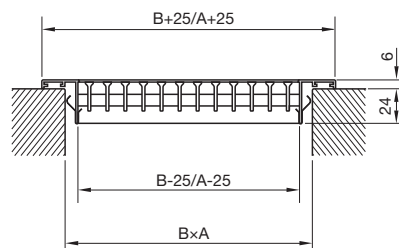
Accessories

Plenum box: VBA, WB
Mounting frame: GGR
Volume regulator: GAT

Bestillingskode

Produkt	B 3020	aaa	bbb
Type			
A - mål			
B - mål			

Dimensioner



A x B mm	Frit areal F (m ²)	Vægt kg
200 x 100	0,0072	0,3
300 x 100	0,0113	0,4
400 x 100	0,0155	0,5
500 x 100	0,0195	0,7
300 x 150	0,0189	0,6
400 x 150	0,0258	0,7
500 x 150	0,0326	1,0
600 x 150	0,0395	1,2
400 x 200	0,0361	0,8
500 x 200	0,0457	1,4
600 x 200	0,0553	1,6

Andre størrelser og typer kan leveres. Se specialrist B.

Materialer og finish

Rist: Aluminium
Standardfinish: Natureloxeret
På bestilling : RAL 9010 glans 30

Risten kan leveres i andre farver. Kontakt venligst Lindabs salgsafdeling for nærmere information.

Ret til ændringer forbeholdes



419

Kilde [8]: <http://itsolution.lindab.com/lindabwebproductsdoc/pdf/documentation/comfort/dk/technical/b3020.pdf>

Bilag IX: Radiance materialer til brug i dagslysbregninger

Radiance materialer							
Materiale navn	Floor	Exterior_Wall	Karm	Context_Material	Ceiling	Single_Pane	Lysskakt
Diffus Reflektant	0,3	0,5	0,5	0,35	0,7	N/A	0,9
Ruhed	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	N/A	0,05
Spejl effekt	0	0	0	0	0	N/A	0
Transmittans	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	0,9	N/A
Anvendt på flader	Dæk og gulve	Inder- og ydervægge	Karme og lysninger	Kontekst bygninger	Løfter og tag	Glas	Lysskakt

Bilag X: U-værdier for tag, terrændæk og vægge med udvendig isolering

Facader med udvendig isolering				
	λ	d	R	U
	(W/mK)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)
Rse			0,040	
Træbeklædning	0,130	0,050	0,385	
Isolering	0,038	0,350	9,211	
Mursten	0,870	0,350	0,402	
Rsi			0,130	
Total		0,750	10,168	0,098

Tag				
	λ	d	R	U
	(W/mK)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)
Rse			0,040	
Tagsten	0,801	0,030	0,037	
Isolering	0,038	0,600	15,789	
Træbeklædning	0,130	0,050	0,385	
Rsi			0,130	
Total		0,680	16,382	0,061

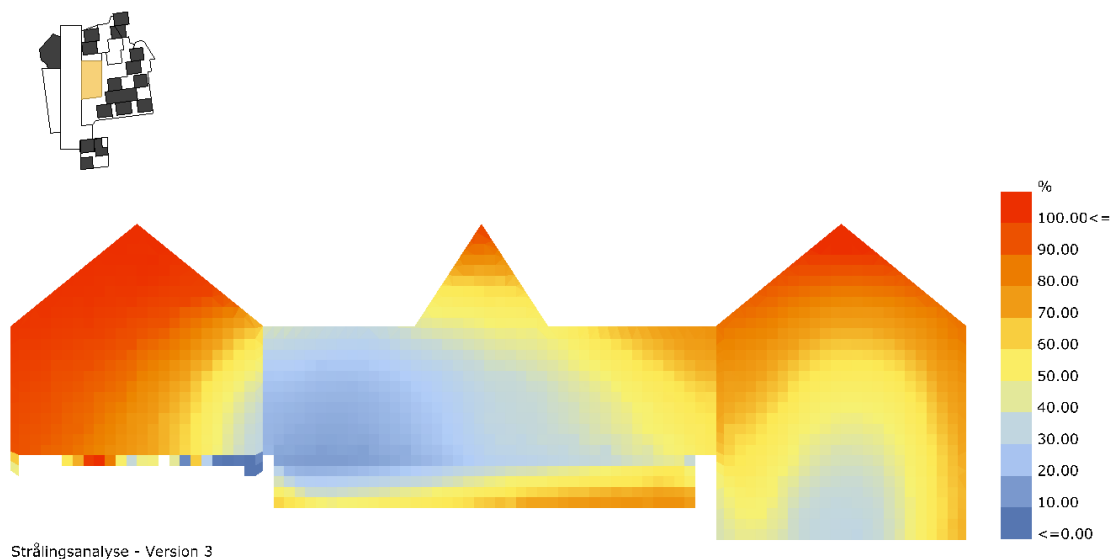
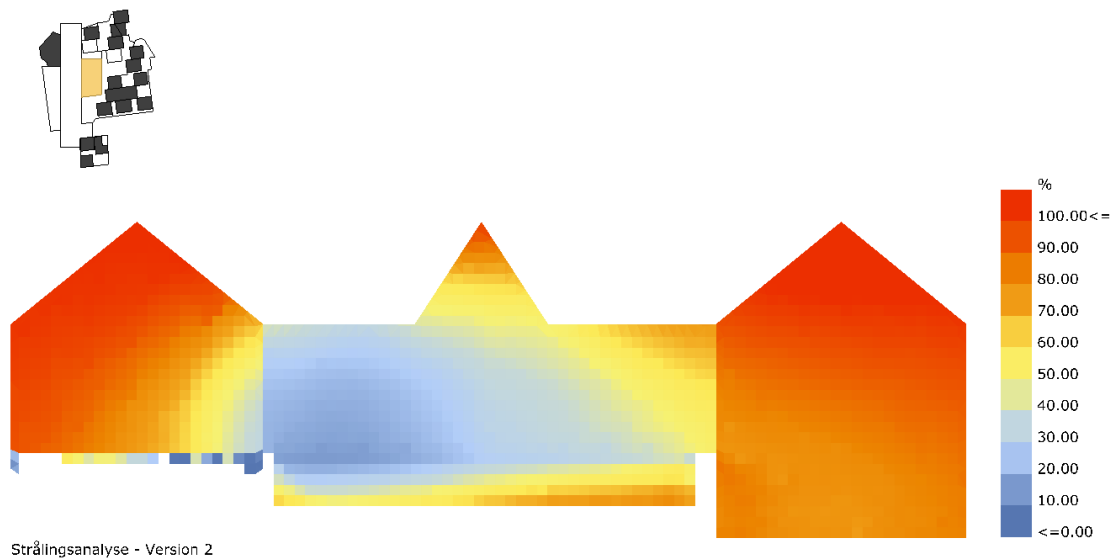
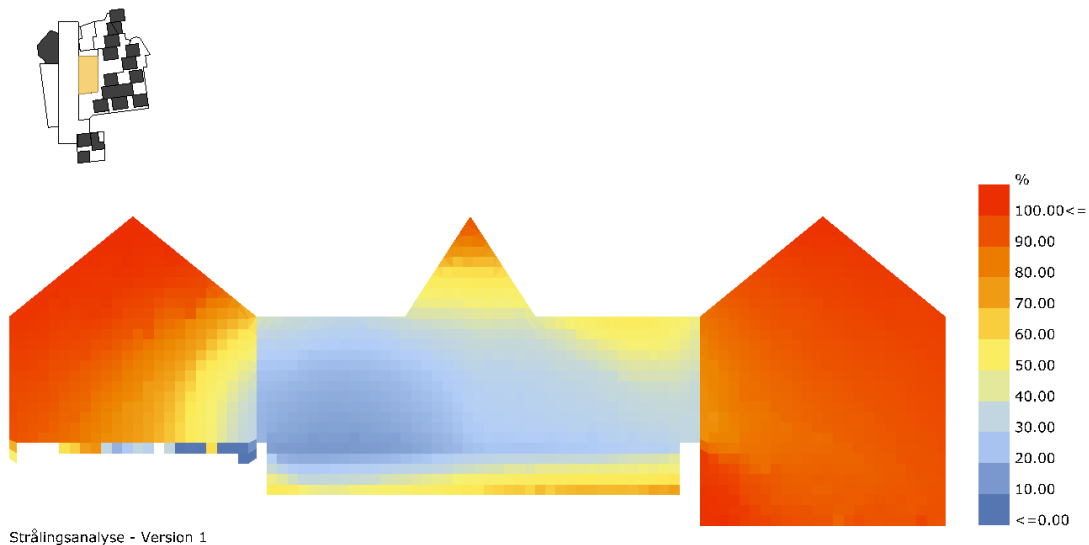
Terrændæk				
	λ	d	R	U
	(W/mK)	(m)	(m ² K/W)	(W/m ² K)
Rse			0,040	
Isolering	0,038	0,300	7,895	
Beton	1,700	0,150	0,088	
Træbeklædning	0,130	0,050	0,385	
Rsi			0,130	
Total		0,500	8,538	0,117

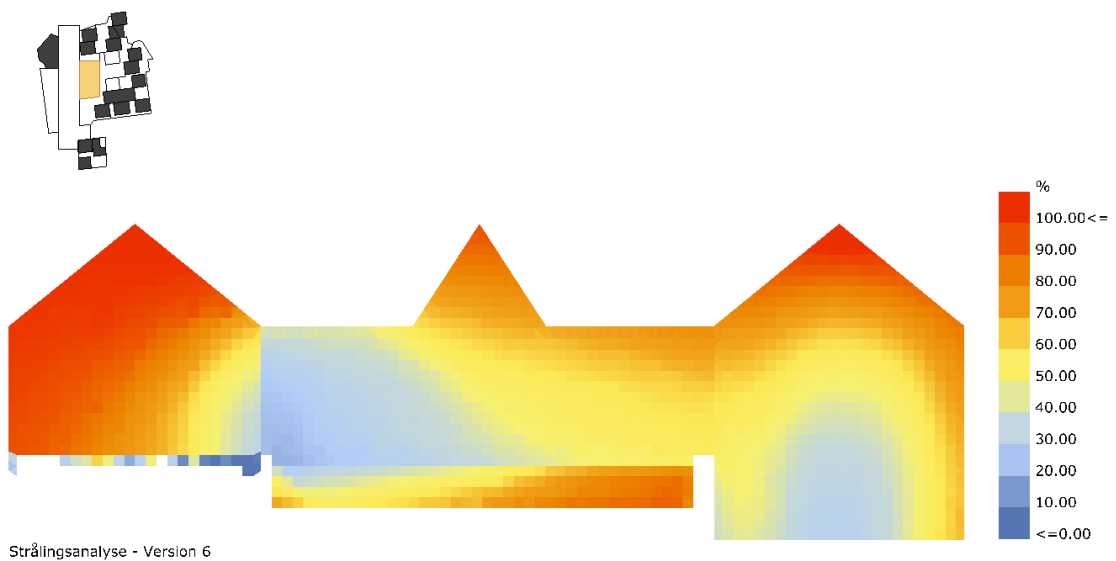
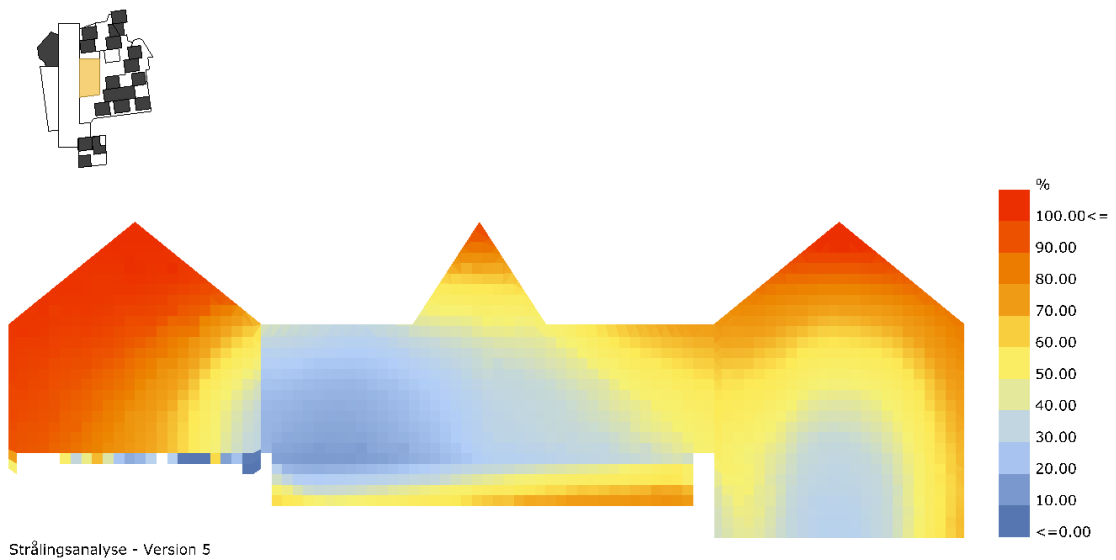
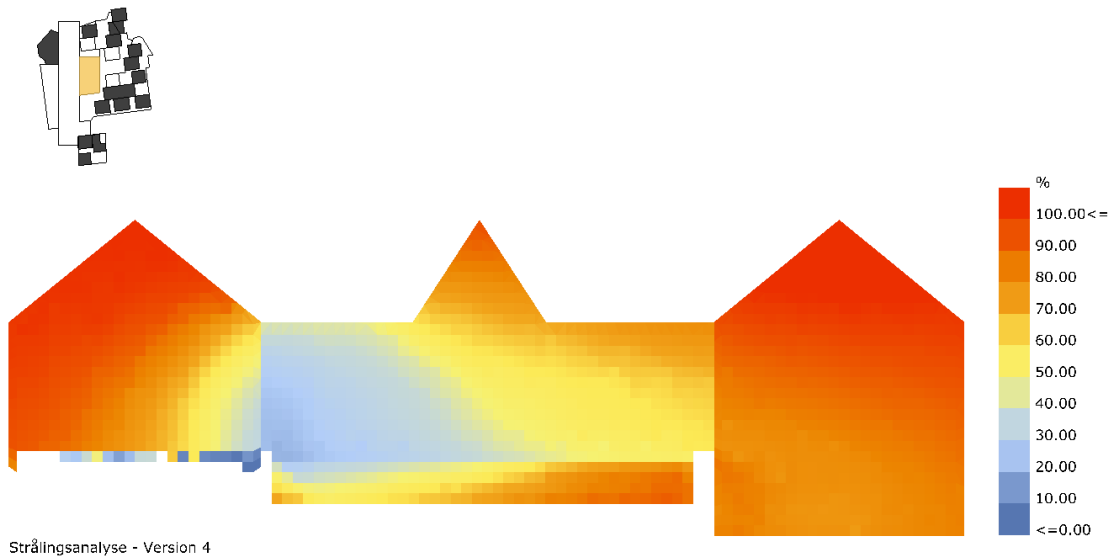
Bilag XI: Grasshopper og Delphin filer

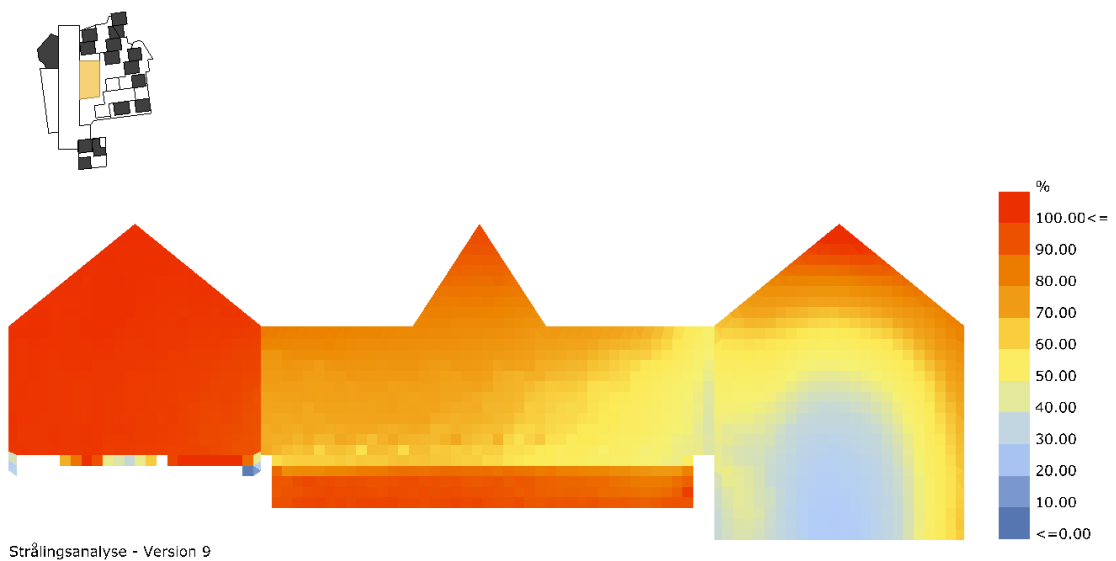
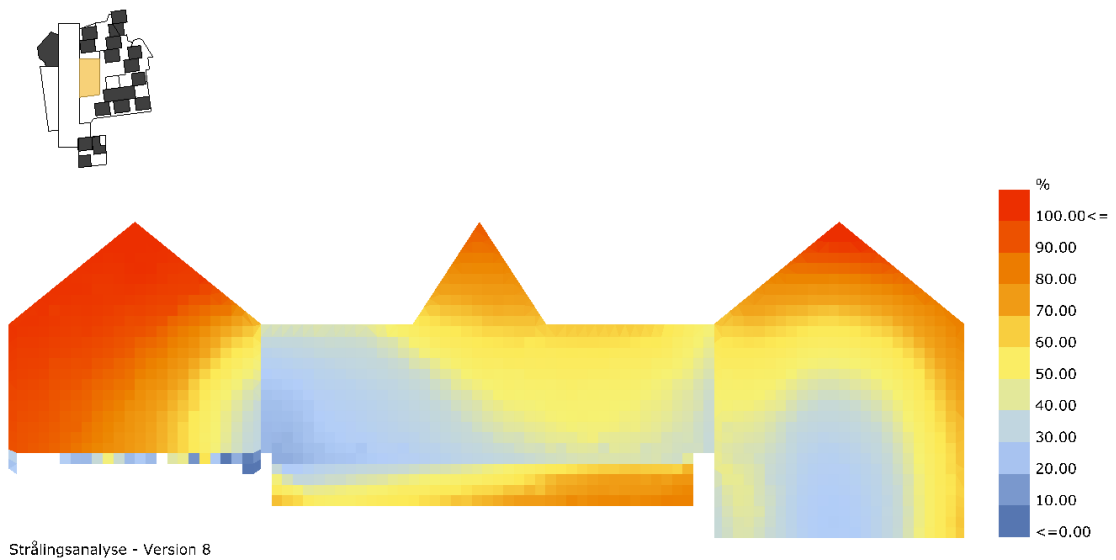
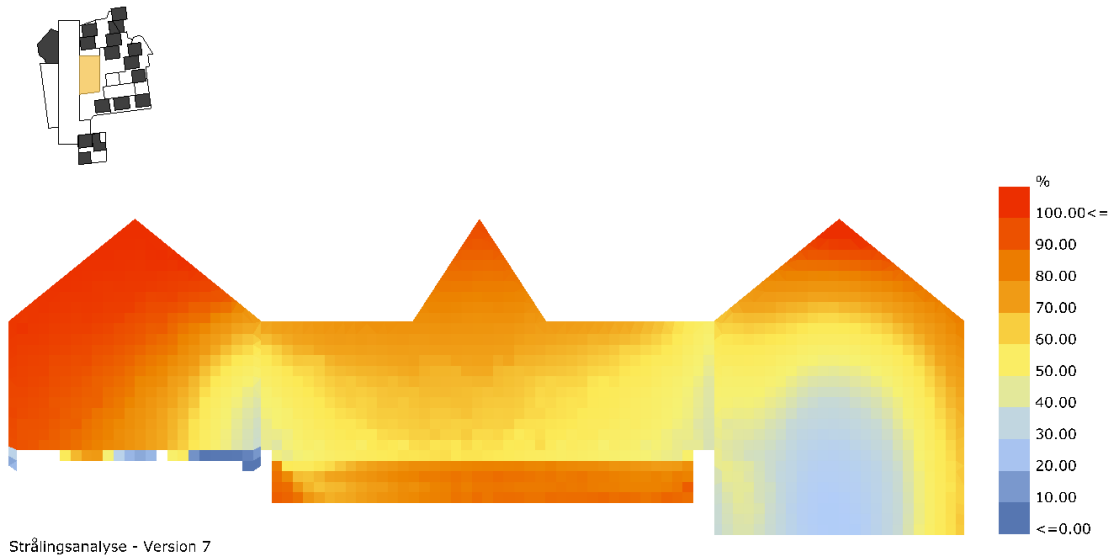
Grasshopper scriptsne kan findes blandt bilagene fra CampusNet eller her: https://www.dropbox.com/sh/6z7lxxvegiz5yy1/AAAKdzb8jbQk0yAP_X2c0p-oa?dl=0

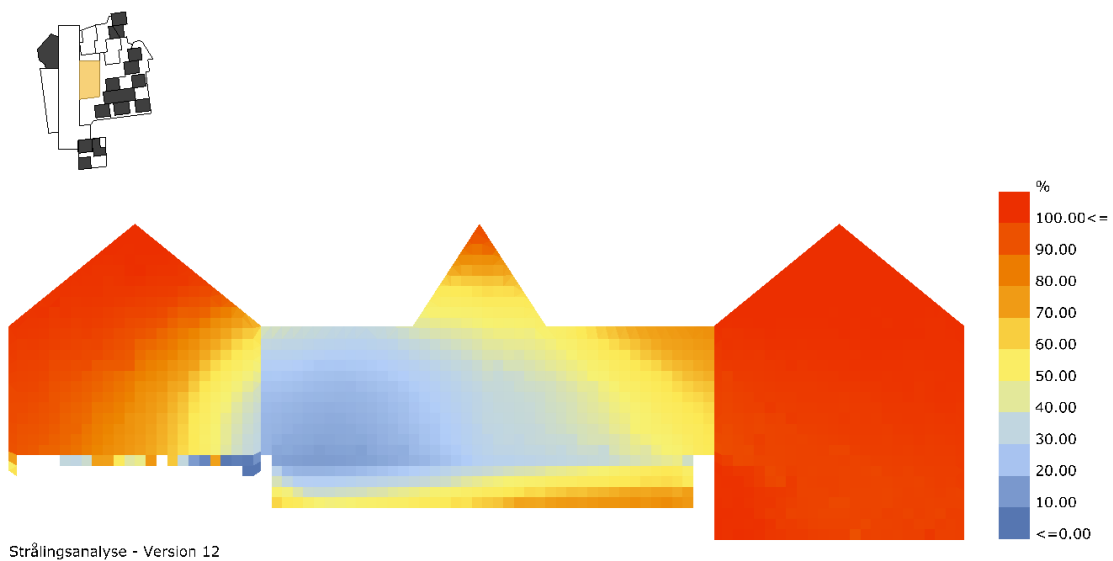
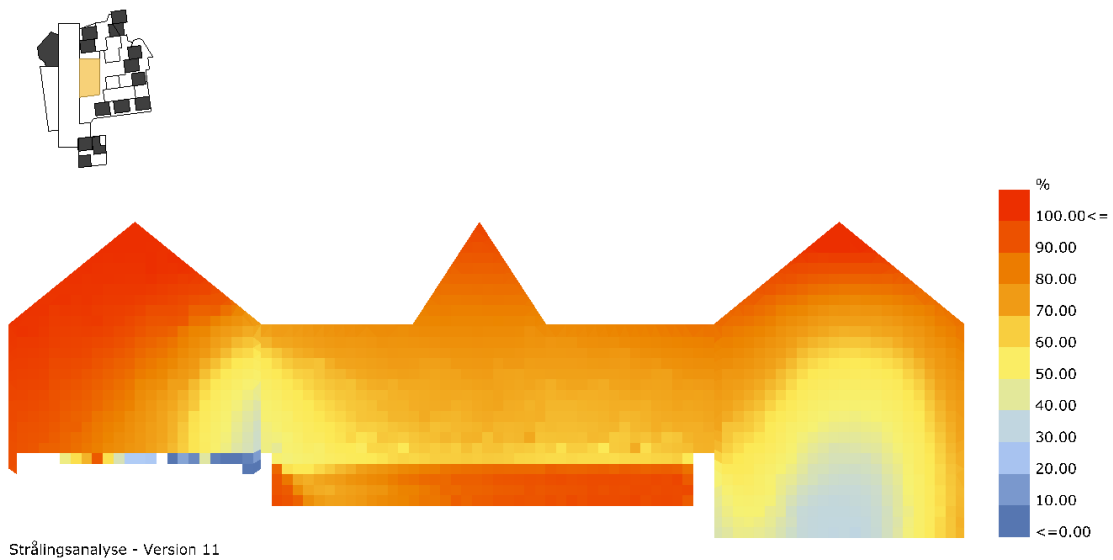
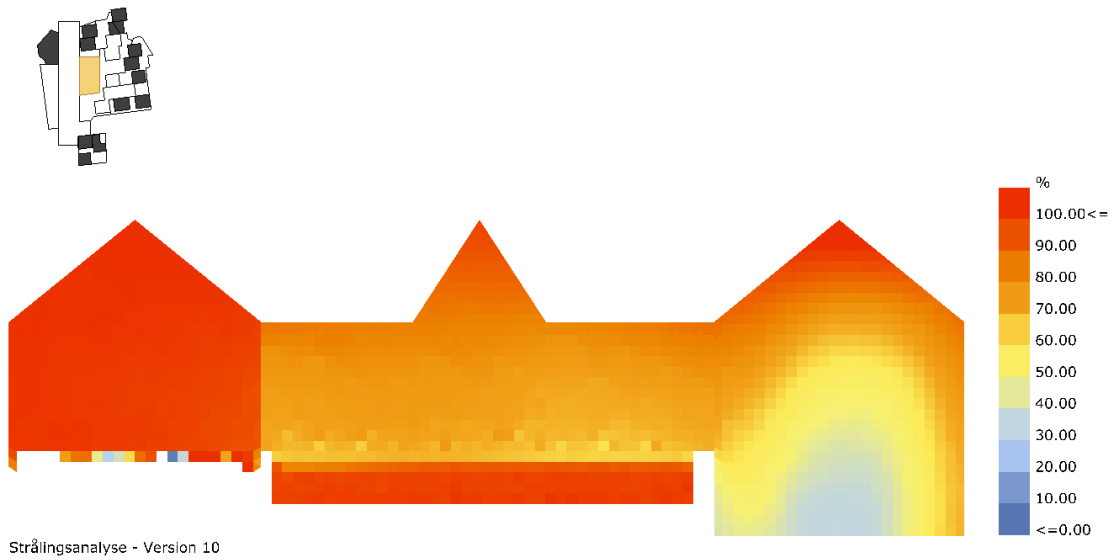
Delphin filerne kan også findes blandt bilagene på CampusNet eller her: https://www.dropbox.com/sh/pt-3jaxy8uux4t4c/AABG6f2zle4H_O_ZVabS7GC7a?dl=0

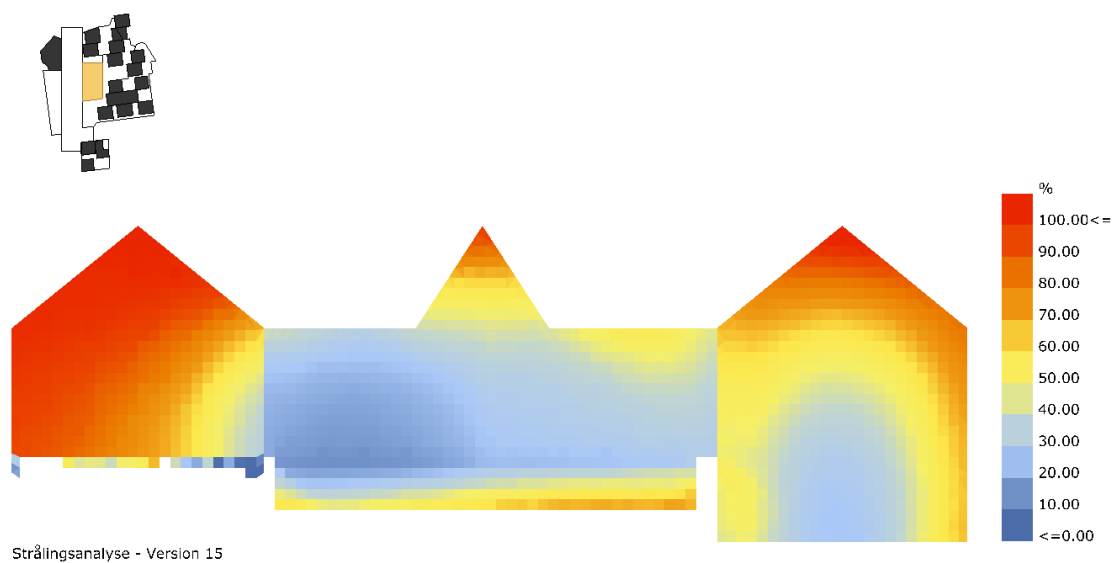
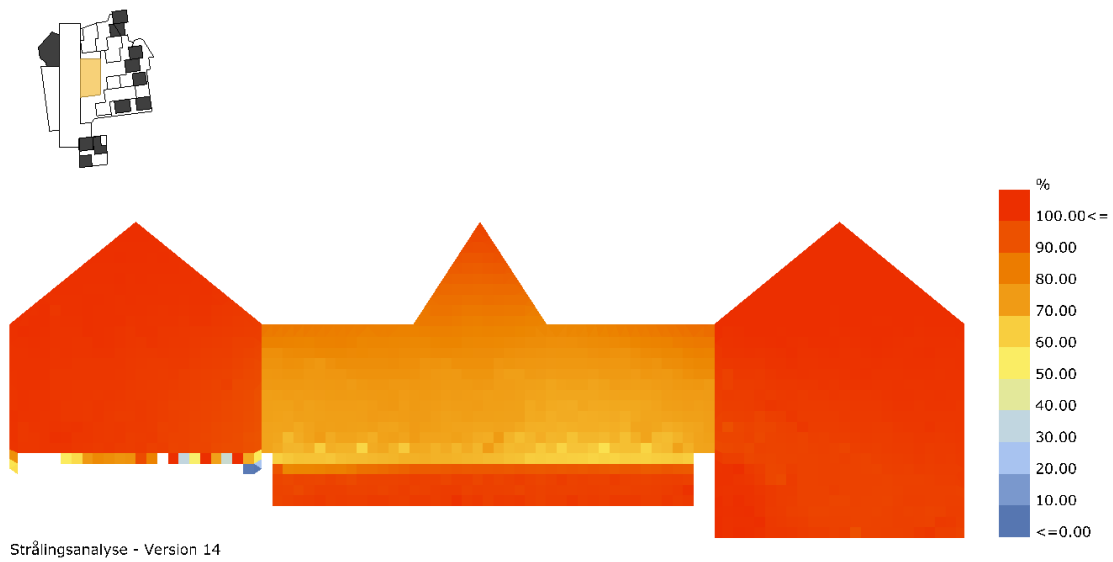
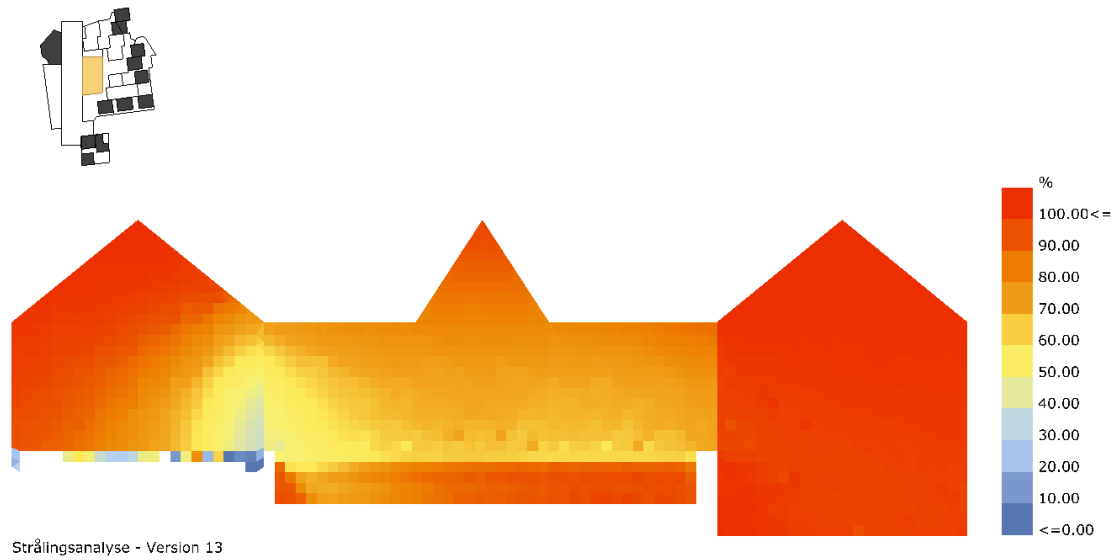
Bilag XII: Solstråling på nord-, øst- og sydfacade

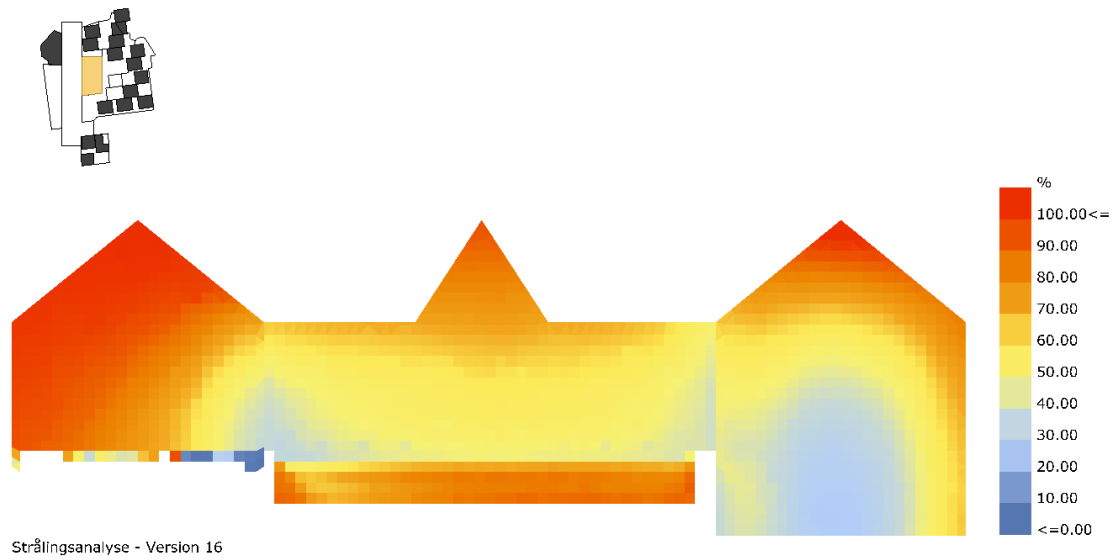




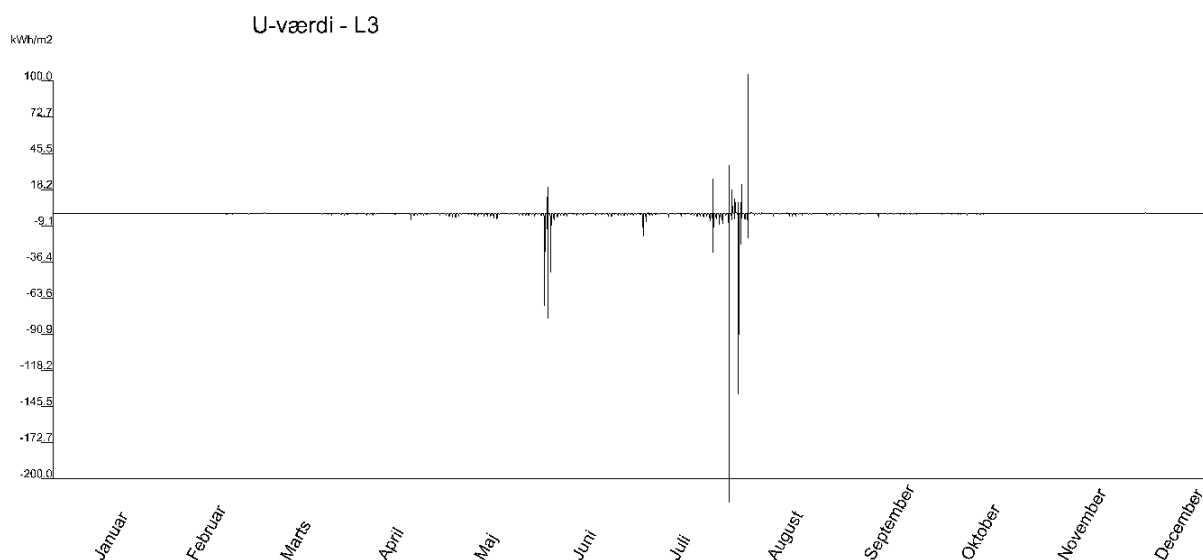
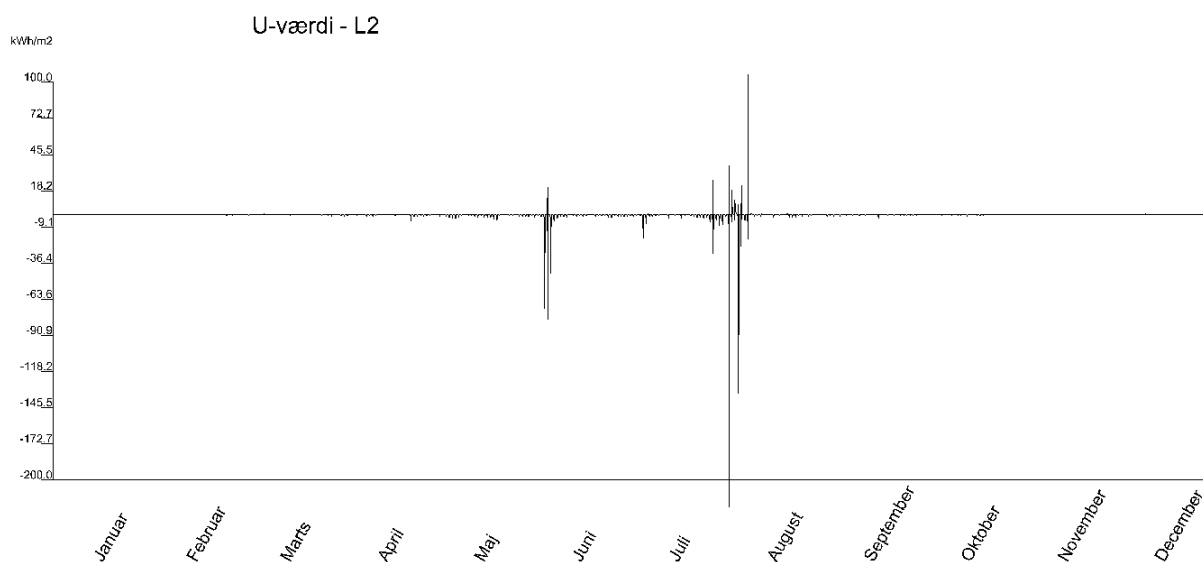
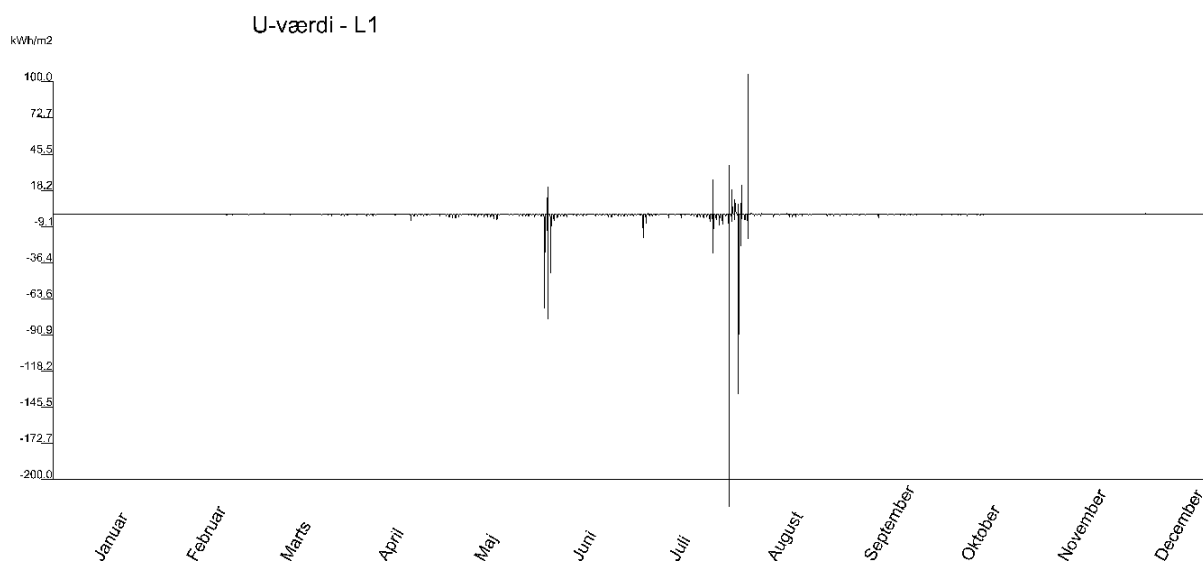




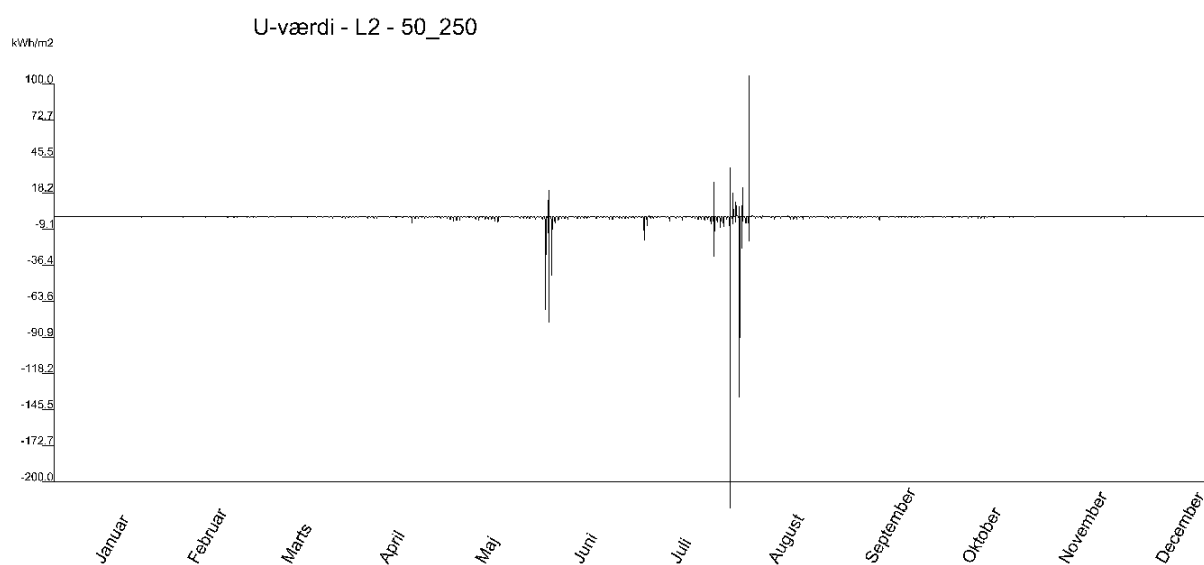
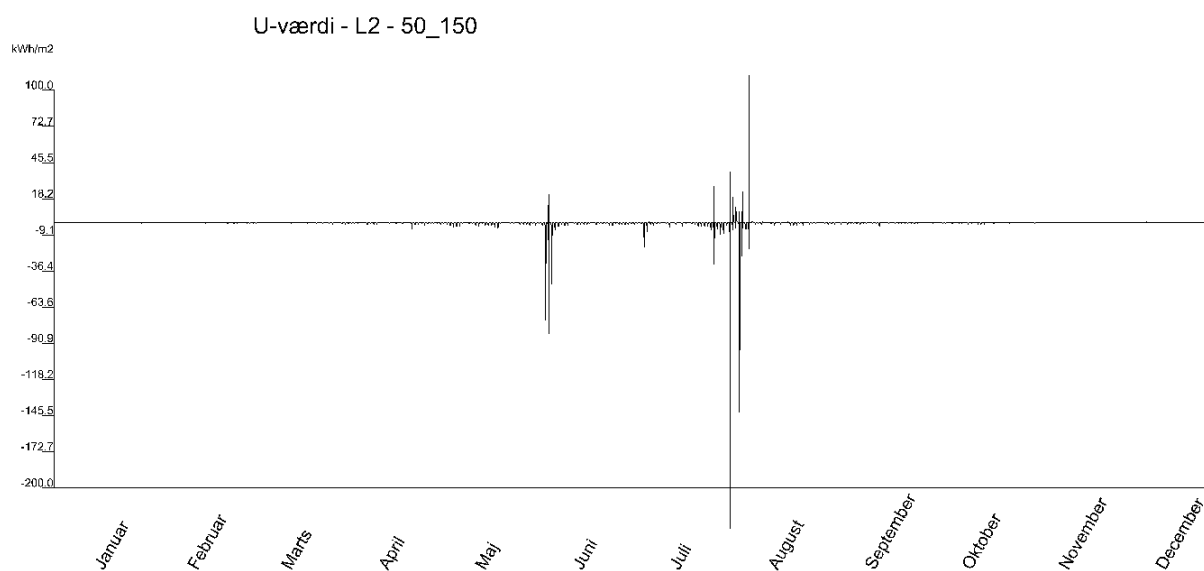
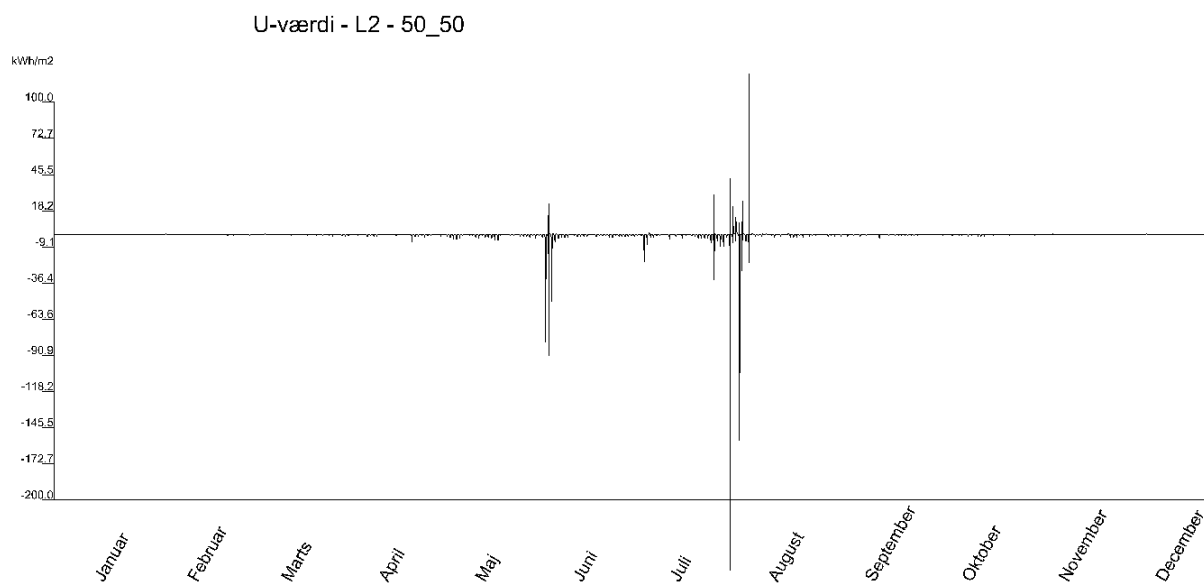




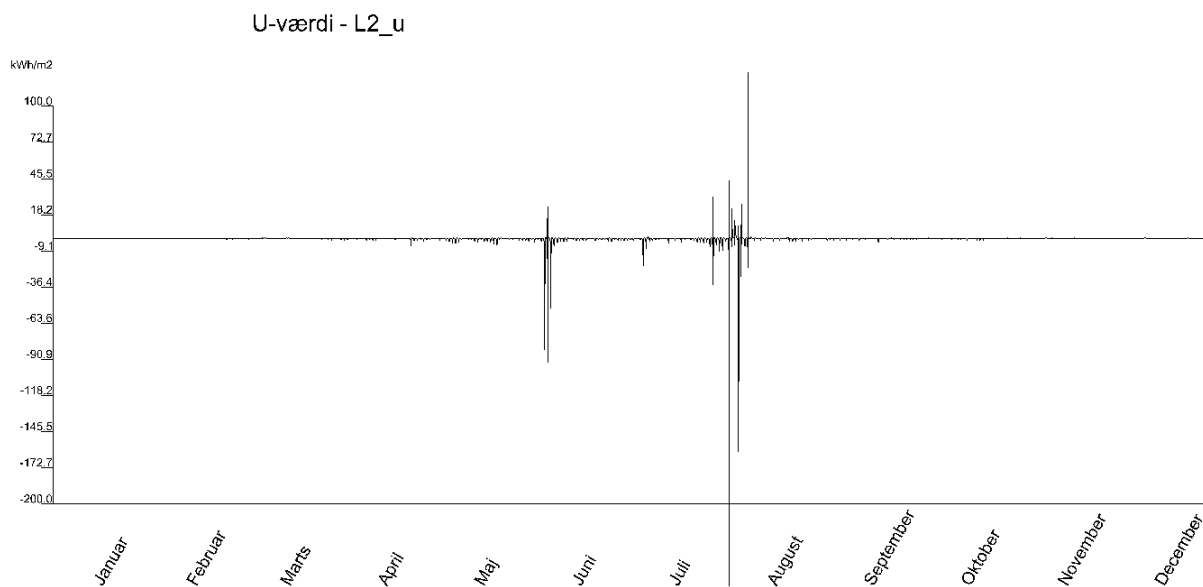
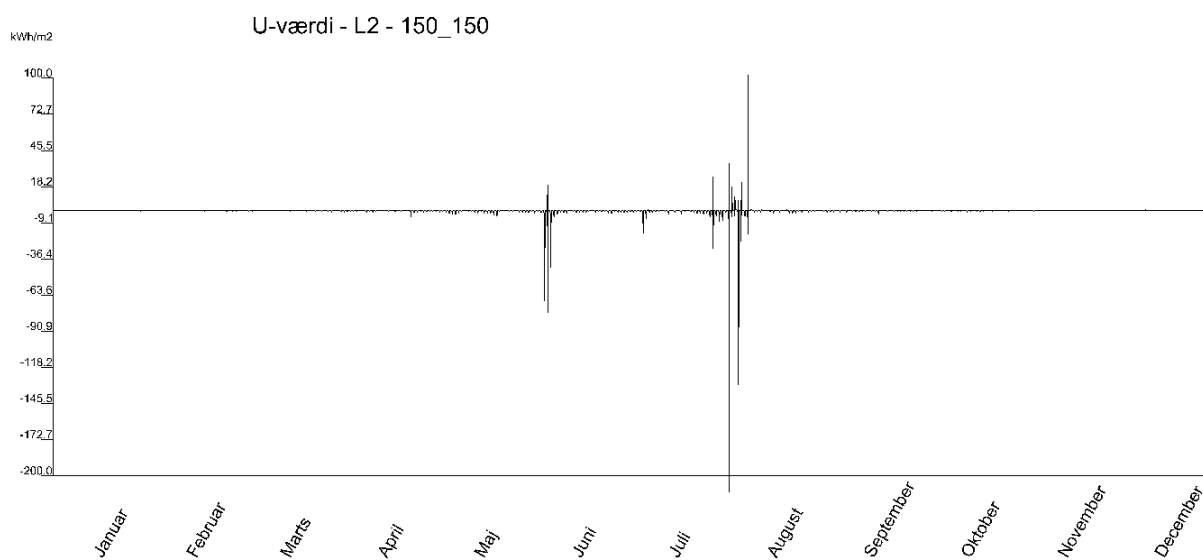
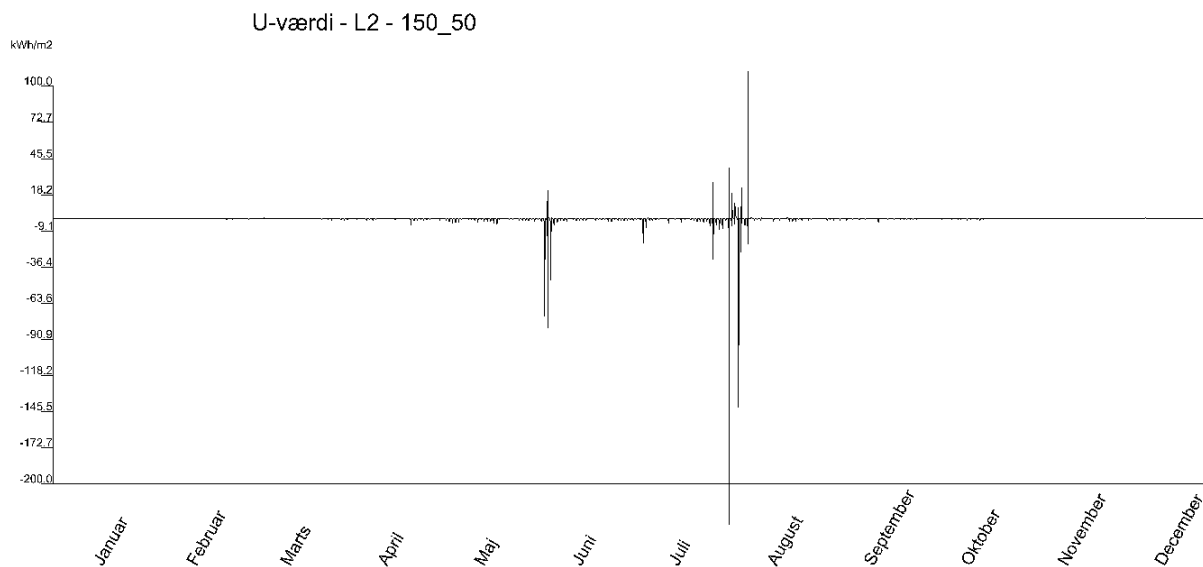
Bilag XIII: U-værdier for løsning 1-3 og variationer



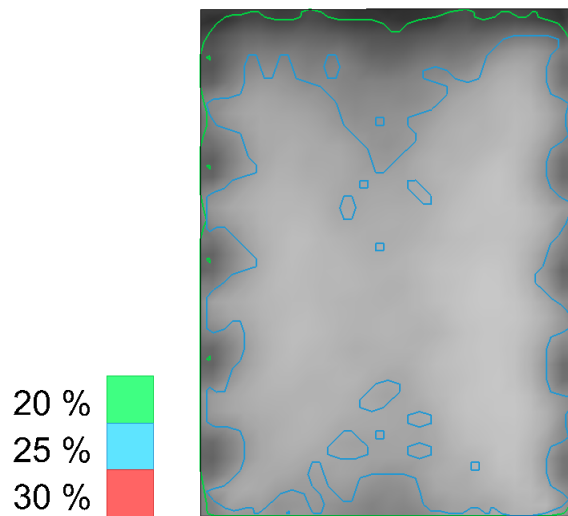
Ventileret facade på Union Canning
En analyse af fugt, skimmelsvamp, dagslys, energi og termisk indeklima



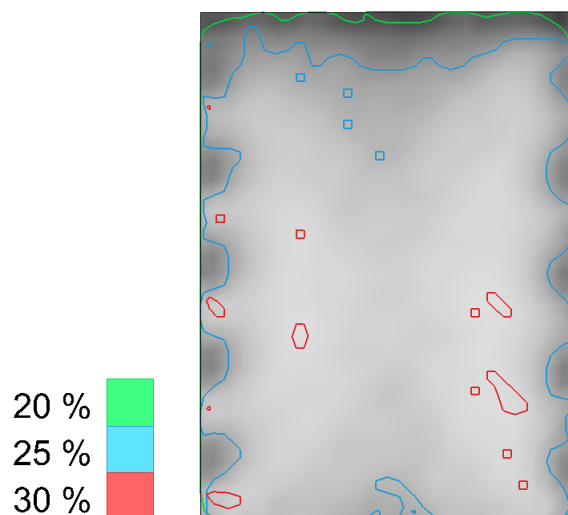
Ventileret facade på Union Canning
En analyse af fugt, skimmelsvamp, dagslys, energi og termisk indeklima



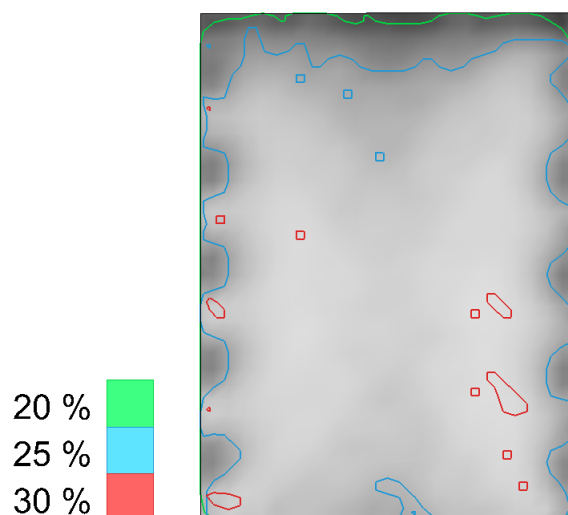
Bilag XIV: Variationer - Termisk Autonomi



L2 - 50_50 - TA

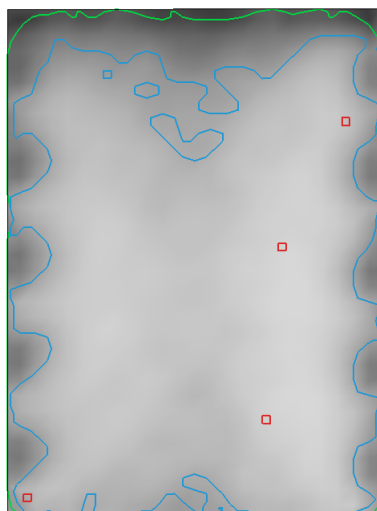


L2 - 50_150 - TA



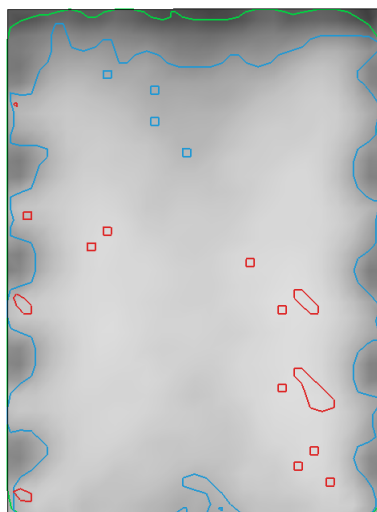
L2 - 50_250 - TA

20 %
25 %
30 %



L2 - 150_50 - TA

20 %
25 %
30 %



L2 - 150_150 - TA

20 %
25 %
30 %



L2_u - TA