

## Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	iii
<b>1 INNLEDNING</b> .....	1
1.1 Introduksjon.....	1
1.2 Problemstilling .....	1
<b>2 TEORI</b> .....	2
2.2 Inneklima.....	5
2.2.1 Termisk komfort (temperatur).....	7
2.2.2 Fuktighetsnivå.....	8
2.2.3 Atmosfærisk komfort (inneluft) .....	11
<b>3 CLIMAWIN-KONSEPT</b> .....	13
3.1 Vinduene og Luftinntaket .....	15
3.2 Avtrekket og varmepumpe VLB 100.....	16
3.3 Begreper, definisjoner og formler.....	19
3.5 Spørreundersøkelse om oppvarming av IR-varmefolie.....	26
<b>4. REALISERTE CLIMAWIN PROSJEKTET</b> .....	26
4.1 Boliger på Korpåsen I Asker Kommune.....	26
4.1.1 Generelle prinsipper og retningslinjer for tekniske løsninger .....	27
4.1.2 Generelle retningslinjer for ventilasjon og oppvarming .....	30
4.1.3 Varmtvann .....	32
4.1.4 Energiforsyning- og produksjon .....	32
4.1.5 Konklusjon og resultater av evalueringen til blokk 1 +2 .....	35
4.2 Dansk lavenergibygg .....	36
4.2.1 Innledning .....	36
4.2.2 Introduksjon av CLIMAWIN .....	36
4.2.3 CLIMAWIN konstruksjon.....	37
4.2.4 Symbol og forklaring til CLIMAWIN verktøy: Et enkelt beregningsverktøy.....	37
4.2.5 Vindusegenskaper.....	38
4.2.6 Ventilasjonsvarmegjenvinning av Climawin .....	39
4.2.7 Climawin verktøy-tilnærming.....	40
4.2.8 WIS-programvare.....	42
4.2.9 WIS Tilnærming.....	43

4.2.10 Måletilnærming .....	43
4.2.11 Sammenligner mellom Climawin, WIS og måletilnærminger .....	47
4.3 Case-studie .....	47
4.3.1 Beskrivelsen av dansk lavenergibygge .....	48
4.3.2 Sammenligningsresultater .....	50
4.4 Energisparingspotensialet til Climawin .....	51
4.4.1 Vindus typer og antall .....	51
4.4.2 Resultater .....	54
4.4.3 Konklusjon .....	56
5 EGEN FELTMÅLING .....	56
5.1 Lokalisasjon .....	56
5.2 Egenskaper for ventilasjonsvinduet .....	57
5.3 Klima .....	58
5.4 For øvrig brukte jeg følgende utstyr .....	58
5.5 Måleutstyr .....	59
5.5.1 Datalogger .....	59
5.6 Eksperimentelt oppsett .....	59
6 RESULTATER .....	60
6.1 Resultatene av feltmålingene .....	60
6.2 Konklusjon .....	62
6.3 Noen generelle betraktninger om ventilasjonsvinduet: .....	62
7 REFERANSER .....	63
Tabellister .....	65
Figurliste .....	65

## SAMMENDRAG

Hovedmålet med denne bacheloroppgaven er å introdusere Sensors ventilasjonsvindu ClimaWin og Sensors konsept for ventilering av og varmegjenvinning i en bygning. ClimaWin-prosjektet er å forbedre både inneluftkvaliteten og energieffektiviteten til nye og renoverte bygg, gjennom bruk av nye grønne smarte vinduer. For å forbedre vinduenes energieffektivitet, brukes bedre

isolasjonsmaterialer i vindusrammer og glass. Climawin-vinduene kan blant annet være egnet ved rehabilitering av eldre bygninger med mangelfulle anlegg for varme og ventilasjon. Climawin-vinduene krever ikke ledninger heller for strøm heller ikke for kommunikasjon. Vinduet får strøm gjennom et batteri (for blinddrift) og et solcellepanel, som gjør det en ideell løsning for ettermontering. For å oppnå kravene til energieffektivitet ble Climawin-systemmaskinvaren, mikrokontroller-programvarearkitekturen og radiokommunikasjonsstrategien designet for lavt strømforbruk. I tillegg kan all informasjon om systemstatus overvåkes og aktiveres ved hjelp av intuitive grafiske applikasjoner utviklet for PC-er og Android OS-smarttelefoner. En ekstern database lagrer all relevant informasjon om systemet, noe som gjør det enkelt å oppdage eventuelle uregelmessigheter eller til og med justere kontrollalgoritmens parametere fra et eksternt sted. Et komplett sett med webtjenester tilbys også for å forenkle kommunikasjonen med hjemme automatiseringssystemer.

I tillegg har Climawin utviklet et enkelt beregningsverktøy for å vurdere bygningers termiske oppførselen og energiytelsen. Oppgaven blir diskutert om et lavenergibygg i Danmark. Denne oppgaven gir en sammenligning mellom de ulike tilnærmingene for å bestemme varmegjenvinningsgrad og energibehov er utført.

I denne rapporten er det utviklet et enkelt beregningsverktøy for å gi en vurdering av den termiske oppførselen og energiytelsen til bygg med Climawin. En case-studier av dansk lavenergibygg er diskutert. For å verifisere nøyaktigheten til Climawin-verktøyet, er et annet bygnings termisk og energisimuleringsprogram BSim involvert. Beregningsresultatene fra Climawin-verktøyet sammenlignes med simuleringsresultatene hentet fra BSim.

## FORORD

Grønt inneklime er en avsluttende oppgave i bachelorstudiet Byggingeniør ved Universitetet i Stavanger og er skrevet i samarbeid med bedriften Sesnor (Smarte Energi Systemer Norge AS). Oppgaven utgjør 20 studiepoeng og er et avsluttende arbeid på en bachelorgrad innen konstruksjonsteknikk.

Jeg ønsker å takke til min veileder Knut Jonas Espedal for gode samtaler og veiledning, I tillegg ønsker jeg å takke til Smarte Energi Systemer Norge AS for deling av alt av nødvendig dokumentasjon.

Grønt inneklime er skrevet av Morris Van Hawi Cinzah, våren 2022.



# 1 INNLEDNING

## 1.1 Introduksjon

Mennesker i europeiske byer tilbringer ca.90 prosent av tiden innendørs, basert på Klima- og forurensningsdirektoratet, 2010, dette tilsvarer at nærmere 2 og halv timer ute for å få frisk luft daglig. Hvorfor er miljøet vi lever i hver dag som hjem, arbeidsplassen, universitet og barnehage osv. så viktig? Vi vet stadig mer om hvor viktig innemiljøet er for helsen vår. Det samme innemiljøforholdene kan føre til ulike personlige reaksjoner. Det er en åpenbar grunn, Ikke alle mennesker er i samme situasjon fordi folk er forskjellige. En annen årsak er at fysiske forhold som temperatur, lydnivå, lys, CO2-nivå osv. kanskje ikke påvirker tilfredsheten til innemiljøet. Det kan være andre faktorer som ikke er relatert til kvaliteten på innemiljøet, som for eksempel de personlige egenskapene til beboerne som kjønn, alder og opprinnelsesland. Bygningsfaktorer som interiør, type og kontroll av innemiljøet og ytre klima som inkludert sesongmessige endringer avgjør om innemiljøet er behagelig; Til slutt Standarder setter betingelser for visse innendørsmiljøer, og folk oppfatter deres innflytelse i reaksjonene sine. Det er foreløpig ukjent hva folk vil gjøre etter at folk forlater stillingen. Mange studier også undersøkte spørsmålet om forbindelsen med et sunt og komfortabelt innemiljø hvordan bygningsbeboere førnøye i innendørsmiljøer, og det var hovedsakelig fokusert på at effekten av enkeltmiljøforhold på mennesker, f.eks. det visuelle miljøet (Galasiu og Veitch, 2006), det akustiske miljø (Navai og Veitch, 2003) og det termiske miljøet (Fanger, 1970).

Bachelorsoppgaven min skal presentere og finne ut om ikke bare hvordan kan man utvikle fremtidige løsninger for å gjøre beboerne i bygget, og for å kontrollere et behagelig innemiljø. At innemiljøet påvirker helsen, har mennesker visst i tusenvis av år, men vi vet stadig mer om dette.

## 1.2 Problemstilling

Temaet for denne bacheloroppgaven er Sesnors ventilasjonsvindu ClimaWin og Sesnors konsept for ventilering av og varmegjenvinning i en bygning. Oppgaven beskriver viktige faktorer for innemiljøet i en bygning, og drøfter hvordan Sesnors løsninger fungerer i ulike situasjoner med tanke på inneklime og øvrige bygningsmessige utfordringer.

## 2 TEORI

### 2.1 Ventilasjon

#### Hva er hensikten med å ventilere?

Hensikten med å ventilere er at for å få et frisk, sunt, godt og komfortabelt inn klima uten å bidra til helseplager, og for å fjerne eller ta de vekk unødvendige helserisiko for mennesker som fukt, lukt og forurensninger fra personer og materialer.

#### Hovedfunksjon i ventilasjonen

Det finnes to forskjellige hovedformål ventilasjonsanlegg i boliger.

- a) Sikre luftkvalitet for brukerne innendørs for å ha god helse og tilfredsstillende komfort
- b) Begrense luftfuktighet mengde innendørs, og dermed bidrar til å hindre av kondens og fuktskader på boligs innvendige overflater.

#### Krav til inneluftkvalitet

Inneluften skal være ren og behagelig for mennesker som er i innendørs. Det betyr at luften ikke skal inneholde forurensninger som er skadelige for menneskers helsefare og irritasjon. Det er også viktig at før den forurensninger uteluften tilføres til bygning, skal luften renses for forurensning.

Ventilasjonsanlegget plasseres på riktig måte for å unngå at forurensninger trekkes inni i bygningen.

Ulemper -

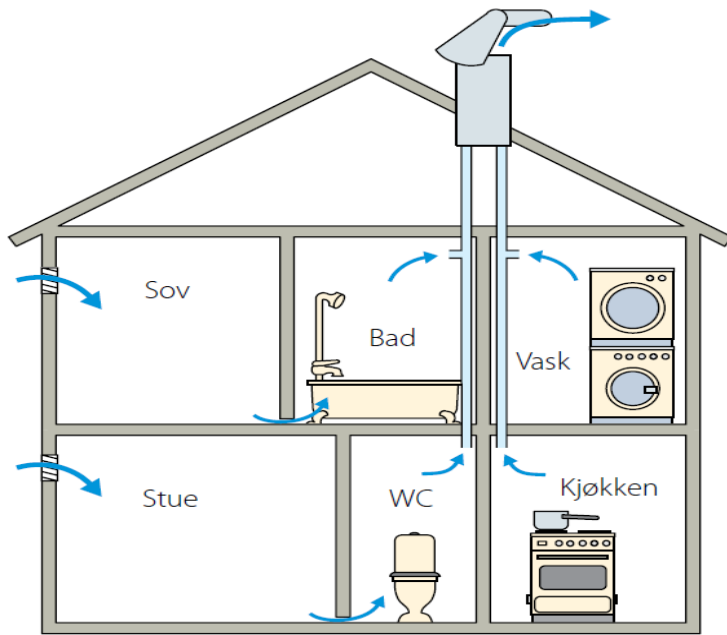
#### Ulike typer ventilasjon prinsipper

Det finnes vanligvis tre forskjellige typer ventilasjonssystemer en i bolig:

- 1) Naturlig ventilasjon
- 2) Mekanisk ventilasjon, og
- 3) Balansert ventilasjon
- 4) Hybrid ventilasjon

#### 2.1.1 Naturlig ventilasjon

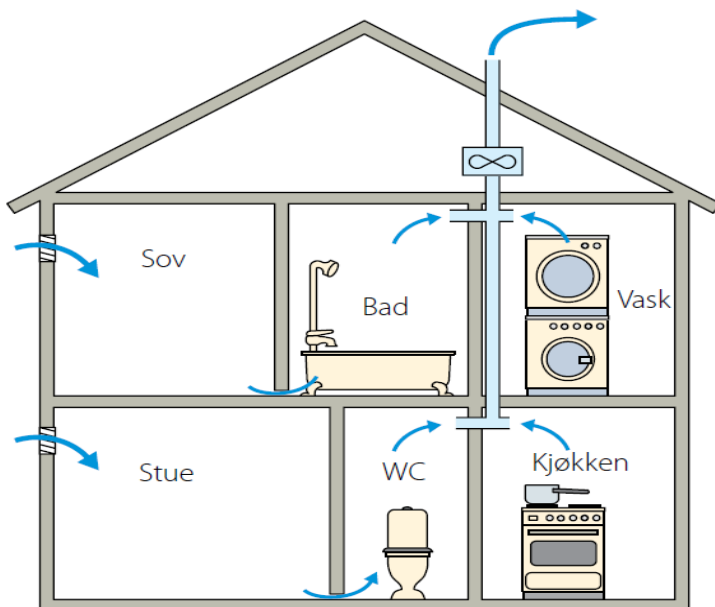
Naturlig ventilasjon betyr at man får friskluft inn gjennom vinduer og ventiler, og vinduskarmer på en helt gratis måte. Naturlig ventilasjon gir en behagelig og frisk luft i rommet.



Figur 1: Eksempel på naturlig ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

### 2.1.2 Mekanisk ventilasjon

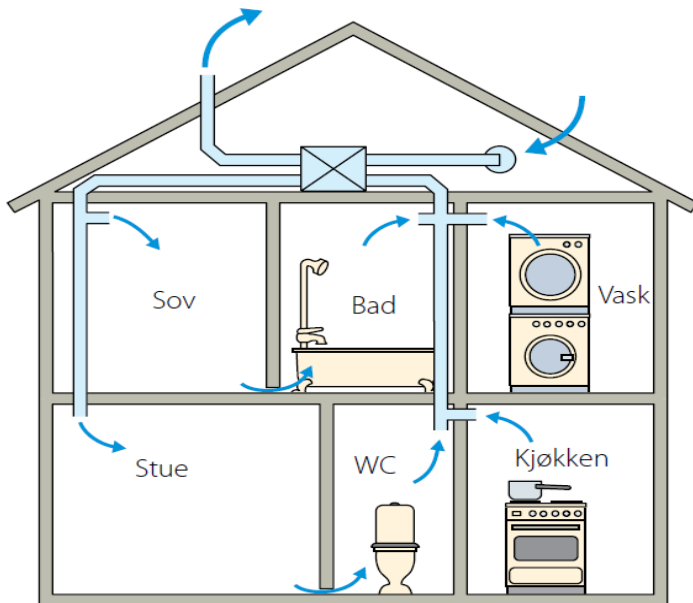
Prinsippet for mekanisk ventilasjon er viften som avhenger av motor for å bevege seg, og tilføre friskluft til rommet mens avtrekker brukt luft som fukt, lukt og forurensning ut med viften. Sammen med viftene er det plassert utstyr som renser, varmer opp og overfører energi fra den brukte til den friske lufta.



Figur 2: Eksempel på mekanisk ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

### 2.1.3 Balansert ventilasjon

Et balansert ventilasjonsanlegg har et viftesystem som både tilfører sunn og frisk luft i rommet, og fjerner ut brukt luft. Mellom 70 og 90 prosent av varmen fra den gamle luften overføres til frisklufta. Frisk luft blir jevnt fordelt. Derfor behøves det ikke ekstra energi for å varme opp frisk luft (Enova, 2016).



Figur 3: Eksempel på balansert ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

### 2.1.4 Hybrid ventilasjon

Hybrid ventilasjon har vifter, men naturlig fremdrift brukes her bevisst for å generere minst mulig viftekraft. I slike systemer kombineres ulike fordeler med naturlig og mekanisk ventilasjon for å skape et best mulig system. Summen av de naturlige og mekaniske drivkreftene må alltid være tilstrekkelig for å overvinne trykktapet inne i anlegget. Når naturkreftene er tilstrekkelige til å gi en tilfredsstillende luftstrømtemperatur og luftkvalitet for ønsket ventilasjonsmengde, blir vifter slått av (Schild et al., 2003).

Ved bruk av mekanisk avtrekksventilasjon i bygget, for eksempel på kjøkken og bad, sikres et undertrykk i bygget slik at luft passerer gjennom vinduet fra utsiden til innsiden (Southall og McEvoy 2006). Ulempen med denne metoden er at den ikke kan brukes med doble luftstrømsvinduer siden luften kun går i en retning.

Naturlig ventilasjon drives av oppdrift av varmere luft og vindtrykk. Dette er vanskelig å modellere i simuleringer, blant annet fordi både vind og temperaturforskjeller endrer seg kontinuerlig (Carlos, et al. 2011).

### 2.1.5 Fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystemer

Vi ser at alle de tre ventilasjonssystemene har ulike sine fordeler og ulemper. Folk er forskjellige og har forskjellige prioriteringer. Noen fokuserer på byggekostnader, mens andre fokuserer på totaløkonomien. Noen folk synes moderne teknologi fungerer bra, mens andre folk tenker dårlig om



maskiner. Mange er opptatt av å slippe sus og støy. Tabellen viser nedenfor hva som er fordelene og ulempene ved å benytte ulike ventilasjonssystemer:

**Tabell 1:** Fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystemer (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

Egenskap	System			Kommentar
	Naturlig ventilasjon	Mekanisk avtrekks-ventilasjon	Balansert ventilasjon (med varmegjenvinning)	
Stabile luftmengder	Luftmengdene varierer	Stabile luftmengder	Stabile luftmengder	
Styring av luftmengder	Liten mulighet for styring	En viss mulighet for styring	Mange måter å styre på	
Støy	Tilnærmet lydløst	Fare for støy	Fare for støy	Støyproblemene kan reduseres når vi bruker lydfeiler
Risiko for trekk	Vanlegvis ikke noe problem	Fare for trekk	Ein viss fare for trekk	
Behov for vedlikehold	Tilnærmet vedlikeholdsfritt	Krever lite vedlikehold	Krever regelmessig vedlikehold	
Feilfunksjon	Fungerer som forventet Driftstrykket er avhengig av værforholdene	Fungerer som forventet	Fungerer ofte dårligere enn tenkt	Manglende innsikt og dårlig vedlikehold fører dessverre ofte til feilfunksjon
Svikt	Liten fare for svikt	Vifta kan ryke Stopper ved strømbrudd	Maskineriet kan fuske/stoppe Stopper ved strømbrudd	
Filtrering av tilluft	Ikke mulig i praksis	En viss mulighet for filtrering – ikke vanlig	Er vanlig, går greit	
Ombygging og/eller utviding	Tidligere uproblematisk Vanskeligere med dagens krav om større kanal-tverrsnitt	Ombygging og/eller utvidelse vanligvis uproblematisk	Ofte svært vanskelig å legge om kanalføringene	Etter en viss periode vil de fleste bygninger bli endret og/eller utvidet
Varmetap	All friskluft må varmes opp	Varmegjenvinning mulig – men ikke vanlig	Mye mindre varmetap fordi varmegjenvinning er normalt	Med et ventilasjonsvolum etter forskriftene kan man med varmegjenvinning spare over 10 000 kWh/år
Investeringskostnader	Små	Lave	Mye større enn ved de to andre alternativene (20 000–30 000 kr ekstra)	Investeringskostnadene bør ikke være avgjørende. En investering på 15 000 innebærer ein ekstra-kostnad på ca 6 kr/dag
Driftskostnader	Ingen driftskostnader	Stort sett strømutfgifter (200–500 kWh/år)	Strømutfgifter + vedlikehold	
Totaløkonomi	Lave investeringskostnader, men høge driftskostnader (på grunn av varmetap)	Lave investeringskostnader, men høge driftskostnader (på grunn av varmetap)	Best totaløkonomi	

## 2.2 Inneklima

### WHO

Verdens Helseorganisasjons (WHO) har definert inneklima gjennom fem inneklimatefaktorer.

- Termisk miljø**  
 Romlufts temperatur, omgivende flaters temperatur, luftfuktighet, lufthastighet og trekk, påkledning og aktivitetsnivå.
- Atmosfærisk miljø.**  
 Gasser/damper, lukter og partikler i lufta vi puster inn. For eksempel: Bakterier, pollen, muggsopp, husstøvmidd og rester av dødt stoff som hudavfall, flass og middrester. Kjemiske stoffer som avdamping fra rengjøringsmidler og lim. Stekos og lukt fra matlaging.
- Aktinisk miljø.**  
 Naturlig lys/elektrisk belysning. Lysstyrke, blending, reflekser. Radongass fra grunnen. Elektriske og magnetiske felt.
- Akustisk miljø.**  
 Lyd og lydoppfattelse; støy og vibrasjoner, lydoverføring og etterklangstid.
- Mekanisk miljø.**

Gulv (sklisikkerhet), innredningens tilpasning til brukerne, påvirkning fra de fysiske omgivelsene. Ergonomi, sittestillinger og utforming av arbeidsplassen.

Dersom vi legger til ytterligere to faktorer, får vi WHO's definisjon av innemiljø:

**Estetisk miljø** (pent/stygt). Alt som innvirker på våre sanser. (syn, hørsel, lukt, smak, berøring og likevekt) vanligvis med hovedvekt på synsinntrykk.

**Psykososialt miljø**. Mellommenneskelige forhold og sosialt miljø.

## **TEK17**

Norske myndigheter definerer inneklime i form av de krav som stilles til bygninger i TEK17 i kapittel 13. Vi kan merke oss at dette kapitlet heter inneklime og helse, og slik sett fanger opp de samme forholdene som WHO gjør i sin definisjon av innemiljø. WHO og TEK ordlegger seg ulikt, men i det alt overveiende er det de samme faktorene det dreier seg om.

### **Kapittel 13 inneklime og helse**

§ 13-1, 2 og 3 Ventilasjon

§ 13-4 Termisk inneklime

§ 13-5 Radon

§ 13-6 Lyd og vibrasjoner

§ 13-7 Lys

§ 13-8 Utsyn

§ 13-9, 10,11,12,13,14, og 15 Fuktproblematikk

§ 13-16 Rengjøring for bygningen tas i bruk

Innemiljøet er viktig for vår helse, trivsel og produktivitet. Et dårlig innemiljø kan bidra til sykdom og plager hos mange mennesker, men personer med astma, allergi og andre overfølsomhetssykdommer er spesielt sårbare og kan få betydelige økte helseplager i bygg med dårlig inneklime.

Men også friske personer kan få merkbare helseplager ved å oppholde seg over tid i bygg med dårlig innemiljø. Vanligst er plager som gjentakende luftveisinfeksjoner, hodepine, unormal tretthet, tørr hud, tørre og såre slimhinner i øyne, nese og hals, nedsatt konsentrasjon og arbeidsevne.

I denne oppgaven skal vi se nærmere på det termiske inneklimeet (WHO's pkt.1 og TEK17 § 13-4) og det atmosfæriske miljøet (WHO's pkt. 2 og TEK17 §13, 1,2 og 3)

### 2.2.1 Termisk komfort (temperatur)

” Termisk komfort er en subjektiv følelse der vi er tilfredse med de termiske omgivelsene. Vi ønsker det verken kaldere eller varmere, verken for kroppen som helhet eller for de enkelte kroppsdelenes som føtter, nakke e.l.” (Blom, 1999).

Termisk komfort er avhengig av menneskekroppen aktivitetsnivå, klær, isolasjon og relativ fuktighet. I kalde omgivelser mister kroppen mer varme og i varme omgivelser avgir ikke kroppen nok varme. Det gir ubehag i både varme og kulde. Denne typen komfort kan påvirkes av både indre og ytre faktorer, så ikke alle vil trives i samme innemiljøet. De tre viktigste ytre faktorene er lufttemperatur, fuktighetsnivå og overflatetemperatur. For å finne ut den effektive temperaturen inn i rommet, så kan vi skrive den slik:

$$T_{\text{eff}} = \frac{T_t + T_v + T_o}{3} - 2,2v$$

Her er

$T_{\text{eff}}$  = den effektive temperaturen

$T_t$  = lufttemperaturen i rommet

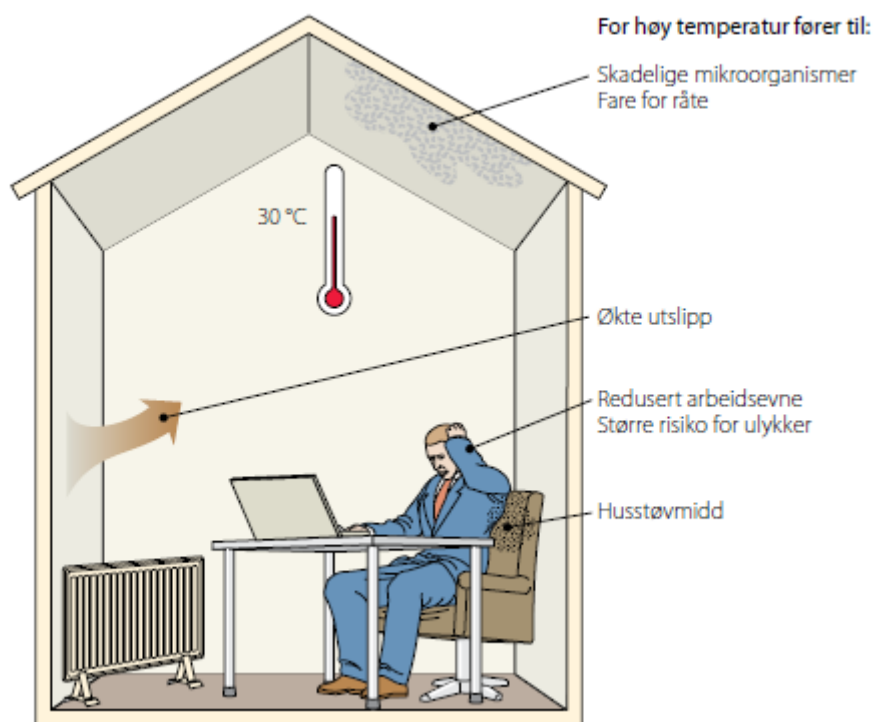
$T_v$  = temperaturen målt med vått termometer (tørr luft gir høy fordampning og lavere temperatur)

$T_o$  = gjennomsnittlig (innvendig) overflatetemperatur i rommet

$v$  = lufthastighet i m/s (men med benevnelse i °C)

Opplevd temperatur vil være omtrent gjennomsnittet av temperaturen på vått og tørt termometer og på overflatene i rommet, minus 2,2 °C pr. m/s vind. (Kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

Er det for varmt i rommet kan det føre til større helserisiko og uheldige følger for beboerne. I tillegg kan dette føre til økt emisjon fra overflatematerialene i rommet. Forskriftene inneholder ikke faste temperaturrenser, men Arbeidstilsynet anbefaler at temperaturer på arbeidsplassen bør være under 22 °C, og i oppholdsrom og stuer er mellom 20 - 22 °C. Passende lufttemperaturen kan bidra til mindre risiko for ulykker i arbeidsmiljøet. Hvilken temperatur som er best avhenger av situasjonen, som aktivitetsnivå og kledning. Anbefalt innetemperatur i sykehjem er mellom 22 og 24°C. Dersom temperaturen stiger over dette nivået, kan dette redusere ytelsen. Undersøkelser viser at dersom innendørstemperaturen stiger med så mye som 4-5 grader over 22 °C blir arbeidskapasiteten, konsentrasjonen og hukommelsen redusert med 15–20 prosent.



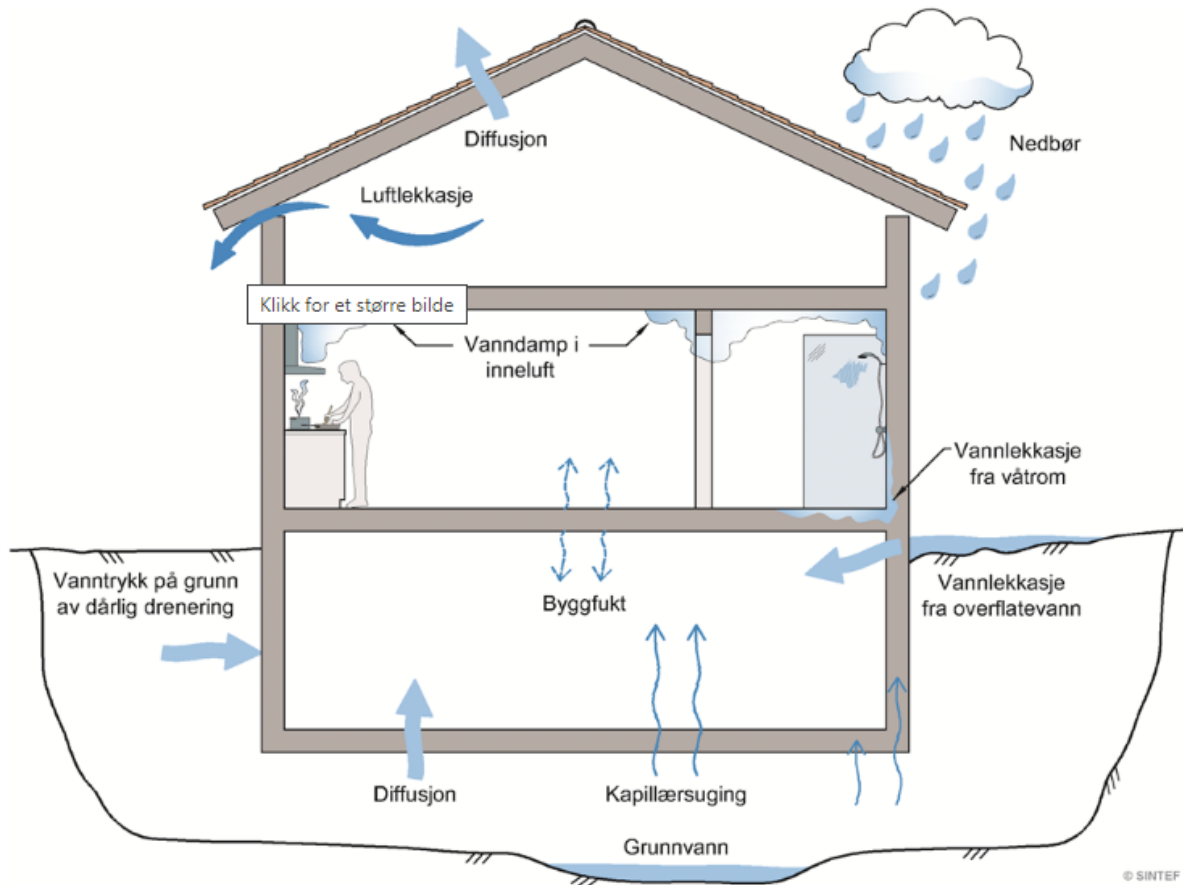
Figur 4: For høy temperatur (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)

### 2.2.2 Fuktighetsnivå

Fuktighet måles ofte som relativ fuktighet (RH). Dette angir i prosent mengden av den dampen som luften kan holde på før den kondenserer. Luftfuktigheten inne er som regel lav om vinteren og vesentlig høyere om sommeren. For om vinteren må den kalde, og relativt fuktige utelufta varmes mye opp, og da synker den relative fuktigheten. Høy RF kan øke veksten av husstøvmidd, så RF < 40-45% er ønskelig om vinteren.

Luftfuktighet er mengden vandamp i luften. Høy luftfuktighet er assosiert med kondens. Den angis som gram vann per kubikkmeter ( $\text{g}/\text{m}^3$ ) eller vanligst som relativ fuktighet (RF) i prosent. Vi kan benytte hygrometer ved å måles av luftfuktighetsnivå i bolig. Ikke bare luftfuktigheten er viktig for å ha komfort innelima og materialer i omgivelsen, men også for å unngå sprekkdannelser i innendørs. I Norden er anbefalt innendørs luftfuktighet 30-45 prosent i vinterstid. Dette er fordi allergener hindres i å vokse med mindre enn 45 %, noe som kan være ubehagelig for de fleste friske mennesker i løpet av kort tid, selv om luftfuktigheten er lav. Om vinteren, på kalde overflater, kan 30-60 prosent luftfuktighet være behagelig ved rundt 20 ° C, og ignorerer risikoen for fordampningsproblemer og

allergier. Innendørsfuktighet er nært knyttet til luftfuktigheten ute, så den er mindre vanlig om vinteren og mindre enn 15-25 prosent i kontorbygg, men ofte varmere og mer ventilert om sommeren. Det kan også holde lengere fuktighet om sommeren i vanlig ved 50-90 prosent (Finn E. S. Levy, 2018 (Oslo universitetssykehus)).



Figur 5: Vanlige fuktkilder og -transportformer (kilde – byggforsk)

### Lav innendørs luftfuktighet

Lav luftfuktighet (under cirka 30 prosent ved 22 °C) fører til økt hyppighet av klager på tørrhet i hud og slimhinner. Dr. Stephanie Taylor (Infection Control Consultant, Harvard Medical School) har forsket på viktigheten av luftfuktighet i årevis. Hun sa på sitt intervju på «Boston 25 News», 2020, når luftfuktigheten inne er lav, øker infeksjonsraten. "Bedrifter, hjem, skoler og sykehus bør etter min mening opprettholde det relative fuktighetsnivået mellom 40 og 60 prosent,". Det er også viktig å ha med seg hygrometer for å måle det relative fuktighetsnivået og eventuelt en luftfukter for å øke fuktigheten, anbefalte hun på sitt intervju.

Hva er ulemper med lav luftfuktighet i innendørs?

Å ha lav luftfuktighet innendørs kan med føre til disse bivirkningene (*Tommy Hagenes, 2020<sup>1</sup>*)

- a) Tørr hud
- b) Redusert effektivitet
- c) Tretthet
- d) Ubehag
- e) Redusert motstandsdyktighet mot forkjølelse
- f) Tørre slimhinner
- g) Tørre øyne
- h) Mer svevestøv i luften
- i) Mer luftforurensning fra trafikk

### **Høy luftfuktighet**

Høy luftfuktighet oppleves som tett og fuktig, men det er ikke skadelig for mennesker. For høy temperatur, luftforurensninger med kjemiske stoffer og støv sammen med stor luftbevegelse er imidlertid ofte av større betydning (Finn E. S. Levy (Oslo universitetssykehus). Høy luftfuktighet kan imidlertid øke veksten av sopp som kan forårsake alvorlig helseplager for beboerne. Når luftfuktigheten er over 75 % RF, kan soppen begynne å vokse. Grunnen til høy luftfuktighet i hjemmet er:

- a) Pust – Vi mennesker som puster ut mellom 0,5 og 1 liter fukt i døgnet avhengig av hvor mange timer vi er i huset.
- b) Matlaging - Ved å benytte av gasskomfyr for å lage mat, gasskomfyren gir mellom 0,5 til 1 liter vann. (*kilde: Folkehelseinstituttet*)
- c) Vaskeaktiviteter som dusj, gulv vaske klesvaske og oppvask
- d) Planter
- e) Aktiviteter som lek, arbeid og arbeidsuhell

Ulemper med høy luftfuktighet:

---

<sup>1</sup> *Tommy Hagenes, 2020*

Høy luftfuktighet bidrar til å øke vekst av mikroorganismer som midd og bakterier. I tillegg øker faren for vekst av muggsopp inn i bolig. Dette kan gi helseplager som hodepine (*Barnas Mercy Hospital og Klinikk og University of Kansas*), hudirritasjoner og luftveisproblemer (*The Environmental Protection Agency (EPA)*). (kilde: *Norge Helse og Liv*). Høy fuktighet øker også risikoen for råte og andre bygningsskader.

### 2.2.3 Atmosfærisk komfort (inneluft)

Atmosfærisk klima omfatter atmosfærens kjemiske og fysiske sammensetning av atmosfæren, inkludert støv og partikler. Avtrekksventilert på bad, vaskerom og vifter i komfyr på kjøkkenet var tradisjonelt ventilert i boliger. Mange er derfor av den oppfatning at avtrekk er den viktigste faktoren i ventilasjonen. Dette har vært sant så langt, og det er viktig å få ut mest mulig forurenset luft. Men en slik forestilling trekker likevel oppmerksomheten bort fra at det er minst like viktig å få frisk luft inn i huset.

#### Friskluftstilførsel i boenheter – krav i TEK17

TEK17 slår fast at friskluftstilførsel i boenheter skal ha følgende krav (kilde: *byggforsk.421.503 luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*)

- Ventilasjonen skal sikre en gjennomsnittlig friskluftstilførsel på minst 1,2 m<sup>3</sup> per time per m<sup>2</sup> gulvareal når boenheten er bebodd.
- Soverom skal tilføres minst 26 m<sup>3</sup> friskluft per time per planlagt sengeplass når rommet er i bruk.
- Rom som ikke er beregnet for varig opphold, skal ha ventilasjon som sikrer 0,7 m<sup>3</sup> friskluft per time per m<sup>2</sup> gulvareal og dessuten
- Når boenheten ikke er bebodd eller ved langvarig fravær, angir veiledningen til TEK17 at friskluftstilførselen kan reduseres.

#### Avtrekk i boenheter -krav i TEK17

TEK17 slår fast at avtrekksluftsmengder i bolig som er gitt i tabellen nedenfor (kilde: *veiledningen til TEK17*):

Det er viktig å ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet på våtrom, sanitærrom og kjøkken. Hetten utformes for å effektivt fange opp luftforurensningen fra ovnen og forhindre spredning av matlukt inne i bygningen. Hvis plassering og utforming ikke er bra, må avtrekksluftmengde økes.

Tabell 2: preaksepterte ytelser for avtrekksluftsmengder i bolig (421.503, byggforsk)

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	36m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h
Baderom	54 m <sup>3</sup> /h	108 m <sup>3</sup> /h
Toalettrom	36 m <sup>3</sup> /h	36 m <sup>3</sup> /h
Vaskerom/tørkerom	36 m <sup>3</sup> /h	72 m <sup>3</sup> /h

Bolig på 124.4 m<sup>2</sup>

Tabell 3: Beregninger av Tomannsbolig ventilasjon prosjektoppgave (BYG210, Gruppe-13)

Room	Areal (m <sup>2</sup> )	Friskluftstilførsel 1,44 m <sup>3</sup> /h m <sup>2</sup> * boligareal	Tilluftbehov i Soverom (26 m <sup>3</sup> /h)	Avtrekkbehov Normal m <sup>3</sup> /h	Avtrekkbehov Forsert m <sup>3</sup> /h
WC	2.1			36	36
Gang	9.4				
Kjøkken/spisestue	46.4			36	36 + 250
Teknisk Rom	4.5				
Soverom dobbel	11.3		2*26		
Soverom enkel	12.1		26		
TV-stue	29				
Bad/vaskerom	9.6			54	108
Totalt	124.4	179.136	78	126	180 + 250

$Q_v = \text{Friskluftstilførsel} \times \text{Totalareal (m}^2\text{) på bolig}$

$$= 1,44 \text{ m}^3/\text{hm}^2 \times 124,4 \text{ m}^2$$

$$= 179 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta = 179 - 78 = 101, 101/2 = 50.5 \text{ m}^3/\text{h}$$

*Kilde: Beregninger av Tomannsbolig ventilasjon prosjektoppgave BYG210, Gruppe-13*

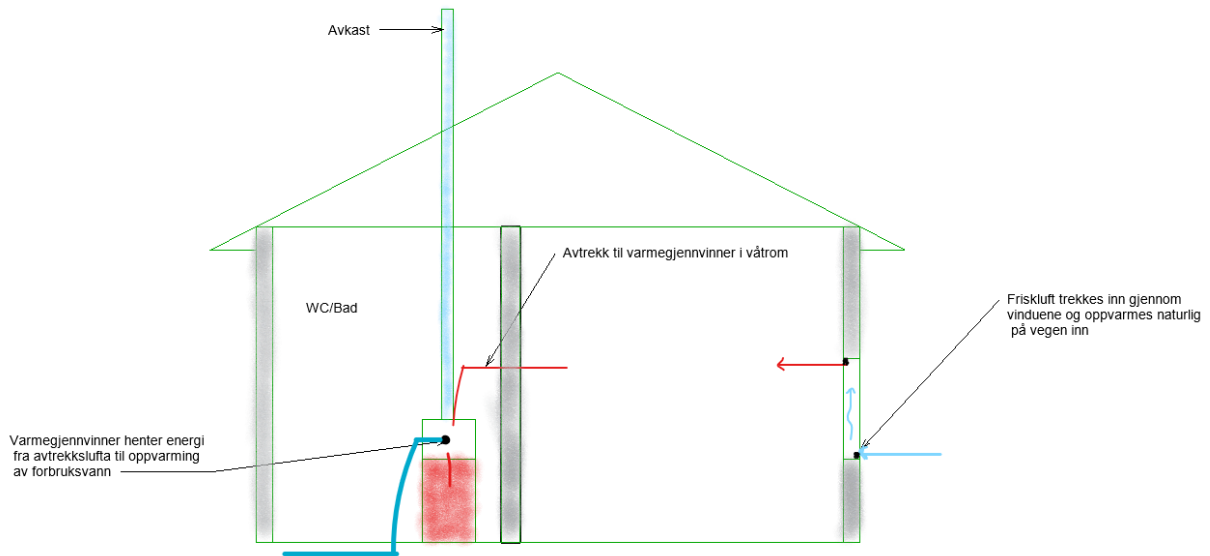
Dimensjonering av ventilasjonen i boliger:

Anbefalt friskluftstilførsel i boligen er 1,44 m<sup>3</sup>per time per m<sup>2</sup> gulvareal, og i tillegg kreves 26 m<sup>3</sup>/h minimum friskluftstilførsel for hver sengeplass. Det vil si at dersom to sengeplasser er plassert på et soverom, da multipliserer med to. f.eks. 2 \* 26 = 52 m<sup>3</sup>/h.

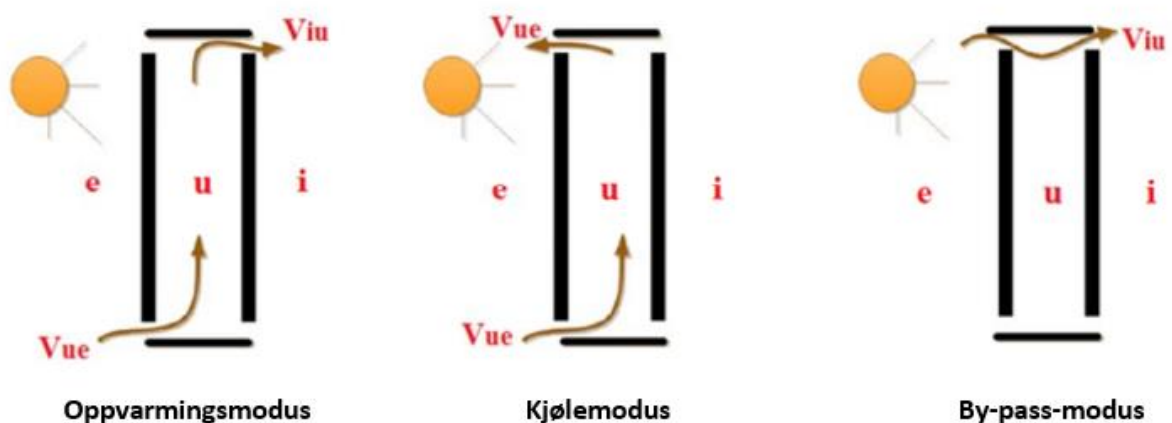


I dette tilfellet blir avtreksbehov ved normal ventilasjon dimensjonerende. Dimensjonerende behov for mekanisk normalventilasjon er  $126 \text{ m}^3/\text{h}$  og  $180 \text{ m}^3/\text{h}$  ved forsert ventilasjon. Når avtrekksheita er i bruk, må ventilasjonen forseres med ytterligere  $250 \text{ m}^3/\text{h}$ .

### 3 CLIMAWIN-KONSEPT



Figur 6: Prinsipp Climawin-konseptet



Figur 7: Prinsippdiagram for vindusfunksjon (kilde:Climawin)

Ventilene i vinduet fungerer automatisk på en naturlig måte. De styres ikke ved hjelp av data eller strøm, men ved hjelp av et hemmelig patent basert på bivoks. Når det er kaldt ute, oppvarmes utelufta

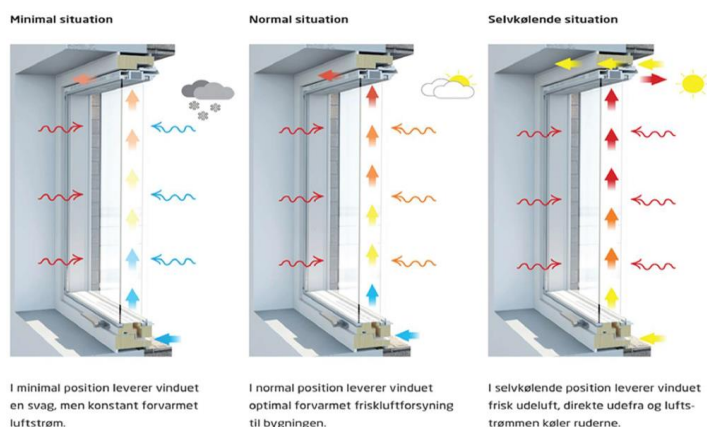
og ledes inn i rommet som tidligere forklart. Når utetemperaturen stiger, strupes ventilen som leder lufta inn i bygget, samtidig med at den oppvarmende lufta ledes ut og annen ventil åpner for å trekke den varme utelufta direkte inn. Da faller de termiske oppdriftskreftene vekk, og frisklufttilførselen vil være et resultat av det undertrykket som skapes av vifta til varmegjenvinneren.

CLIMAWIN er et vindussystem som bruker varmen som normalt går tapt gjennom glass til å forvarme frisk luft som kommer inn og spare energi.

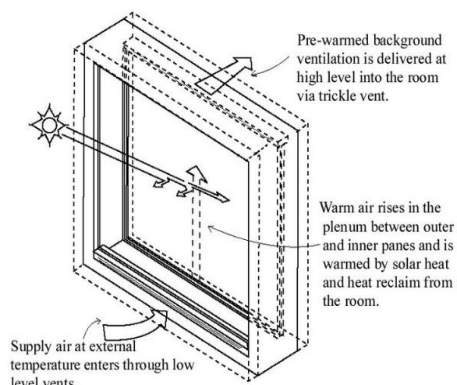
CLIMAWIN vindussystem fanger opp varme som går tapt gjennom glasset, og oppvarmer luften før den kommer inn i huset. Dermed reduseres energiforbruket og forbedres inneluft kvalitet. Ventilene styres av en patentert enhet som er en komponent. Styringsenheten reagerer på pålitelighet og inne- og utetemperaturen og fordeler lufta trinnløst mellom alternativene, som er romtemperatur, fuktighet og uteforhold. Når uteluften kommer inn og passerer glassplatene, stiger lufttemperaturen opptil 15 °C. Forvarmingen fungerer godt på alle fasader, men øker betydelig når en fasade får sollys. Separat avsugssystem er nødvendig, og luftstrømmen avhenger av avtrekk og antall ventiler. Oppvarmingsluft tilføres inn i huset ved en passende temperatur og reduserer de årlige energikostnadene betraktelig og forbedrer inneklimate. Ved for varmt klima (f.eks. om sommeren), balanserer CLIMAWIN innetemperaturen og kjøler seg selv. Dersom luften i rommet er for varm, ledes lufta tilbake ut. CLIMAWIN kan gi mellom 50 % og 100 % av varmen som trengs for å varme innkommende frisk luft uten ekstra kostnad og sparer opptil 20 % energi eller mer i hjemmets energiytelse.

### 3.1 Vinduene og Luftinntaket

#### Ventilasjonsvinduet



Figur 8: Ulike vinduets situasjoner (Sesnor.no)



Figur 9: Det ventilerte vinduet Tilluft (researchgate.net)

Ventilasjonsvinduet er en dobbel vinduskonstruksjon med 2-lags doble vinduer utvendig og 6 mm glass innvendig. Avstanden mellom de ytre og det indre glasset er 80 mm. Luftkanaler i karmen gjør at frisk uteluft kan ledes inn i sonen mellom glassene, hvor luften forvarmes. Termiske krefter får luften til å stige opp i mellomrommet. Varmetapet fra rommet innenfor kombinert med eventuelt sollys utenfra bidrar til å forvarme den friske luften med minimum 6 grader (<https://sesnor.no/ventilasjonsvinduet/>). Ventilasjonsvinduet fungerer ikke bare som ventilasjon, men også som oppvarming, og vinduet bidrar til å bedre inn klima og redusere energibruk i bygget. Dette produktet er en kombinasjon av ventilasjon og vindu som reduserer energibehovet til oppvarming med opp mot 25 prosent.

Vinduets U-verdi og g-verdi er den samme som for et vanlig vindu, hvor det ikke trekkes inn uteluft. Ved fastsettelse av U-verdi og g-verdi må det tas hensyn til at det er vanlig luft i hulrommet mellom glasslagene samt hvilke typer emisjonsbelegg som faktisk brukes i vinduet. **G-verdi:** er et tall mellom 0-100 % eller mellom 0 – 1, som angir hvor mye solenergi som passerer gjennom ruta. En lav g-verdi betyr at et vindu slipper gjennom lite solvarme. G-verdien kan forbedres ved at ytterglasset belegges med et IR-reflekterende lag som reflekterer en del av varmestrålingen.

**U-verdi:** U-verdi er et mål på hvor mye varme som lekker ut gjennom for eksempel vinduer, vegger og tak. U-verdien kan forbedres ved at glasset belegges med en metallbasert flate som reflekterer langbølgestråling tilbake i rommet.

#### Fordeler ved bruk av ventilasjonsvinduet:

1. Vindu som gjenvinner energi og forvarmer luft
2. Eliminerer behovet for vedlikehold
3. Krever mindre areal til tekniske installasjoner
4. En mer bærekraftig løsning – uten å bruke energi.

### 3.2 Avtrekket og varmepumpe VLB 100

Beskrivelsen av varmepumpesystemet Bolig VLB 100



Figur 10: Avtrekksvarmepumpe (kilde: lkm.dk)

Det finnes to forskjellige typer avtrekk og varmepumpe VLB-serien, 100 og 180. Men beskrivelsen presenteres kun om VLB-100-serien. VLB-100 serien er en komplett varmtvanns- varmepumpe enhet med full automasjon og styring for innendørs installasjon.

Varmtvannspumpe er egnet for baderom og vaskerom og kjøkken. Den henter energi fra varmluften som trekkes ut fra våtrommene. Varmen brukes til å produsere varmtvann til husholdningsbruk. Overskuddsvarme kan brukes til oppvarming i boligen slik at man får full utnyttelse av energien i avtrekksluften. Varmepumpen sørger derfor for ventilasjon, varme og varmtvann.

#### Hvordan fungerer VLB 100?

Beholderen inneholder 94 liter husholdningsvann oppvarmet av en varmepumpe. Beholderen inneholder dessuten et varmerelé som brukes hvis varmepumpen gir for liten effekt. Varme reléet benyttes også til desinfeksjon av tanken. Varmepumpen har en innebygget desinfeksjonsfunksjon som ved behov bringer beholderen opp til en viss temperatur i en periode for å sikre at beholderen

desinfiseres. Øverst er selve varmepumpemodulen som lett kan nås for reparasjon. Nederst er det koblinger for bruksvann og kobling for spiral for bruk i gulvvarme.

Innebygd styring er kompatibel med varmepumpen for enkel daglig drift. Styringen kan stilles inn individuelt for ulike behov og ulike driftsmoduser. For å lage varmt vann eller for å betjene enheten når som helst du ønsker, for permanent ventilasjon. Kontrolleren kan stilles inn og kan spare tid med billig strøm. For eksempel via signal fra f.eks. solfanger.

På bunnen av tanken er det en spole som kan benytte overskuddsenergien fra varmepumpen til å varme opp små gulvflater. Denne applikasjonen krever et eksternt automatisk system for å kontrollere bakketemperaturen. Tabellene nedenfor viser egenskapene til varmepumpen.

Tabell 4: Kapasiteter

Luftstrøm (m <sup>3</sup> /t)	30 – 300
Arbeidsområde Luft (°C)	+5/ +35
Varmtvannstemperatur (°C)	5 – 62
Opt effekt varmepumpe (kW)	0,340
Avtrekkseffekt varmepumpe (kW)	0,897
Avtrekkseffektvarmer (kW)	1,5
Lydnivå Lwa dB(A): a) Fritt blåsende	59
b) Kanalmontert	48

Tabell 5: Tekniske data

Beholder	Rustfritt stål
Innhold	94 liter
Maksimalt trykk	10 bar
Isolering	Polyuretan
Varmetap	2,0 W/K
Kjølemiddel	R290

Tabell 6: Dimensjoner

Bredde	540 mm
Høyde	1140 mm
Dybde	575 mm
Vekt	60 kg



## Resultat av varmtvannstest i henhold til EN 16147:2017

### 3.3 Begreper, definisjoner og formler

Oppvarmingstiden,  $t_h$ , og det tilsvarende elektriske energiforbruket,  $W_{eh-HP}$ , måles fra varmepumpen slås på til den slås av av varmtvannstermostaten plassert i tanken, med korreksjon beregnet ifølge 7.4 i NS-EN 16147:2017, med testvarighet  $t_d=t_h$ .

#### Varme opp energiinntaket ( $W_{eh-HP}$ )

Ved beregninger av varme opp energiinntaket til varmtvanns- varmepumpe, kan vi skrive den slik:

$$W_{eh-HP} = W_{eh-M} - W_{EL-Corr}$$

$W_{eh-M}$ : det målte elektriske energiforbruket under testvarigheten  $t_h$  i kWh.

$W_{EL-Corr}$ : korreksjonen på grunn av elektrisk energiforbruk til vifte/væskepumpe i kWh

$W_{eh-HP}$ : i det totale elektriske energiforbruket under testvarigheten  $t_h$  i kWh

$$W_{EL-Corr} = \frac{1}{3600 \times 1000} \times \int_0^{t_d} \frac{\dot{V}_{fluid}(t) \times \Delta p_e}{\eta} dt$$

$\eta$ : effektiviteten til sirkelpumpe i henhold til **En 14511-3**

$\Delta p_e$ : den målte eksterne statiske trykkforskjellen i Pa

$V_{fluid}$ : den målte væskevolumstrømningshastigheten i m<sup>3</sup>/s

$t_d$ : testfasens varighet i s

#### Standby strømningang ( $P_{es}$ )

Ved beregninger av standby strømningang, kan vi skrive den slik:

$$P_{es} = (W_{es-HP}) / (t_{es}) \times 3600$$

$P_{es}$ : standby-strømningangen i kW

$W_{es-HP}$ : det totale elektriske energiforbruket under siste av-på-syklus i kWh

Tes: varigheten av varmepumpens siste av/på-syklus i S

### Total nyttig varmeenergi under hele tappesyklusen ( $Q_{LP}$ )

Ved beregninger av total nyttig varmeenergi under hele tappesyklusen, kan vi skrive den slik:

$$Q_{LP} = \sum_{i=1}^{n_{tap}} Q_{HP-tap_i} + Q_{EL-LP}$$

$Q_{LP}$ : det totale nytteenergiinnholdet under hele lastprofilen i kWh

$n_{tap}$ : antall uttak under lastprofilen

$i$ : indeksen for uttaket

$Q_{EL-LP}$ : den beregnede varmeenergien produsert av elektrisk motstandsvarmer under hele lastprofilen i kWh

$$Q_{EL-LP} = \sum_{i=1}^{n_{tap}} Q_{EL-tap_i}$$

$$Q_{EL-tap} = \frac{1}{60 \times 1000 \times 3600} \int_0^{t_{tap}} c_p \times \rho(T) \times f(t) \times (\theta_{WC}(t) + (T_p - 10) - \theta_{WH}(t)) dt$$

$Q_{EL-tap}$ : satt til null, i tilfelle ( ) resulterer i en negativ verdi.

uttaket vil bli stoppet når  $Q_{HP-tap} + Q_{EL-tap}$  er lik den nødvendige energien for dette tappet

$Q_{HP-tap}$ : energi under ett enkelt uttak

$$Q_{HP-tap} = \frac{1}{60 \times 1000 \times 3600} \int_0^{t_{tap}} c_p \times \rho(T) \times f(t) \times (\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)) dt$$

$Q_{WH}(t)$ : temperaturforskjellen mellom varmtvannstemperatur ved utløp og kaldtvann ved inntak av varmtvannslager i K

$F(t)$ : den nyttige vannstrømningshastigheten, uttrykt i l/min

$T_{tap}$ : tidsvarigheten av et tappet dersom nyttevann i s

$C_p$ : den spesifikke varmekapasiteten til vann i kj/(kgK)

$P(T)$ : tettheten til varmtvannet ved strømningsmåleren i kg/m<sup>3</sup>



### Totalt elektrisk energiforbruk under tappesyklusen ( $W_{EL-LP}$ )

Ved beregninger av totalt elektrisk energiforbruk under tappesyklusen, kan vi skrive slik:

$$W_{EL-LP} = W_{EL-M-LP} - W_{EL-Corr} + (24 - t_{TTC}) \times P_{es} + Q_{EL-LP} + W_{EL-OFF}$$

$t_{TTC}$ : Lastprofiltiden i time

$P_{es}$ : Standby-strøminnngangen

$W_{EL-off} = 16 \times P_s$

$16$ : lavtrafikktiden i time

$P_s$ : den målte gjennomsnittlige effekten i kW

### Daglig elektrisk energiforbruk ( $Q_{elec}$ )

Ved beregninger av daglig elektrisk energiforbruk, kan vi skrive slik:

$$Q_{elec} = \frac{Q_{ref}}{Q_{LP}} \times W_{EL-LP}$$

$Q_{ref}$ : referanseenergiinnholdet til den betraktede lastprofilen i kWh

$Q_{LP}$ : Den totale nyttige energiinnholdsenergien under hele lastprofilen i kWh

$W_{EL-LP}$ : Det totale elektriske energiforbruket under lastprofilen i kWh

### Ytelseskoeffisient ( $COP_{DHW}$ )

Ved beregninger av Ytelseskoeffisient, kan vi skrive slik:

$$COP_{DHW} = \frac{Q_{LP}}{W_{EL-LP}}$$

$Q_{LP}$ : det totale nytteenergiinnholdet under hele lastprofilen i kWh

$W_{EL-LP}$ : Det totale elektriske energiforbruket under lastprofilen i kWh

### Energieffektivitet for oppvarming av vann ( $\eta_{wh}$ )

Ved beregninger av Energieffektivitet for oppvarming av vann ( $\eta_{wh}$ ), kan vi skrive slik:

$$\eta_{wh} = \frac{Q_{ref}}{(Q_{fuel} + CC \cdot Q_{elec})(1 - SCF \cdot smart) + Q_{cor}}$$

$Q_{ref}$ : referanseenergiinnholdet til den betraktede lastprofilen i kWh

**Q<sub>elec</sub>**: Daglig elektrisk energiforbruk i kWh

**CC**: konverteringskoeffisienten, lik 2,5

**SCF**: Den smarte kontrollfaktoren som bestemt

**Q<sub>cor</sub>**: For varmpumpe varmtvannsbereder

**Q<sub>fuel</sub>**: Det daglige drivstofforbruket

**Q<sub>cor</sub>** = -k x 24h x P<sub>stby</sub> (For varmpumpe varmtvannsbereder)

**K** = en koeffisient som er gitt i tabell

Smart: En indikator på produktets overholdelse av smart kontroll

Tabell 7: K-verdier

	3XS	XXS	XS	S	M	L	XL	XXL	3XL	4XL	
k	0,23	0,23	0,23	0,230	0,23	0,23	0,23	0	0	0	

### Årlig strømforbruk (AEC)

Ved beregninger av årlig strømforbruk, kan vi skrive slik:

$$AEC = 0,6 \cdot 366 \cdot \left( Q_{elec} \cdot (1 - SCF \cdot smart) + \frac{Q_{cor}}{CC} \right)$$

For konvensjonelle varmtvannsberedere som bruker elektrisitet:

$$Q_{cor} = -k \cdot (CC \cdot (Q_{elec} \cdot (1 - SCF \cdot smart) - Q_{ref}))$$

Den smarte kontrollfaktoren som bestemt (**SCF**) beregnes som følger:

$$SCF = 1 - \frac{Q_{fuel,week,smart} + CC \cdot Q_{elec,week,smart}}{Q_{fuel,week} + CC \cdot Q_{elec,week}}$$

Dersom **SCF** ≥ 0.07, skal smart-verdien være 1. I alle andre tilfelle skal smart-verdien være 0

### Referanse varmtvannstemperatur (θ'<sub>WH</sub>)

Ved beregninger av referanse varmtvannstemperatur, kan vi skrive slik:

$$\theta'_{WH} = \frac{1}{t_{40}} \int_0^{t_{40}} \theta_{WH}(t) dt$$

**Q<sub>WH</sub>(t):** den utgående varmtvannstemperaturen i °C

**T<sub>40</sub>:** tiden fra start av uttaket til Q<sub>WH</sub> er mindre enn 40 grader i s

Maksimal mengde blandet vann ved 40 grader i ett enkelt uttak skal bestemmes. Dette gjøres ved å beregne varmtvansenergien under uttaket.

### **Maksimalt volum av blandet vann ved 40 grader (V<sub>40</sub>)**

Ved beregninger av maksimalt volum av blandet vann ved 40 grader, kan vi skrive slik:

$$V_{40} = \frac{1}{(40-10) \times 60} \int_0^{t_{40}} f_{\max}(t) \times [\theta_{WH}(t) - \theta_{WC}(t)] dt$$

**Q<sub>WH</sub>(t) – Q<sub>WC</sub>(t):** Temperaturforskjellen mellom varmtvannstemperatur ved utløp og kaldtvann ved inntak av varmtvannslager i K

**F<sub>max</sub>(t):** Strømningshastigheten til varmtvann under tappet i l/min

Resultatet er testdata fra teknologisk institut i dk

Tabell 8: Resultat av varmtvannstest i henhold til EN 116147:2017

<b>presentasjon av hovedresultater</b>				
NO	Beskrivelse	Symbol	Resultat	Enhet
1	Termostat settpunkt	-	63	°C
2	Oppvarmingstid	t <sub>h</sub>	26560	s
3	Varme opp energiinntaket	W <sub>eh-HP</sub>	2,12	kWh
4	Standby strøminngang	P <sub>es</sub>	0,006	W
5	Total nyttig varmeenergi under hele tappesyklusen	Q <sub>LP</sub>	11,72	kWh
6	Totalt elektrisk energiforbruk under tappesyklusen	W <sub>EL-Lp</sub>	3,67	kWh
7	Daglig elektrisk energiforbruk	Q <sub>elec</sub>	3,65	kWh
8	Ytelseskoeffisient	COP <sub>DHW</sub>	3,20	-
9	Energieffektivitet for oppvarming av vann	η <sub>wh</sub>	129,1	%
10	Årlig strømforbruk	AEC	793	kWh/a
11	Referanse varmtvannstemperatur	θ' <sub>WH</sub>	52,4	°C
12	Maksimalt volum av blandet vann ved 40 grader	V <sub>40</sub>	217	l

### 3.4 Varmefolie

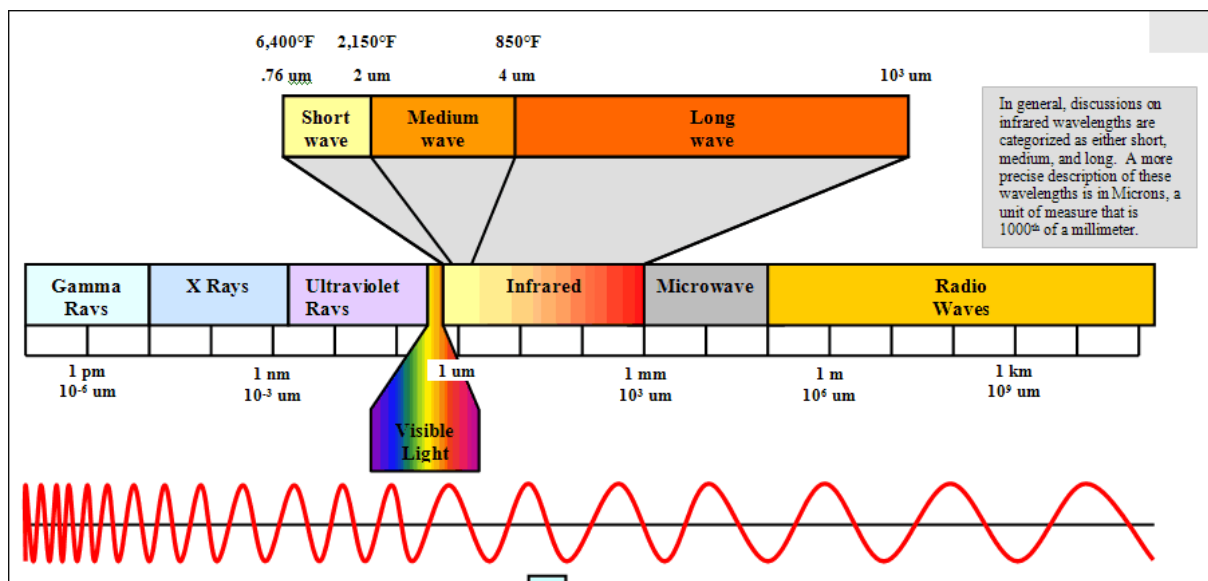
Grunnen til at jeg har tatt med dette punktet i min besvarelse. Det er fordi det inngår i Climawin-konseptet. Det er to systemer som fungerer uavhengig av hverandre. Som et element i Climawin systemet markedsfører Sesnor også IR-oppvarming, og derfor har jeg tatt med en kort introduksjon av denne løsningen her.

Dynatherms representat i Norden er Sesnor (Smarte Energi Systemer Norge AS). Dynatherms varmemefolie blir produsert i Tyskland og garanterer høyeffektiv energiutnyttelse i enhver bygning. Varmefolie Varmeprodukter basert på IR-teknologi.

Fordelene med varmemefolie er at det er ganske enkelt å prosjektere og installere. Produktene er meget robuste og vedlikeholdsfritt. En treårig studie fra Universitetet i Zürich under studien 2005-2007 fant at to hus med oppvarmede varmemefolie som eneste varmekilde og to hus med luft/vann og gulvvarme. Med varmemefolie er strømforbruket i hjemmet 27 % lavere enn med varmepumpen (kilde: Sesnor.no)

#### Hva er IR-Varme?

Infrarød stråling (IR) er elektromagnetisk stråling som har lenger bølgelengde enn synlig lys men kortere enn mikrobølgestråling. Navnet infrarød betyr «under rød» (fra latin infra, «under»). Rød er den synlige lysfarten med den lengste bølgelengde (Wikipedia).

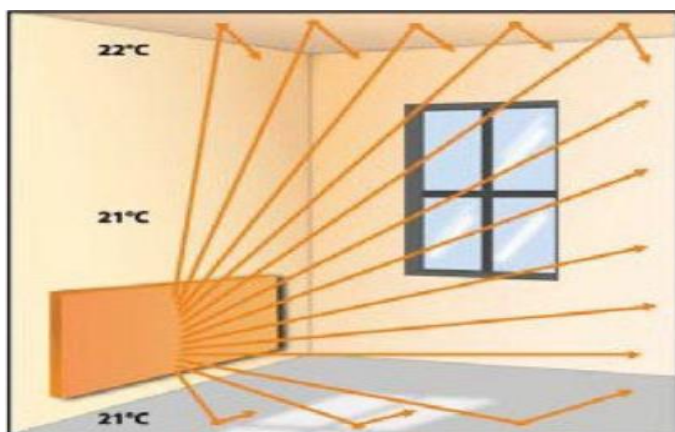


Figur 12: (kilde: [https://www.pro-therm.com/infrared\\_basics.php](https://www.pro-therm.com/infrared_basics.php))

## Hvordan virker Infrarød stråling varme?

Infrarød strålene varmer opp mennesker kroppens overflate i stedet for å varme opp luften først. Når bølgene treffer et objekt, blir bølgene omdannet til varmeenergi. Vi kan ikke se lysstrålene, men det er samme type stråler som i vanlig lys, bare med lengre bølge lengde. Lysstrålen er ikke skadelig både for DNA skaden og Kreftrisiko. Menneskekroppen produserer også varme med infrarød stråling, og infrarød stråling står for 2/3 varmetapet fra kroppen, ved stille var 20 grader (*radiant helt, 2020*)<sup>2</sup>. Varmen kommer direkte fra varmeren og absorberes umiddelbart av det som er i veien. Varmeovner som er avhengige av luften for å bære varmen, er også i fare for at bris eller trekk forstyrrer den. Infrarøde varmeovner har ikke dette problemet, da infrarød ikke påvirkes av luftbevegelse.

<sup>2</sup> Radiant helt, 2020



Figur 13: IR oppvarming, lysbølgene er varmebærere (kilde: [www.arabiaweather.com](http://www.arabiaweather.com))

### 3.5 Spørreundersøkelse om oppvarming av IR-varmefolie

Spørreundersøkelsen ble gjennomført på ansatte som arbeider på Sesnors kontor, ble besvart av 2 personer. På spørsmålet om Hvordan påvirker IR-oppvarming på kontoret. Det er svært fornøyd med inn klimaet. Selv om det kan holde et rom på 18 grader, men føles det som 21 grader.

## 4. REALISERTE CLIMAWIN PROSJEKTET

### 4.1 Boliger på Korpåsen I Asker Kommune

#### Prosjektbeskrivelse

Korpåsen ligger på Gullhella i Asker kommune, og byggherre er Asker kommune. Prosjektet består av tre bygninger i en etasje med fire leiligheter i hvert bygg, og inneholder tolv omsorgsboliger for funksjonshemmede. Hver bygning har kjøkken og felles stue. Prosjektperioden var fra 2016 til 2020, og ble tegnet av Linje Arkitektur AS. Byggene er gjennomført på klimavennlige måter med lavkarbo-betong i fundamenter og gulv på grunn, vegger og takkonstruksjoner er i massivtre. De fleste vinduer og dører har ventilasjonsvindu med solavskjerming med solcelle teknologi.



Figur 14: Boliger på Korpåsen I Asker Kommune (kilde: [www.futurebuilt.no](http://www.futurebuilt.no))

#### 4.1.1 Generelle prinsipper og retningslinjer for tekniske løsninger

Formålet med dette prosjektet var å prøve ut de forenklete tekniske systemene. Som en del av det innledende prosjektet ble det testet ut et antall alternative strategier for valg av energiforsyning, ventilasjonsprinsipp, oppvarmingsprinsipp og produksjon av bygget.

Alle alternativer vurderes ut fra en samlet helhet som inkluderer ventilasjon, varme og løsning for energiforsyning og produksjon. Vurderingen ble utført ved bruk av kvalitative og kvantitative data. Vurderingen beregnes for leiligheter som Blokk 1 eller 2, som vurderes å være representative for totalbygget. Blokk 1 og 2 er klassifisert som bolig og Blokk 3 er klassifisert som sykehjem.

I planleggingen la man vekt på å vurdere følgende

Kvantitative data:

- Investeringskostnader
- Årskostnad pr blokk
- Årlig energibruk kWh/m<sup>2</sup> BRA (med produksjon solceller fratrukket)
- Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov) kWh/m<sup>2</sup> BRA (krav < 95 kWh/m<sup>2</sup> BRA)
- Nødvendig solcelleareal for å tilfredsstille Future Built målsetning

*(Future Built - FutureBuilt er et innovativt program for de mest ambisiøse aktørene i byggebransjen. Visjonen er å vise at det er mulig å utvikle den bærekraftige og attraktive nullutslippsbyen)*

Kvalitative kriterier:

- Komplisert/enkelt å bygge
- Krav til forenkling tekniske systemer
- Krav til innovasjon Future Built målsetning
- Krav til inneklima (ventilasjon)
  - Trekkrisiko
  - Luftkvalitet
  - Luftfordeling
  - Lyd og støy
  - Komfort vinter
  - Overtemperatur sommer - muligheter for å nå tilfredsstillende inneklima på varme sommerdager
  - Fuktregulering
- Brukerstyringsmuligheter
- Drift og vedlikehold /service
- Rengjøringsvennlighet (i leiligheten)
- Synlighet i leiligheter - estetisk vurdering av rom som har integrerte tekniske foringer

Disse kvalitetskriteriene ble vurdert i forhold til 10 alternativer, fra 1a til 4b (Se tabell 9 nedenfor) som hver for seg representerer en typisk teknisk løsning for leiligheten.

Ut fra de kvantitative og kvalitetskriteriene er det beregnet en samlet poengsum for de 10 alternative løsningene. Poengene er beregnet på grunnlag av samme vekt (vekting på 1) for alle kriterier. Resultater er vist i **tabell 9** nedenfor.

Omfatter alternativ 2d for blokk 1 og 2, og 3a for blokk 3 henholdsvis. Det er 10 alternative prinsipper for varme og energiforsyning, oppvarming, varmt tappevanns produksjon og ventilasjon som vist i **tabell 10**. utvalgspinsipper er markert med grønn og referansen er markert med grått under.



Tabell 9: Alternative prinsipper for varme/energiforsyning, oppvarming, varmt tappevanns produksjon og ventilasjon

Alternativer	Varmeforsyning				Oppvarming					Brugsvand		Ventilasjon									
	Avtrekksvarmepumpe	Fjellvarmepumpe m. brønn pr. blokk	Fjellvarmepumpe m. brønn for alle blokker	Udeluftvarmepumpe	Vannbåren gulvvarme på bad	Gulvvarme stue/kjøkken	Vannbåren radiator	El radiator på soverom. (forberedes for)	Supplerende El radiator, kjøkken og stue. Forberedes for.	Sentral varmtvandsbeholder (pr. blokk)	El trøding på varmtvandsledning	Passiv vent. agg. Pr. blokk	Passiv ventagg. Pr.bolig	Passiv vent.agg. i fellesområder	Ventilasjons vindu, stue	Ventilasjons vindu, soverom	Inntagsvarmeflate i veg, stue	Friskluftventill i soverum	Kjøkken vifte (kulfilter enhætte/avtrekk)	Ekstra avtrek fra bad (fugt)	Høyt siddende vindu for sommervent.
Alternativ 1a	X	X			X		X	X		X	X	X		X				X	X		X
Alternativ 1b	X			X	X		X	X		X	X	X		X				X	X		X
Alternativ 2a	X				X		X	X	X	X	X			X	X			X	X		X
Alternativ 2b	X				X		X	X		X	X			X		X		X	X		X
Alternativ 2c			X		X		X	X	X	X	X				X	X		X	X		X
Alternativ 2d	X		X		X		X	X	X	X	X			X	X	X		X	X		X
Alternativ 3 a			X		X	X	X	X		X	X	X		X				X	X		X
Alternativ 3 b				X	X		X	X		X	X	X		X				X	X		X
Alternativ 4a		X			X		X	X		X	X		X	X				X	X	X	
Alternativ 4b				X	X		X	X		X	X		X	X				X	X	X	

Grønn	Utvalgs prinsipper
Grått	Referansen

Tabell 10: Samlet evaluering av 10 alternative prinsipper for varme/energiforsyning, oppvarming, varmt tappevanns produksjon og ventilasjon

Valg + referanse	Alternativer	Kvantitative kriterier											Kvalitative kriterier											SCORE		
		Etableringskostnad pr. blokk	Års-kostnad pr blokk	Års-kostnad pr blokk	Årlig energibruk kWh/m2 BRA (med produksjon solceller fratrukket)	Energiprisme (§14-2 (1), samlet netto energibehov) kWh/m2 BRA (krav < 95)	Krav til solcelleareal (m2 solceller)	Solcelleareal	Bygbarhet	Forenkling tekniske systemer	Energi bruk	Energieffektivitet bygg + tekniske systemer	Innovasjon Future Built	Trærisk	Luftkvalitet	Luftfordeling	Lyd og støy	Komfort vinter	Overtemperatur sommer (forutsat innvendig avkjøling)	Fugtgalering	Brugjusteringsmuligheter	Drifts og vedlikehold /service	Renngøringsvennlighet (f. ligheten)		Synlighet i leiligheter	
	Alternativ 1a	4	248	4	36	5	88,6	55	4	3	4	5	3	4	3	4	3	4	3	5	2	4	4	3	4	62
	Alternativ 1b	5	240	5	36	5	88,6	55	4	3	4	5	3	4	3	4	3	4	3	5	2	4	4	3	3	61
	Alternativ 2a	4	255	4	42	4	86,8	80	2	3	5	4	2	5	2	4	4	5	2	5	2	4	3	2	5	59
	Alternativ 2b	4	251	4	42	4	86,8	80	2	3	5	4	2	4	2	4	4	5	2	5	2	4	3	2	4	57
	Alternativ 2c	2	255	2	36	4	137,1	50	4	3	4	4	1	5	2	4	4	5	2	5	2	4	3	2	4	60
Blokk 1+2	Alternativ 2d	4	245	4	34	5	88,0	60	3	3	5	5	2	5	2	4	4	5	2	5	2	4	3	2	5	61
Blokk 3	Alternativ 3 a	4	249	4	38	3	94,7	50	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	5	2	4	4	3	4	61
	Alternativ 3 b	4	241	4	38	3	94,7	50	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	5	2	4	4	3	4	61
Referanse	Alternativ 4a	3	319	3	36	3	95,1	55	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	52
	Alternativ 4b	4	311	3	36	3	95,1	55	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	52

#### 4.1.2 Generelle retningslinjer for ventilasjon og oppvarming

En godt ventilert bygning skal sørge for at hele bygget er godt ventilert. Først da vil temperaturen og luftkvaliteten i hele bygget være tilfredsstillende. Et komplett ventilasjonssystem er en kombinasjon av ulike prinsipper og systemer for ventilasjon, og inngår i hovedprinsippet for grunnventilasjon sammen med sommerventilasjon.

##### **Leiligheter blokk og fellesområder blokk 1+2**

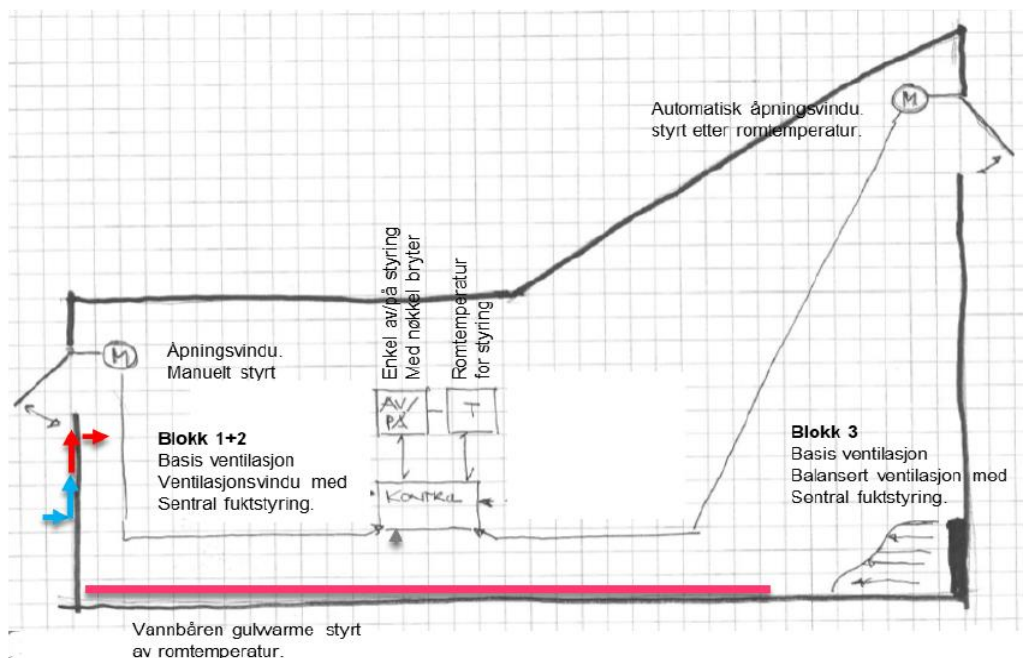
Grunnventilasjonen for leilighetene i blokk 1 og 2 er 60 m<sup>3</sup>/t. Den tilføres luft gjennom ventilasjonsvindu, og har sentralt avtrekk på bad. Luften fra avtrekket går til sentral avtrekksvarmepumpe, den gjenvinner energi til varmtvann og oppvarming. CLIMAWIN vindussystem oppvarmer luften gjennom vindu før den kommer inn i huset. Forvarmingstemperaturen ved vinduet er ca. 10 -14 grader. Luftmengdene i våtrommene blokk 1 og 2 er henholdsvis ca. 35 m<sup>3</sup>/h og 60 m<sup>3</sup>/h.

Prinsippet for ventilasjonssystemet er vist i **figur 16** under:

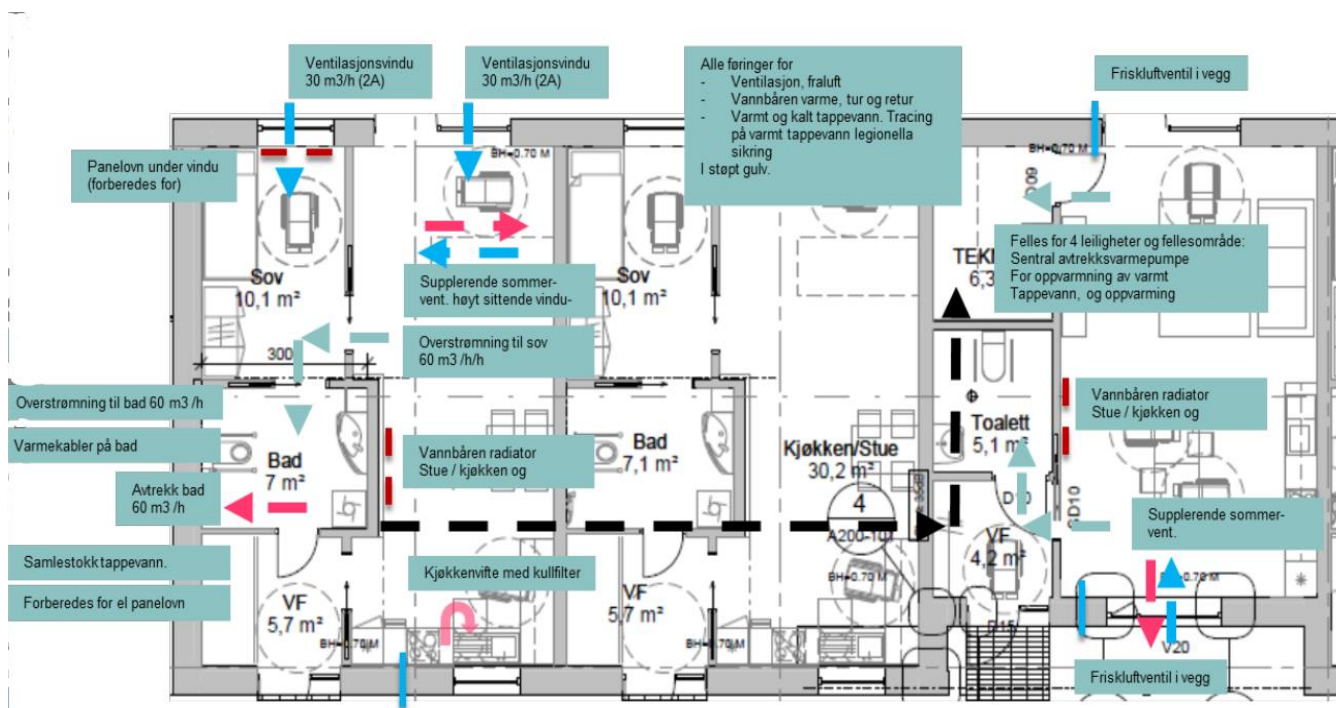
##### **Oppvarming**

Leilighetene i blokk 1 og 2 har installert varmekabler i gulv på badet. Soverommene har elektriske panelovner, og i stue/kjøkken er det lavtemperatur-oppvarming med radiator.

Avtrekksvarmepumpe og tekniskrom i blokk 1 og 2 produseres energi til tappevann, ventilasjon og Leilighetene i blokk 3 har lavtemperatur oppvarming, med vannbåren gulvvarme både til stue/kjøkken og på badet. Soverom har elektrisk panelovn - samme prinsipp som for blokk 1 og 2.



Figur 15: Prinsipp ventilasjon, oppvarming og brukerfunksjoner i leiligheter blokk 1+2 og 3 kilde: futurebuilt.no)



Figur 16: Prinsipp ventilasjon og oppvarming til blokk 1 og 2

#### 4.1.3 Varmtvann

Tappevannsberedere i leilighetene i blokk 1 og 2 oppvarmes med gjenvunnet energi fra avtrekksvarmepumpen, mens blokk 3 henter energi fra varmepumpe koplet til fjellbrønner.

#### 4.1.4 Energiforsyning- og produksjon

Takarealet er ca. 250 m<sup>2</sup>, og har installert solceller som kan dermed produsere rundt 35000 kWh i året.

Bruken av solenergi prioriteres på følgende måte:

1. Direkte el brukt i byget
2. Spissing av temperatur i varmt tappevann i beredere
3. Spissing av temperatur i bufferlager tank i blokk 3
4. Salg av el på nett

Varmepumpe i blokk 3 har buffertank for å lagre overskuddsstrøm fra solcellene.

#### Generelle retningslinjer for energieffektivisering av bygninger og tekniske systemer

Følgende verdier gjelder for de generelle retningslinjene for energieffektivisering av bygninger og tekniske systemer.

Tabell 11: Energikvalitet for bygg

Beskrivelse	U-verdier
Tak	0,10 W/m <sup>2</sup> K
Yttervegg	0,16 W/m <sup>2</sup> K
Gulv mot grunn	0,10 W/m <sup>2</sup> K
Kuldebro verdi	0,03 W/m <sup>2</sup> K
Lekkasjetall	0,40 h <sup>-1</sup>
Vinduer/dører, snitt U-verdi blokk 1 og 2	0,80 W/m <sup>2</sup> K
Vinduer/dører, snitt U-verdi boliger blokk 3	0,84 W/m <sup>2</sup> K

Det er gjennomført simuleringer for å vise at bygget med valgt utforming tilfredsstiller Future Builts krav til nesten nullenergibygg. Simuleringer viser at valgt energikvalitet til bygninger og konstruksjoner med et samlet solcelleareal på 250 m<sup>2</sup> kan oppfylle de tekniske kravene og energiforsyningskravene. Bygget tilfredsstiller TEK krav til å samle levert energibruk på maks 40 kWh/m<sup>2</sup> per året.

Resultatet av evalueringene viser at byggene tilfredsstiller kravene til:

- a) Ønske om mest mulig naturdagslys gjennom vinduet.

b) Grunnprinsipp med avtrekksvarmepumpe og ventilasjonsvinduene i blokk 1 og 2 beregner riktig energiforbruk til oppvarming.

c) Prinsippet for avtrekkspumpe og ventilasjonsvinduer i blokk 1 og 2 er ikke tilfredsstilt med minimumskravene til varmegjenvinning.

Tabell 12: Evaluering mot lavenergi og dokumentasjon av Future Built krav på maks 40 kWh/m<sup>2</sup> år netto levert energi blokk 1 og 2

Resultater av evalueringen		
Evaluering mot NS 3700:2013	Beskrivelse	
Varmetapsramme	Bygningen tilfredstiller ikke kravet for varmetapstall	
Energiytelse	Bygningen tilfredstiller ikke krav til energiytelse	
Minstekrav	Bygningen tilfredstiller ikke minstekrav til enkeltkomponenter	
Luftmengder ventilasjon	Luftmengdene tilfredstiller minstekrav gitt i NS3700:2013	
Samlet evaluering	Bygningen tilfredstiller ikke alle krav til lavenergihus	
Varmetapsbudsjett		
Beskrivelse	Verdi	
Varmetapstall yttervegger	0,14	
Varmetapstall tak	0,11	
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri	0,10	
Varmetapstall glass/vinduer/dører	0,21	
Varmetapstall kuldebroer	0,03	
Varmetapstall infiltrasjon	0,00	
Totalt varmetapstall	0,58	
Krav varmetapstall	0,55	
Energiytelse		
Beskrivelse	Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov	51,5 kWh/m <sup>2</sup>	30,1 kWh/m <sup>2</sup>
Netto kjølebehov	0,0 kWh/m <sup>2</sup>	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk el./fossile energibærere	66,5 kWh/m <sup>2</sup>	84,8 kWh/m <sup>2</sup>
Minstekrav enkeltkomponenter		
Beskrivelse	Verdi	Krav
U-verdi glass/vinduer/dører [W/m <sup>2</sup> K]	0,80	1,20
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]	0,03	0,05
Årsmidlere temperaturvirkningsgrad varmegjenvinner ventilasjon [%]	0	70
Spesifikk vifteeffekt (SFP) [kW/m <sup>3</sup> /s]:	0,30	2,00
Lekkasjetall (lufttetthet ved 50 Pa trykkforskjell) [luftvekslinger pr time]	0,40	1,00

Bygninger er planlagt oppført som nær nullenergi, det vil si at energiforbruk for blokk 1 og 2 er ca. 40 kWh/m<sup>2</sup>. Dekker minst 45 % av varmeenergien til en resirkulert varmepumpe til blokk 1 og 2. Taket i bolig er installert et solcelleareal på ca.250 m<sup>2</sup> som produserer energi på ca. 34 kWh/m<sup>2</sup> BRA.

Tabell 13: Energibudsjett for blokk 1 og 2, og beregnet netto energibehov iht NS 3031

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	32563 kWh	57,3 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	709 kWh	1,2 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	16922 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	1636 kWh	2,9 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	758 kWh	1,3 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	6470 kWh	11,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	9951 kWh	17,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	69009 kWh	121,5 kWh/m <sup>2</sup>
Levert avtrekksvarmepumpe iht. tillegg N	22266 kWh	39,2 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk til drift av avtrekksvarmepumpe	8415 kWh	14,8 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov inkl. avtrekksvarmepumpe	55157 kWh	97,1 kWh/m <sup>2</sup>

Energiforbruken til blokk 3 er ca. 85 kWh/m<sup>2</sup>. Det er termisk energiproduksjon fra 3 brønner for oppvarming og til ventilasjon på sykehjem.

Tabell 14: Energibudsjekk for blokk 3, og beregnet netto energibehov iht NS3031

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	7116 kWh	15,6 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	7125 kWh	15,6 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	13585 kWh	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	6982 kWh	15,3 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	978 kWh	2,1 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	10652 kWh	23,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	10652 kWh	23,4 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	4706 kWh	10,3 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	61797 kWh	135,5 kWh/m <sup>2</sup>

#### 4.1.5 Konklusjon og resultater av evalueringen til blokk 1 +2

To typer bygninger ble vurdert opp mot energikrav, og evalueringsresultatene er vist i tabell 15. Begge typer konstruksjon dekker energibehovet til TEK. Blokk 3 klassifiseres som publikums- og arbeidsbygning, herunder institusjon. Blokk 1 og 2 klassifiserer som bolig.

Tabell 15: Evaluering mot energikrav i TEK for blokk 1 og 2

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	75,6 kWh/m <sup>2</sup>
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Beregnet energibehov vifter	2,0 kWh/m <sup>2</sup>
3b Beregnet energibehov pumper	1,4 kWh/m <sup>2</sup>
4 Beregnet energibehov belysning	11,4 kWh/m <sup>2</sup>
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	17,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Lvert avtrekksvarmepumpe ihht. tillegg N	-53,6 kWh/m <sup>2</sup>
Energibruk til drift av avtrekksvarmepumpe	17,1 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov inkl. avtrekksvarmepumpe	101,3 kWh/m <sup>2</sup>
Forskriftskrav netto energibehov	102,8 kWh/m <sup>2</sup>

Tabell 16: Evaluering mot energikrav i TEK for blokk 3

Energiramme (§14-2 (1), samlet netto energibehov)	
Beskrivelse	Verdi
1a Beregnet energibehov romoppvarming	70,3 kWh/m <sup>2</sup>
1b Beregnet energibehov ventilasjonsvarme (varmebatterier)	13,2 kWh/m <sup>2</sup>
2 Beregnet energibehov varmtvann (tappevann)	29,8 kWh/m <sup>2</sup>
3a Beregnet energibehov vifter	22,6 kWh/m <sup>2</sup>
3b Beregnet energibehov pumper	4,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Beregnet energibehov belysning	29,2 kWh/m <sup>2</sup>
5 Beregnet energibehov teknisk utstyr	23,4 kWh/m <sup>2</sup>
6a Beregnet energibehov romkjøling	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Beregnet energibehov ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	10,9 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt beregnet energibehov	203,4 kWh/m <sup>2</sup>
Forskriftskrav netto energibehov	205,0 kWh/m <sup>2</sup>

## 4.2 Dansk lavenergibygg

### 4.2.1 Innledning

Referansen er tatt i bruk fra CLIMAWIN sitt prosjekt i juni 2012. Denne rapporten har utviklet et enkelt beregningsverktøy for å gi en vurdering av den termiske oppførselen og energiytelsen til bygg med Climawin. Et dansk familiehus med lav energibyggning diskuteres i undersøkelsen. Rapporten blir kombinert, og er inkludert et sammendrag. Egenskapene til CLIMAWIN er nevnt under, og prøven 1,2 og 7 er utvalgt som eksempler. Undersøkelsen fokuserte på vinduskonstruksjon, U-verdi, g-verdi og ventilasjonsvarmegjenvinningsytelse. For å verifisere nøyaktigheten til Climawin verktøyet, er et annet bygnings termisk og energisimuleringsprogrammer inkluderer Bsim software. Beregningsresultatene fra Climawin-verktøyet sammenlignes med simuleringsresultatene hentet fra Bsim. Hensikten med undersøkelsen er å demonstrere de energibesparende fordeler ved å benytte av Climawin-verktøyet. For eksempel, sammenligner mellom et bygg med installert Climawin og sammen bygning med normalt vindu i denne undersøkelsen.

### 4.2.2 Introduksjon av CLIMAWIN

Denne undersøkelsen har tre vindustypologier som er angitt i figuren under med forklaringer, og sammenligne med det normale vinduet på termisk oppførsel og energiytelse. De er prøve 1, 2 og 7.



Hvit	Ventilert hulrom
Blå	Glass
Grå	Lukket hulrom, luft-argon
Rosa	Belegg med lav emissivitet

#### 4.2.3 CLIMAWIN konstruksjon

Prøven 1,2 og 7 er forklart i tabellen nedenfor

Tabell 17: Prøve 1-Doble glass mot utvendig miljø og to lag lav-e belegg

Ekstern rute	OpC1_4.pgl (clear 4mm)	
Mellomrom	Air-Argon 10/90 (12mm)	
Mellomrute	PLTFutN4.stg (low-E 4mm)	
Ventilert mellomrom	Air (30mm)	
Innvendig rute	SGG PLANITHERM FUTUR N_6mm sgg (low-E 6mm)	

Tabell 18: Prøve 2- enkeltglass mot utvendig miljø og to lag lav-e belegg

Ekstern rute	SGG PLANITHERM FUTUR	
Ventilert mellomrom	N_6mm sgg (low-E 6mm)	
Mellomrute	Air (30mm)	
Mellomrom	Air-Argon 10/90 (12mm)	
Innvendig rute	PLTFutN4.stg (low-E 4mm)	

Tabell 19: Prøve 7- enkeltglass mot utvendig miljø og et lag lav-e belegg

Ekstern rute	OpC1_4.pgl (clear 4mm)	
Ventilert mellomrom	Air (50mm)	
Mellomrute	OpC1_4.pgl (clear 4mm)	
Mellomrom	Air-Argon 10/90 (12mm)	
Innvendig rute	PLTFutN4.stg (low-E 4mm)	

#### 4.2.4 Symbol og forklaring til CLIMAWIN verktøy: Et enkelt beregningsverktøy

**Formel: Direkte solvarmegevinster i bygg**

$$Q_{s,tr} = F_{F,iu} \cdot A_{iu} \cdot g_{eff,iu} \cdot F_{F,ue} \cdot \tau_{e,ue} \cdot I_S \cdot t \cdot SC$$

$Q_{s,tr}$  - Direkte solvarmegevinster i byggesonen på grunn av transparente komponenter avhenger av solenergiens egenskaper, design og dimensjoner på innvendig og utvendig hud på ventilert vindu og estimert i henhold til standard DIN V 18599

$F_{F,iu}$  - korreksjonsfaktoren som står for andelen av rammene til de innvendige glassene

$A_{iu}$  - arealet av komponenten av overflaten som skiller den evaluerte byggesonen fra uoppvarmet glasert anneks [m]

$g_{eff,iu}$  - den effektive energioverføringen til den gjennomsiktige delen av vinduet, tar

følgende i betraktning:

- den totale energioverføringen  $g_{tot}$  til de interne glassene inkludert solbeskyttelse enheter,
- aktivering av solbeskyttelsesenheter,
- skyggelegging av omgivelser og deler av bygningen,
- avvik av strålingsforekomsten fra perpendikulæren,
- smuss på glasset (forurensning)

$F_{F,ue}$  - korreksjonsfaktoren for å ta hensyn til andelen av rammene til de utvendige glassene

$\tau_{e,ue}$  - Prosentandelen av stråling som kan passere gjennom glass, og UV-transmittans eller total solenergitransmittans til de ytre glassene

$I_s$  - den globale solstrålingsintensiteten for orienteringen av den respektive deleflaten

[W/m<sup>2</sup>]

$t$  - varigheten av beregningsperioden [h]

$SC$  – solskjermingskoeffisienten

#### 4.2.5 Vindusegenskaper

Ved beregning av vindusegenskapene, brukte man WIS-programvare i CEN-modus. Hvert vindu er delt inn i to deler, innvendig og utvendig glass. U-verdi og g-verdi beregnes med et enkelt vindu i stedet for hele vinduet, og påvirkning av ventilasjon vil ikke bli vurdert på dette trinnet. Solens direkte transmittans for utvendige vinduer beregnes også for å oppnå de direkte solvarmegevinstene fra vinduet.

Den følgende diskusjonen har alle typer vinduer samme dimensjoner, rammeforhold,  $F_F$  og skyggekoefisienten og SC.

Tabell 20: Vindusegenskaper til ulike eksempler

Vindu typer	$U_{ue}$	$U_{iu}$	$g_{L,ue}$	$g_{L,iu}$	$\tau_{L,ue}$	$g_{L,iu} * \tau_{L,ue}$
Climawin:Prøve 1	1,29	5,73	0,63	0,635	0,526	0,33401
Climawin:Prøve 2	3,24	1,29	0,625	0,63	0,59	0,3717
Climawin:Prøve 7	5,8	1,29	0,85	0,63	0,823	0,51849
Normalt vindu (lukket hulrom)	1,4		0,58			

**Symbol & forklaring til g og u-verdier**

$U_{ue}$ : U-verdi på utvendig glass

$U_{iu}$ : U-verdi på innvendig glass

$g_{L,ue}$ : g-verdi på utvendig glass

$g_{L,iu}$ : g-verdi på innvendig glass

$\tau_{L,ue}$ : Solens direkte transmittans av eksterne glass

Resultatene av tabell 18, vi kan beregne slik:

Climawin (prøve-1):  $g_{L,iu} * \tau_{L,ue} = 0,635 * 0,526 = 0,33401$

Climawin (prøve-2):  $g_{L,iu} * \tau_{L,ue} = 0,63 * 0,59 = 0,3717$

Climawin (prøve-7):  $g_{L,iu} * \tau_{L,ue} = 0,63 * 0,823 = 0,51849$

#### 4.2.6 Ventilasjonsvarmegjenvinning av Climawin

Climawin sitt vindussystem fungerer som, den kalde uteluften går gjennom hulrommet og forvarmet før går inn i rommet. Det er bra for innendørs termisk komfort, og også for energisparing. Derfor er varmegjenvinning av ventilasjon en viktig egenskap for Climawin utover vanlige vinduer. Graden av varmegjenvinning angir luftens forvarmekapasitet. Hvis den tilførte lufttemperaturen er lavere enn romtemperaturen inne, er varmegjenvinningsgraden mindre enn 1, men hvis den tilførte temperaturen er høyere enn innetemperaturen, er varmegjenvinningsgraden høyere enn 1. Med et vindu uten ventilert hulrom som normalt vindu (lukket hulrom), så temperaturen er den samme som uteluften. Det vil si at varmegjenvinningsgraden for et normalt vindu (lukket hulrom) er lik null.

I denne undersøkelsen beregner ved Climawin verktøy-tilnærming, WIS tilnærming og måletilnærming. Til slutt sammenligner mellom forskjellige tilnærminger, og diskuterer om de viktige faktorer for varmegjenvinningsgrader. Vinduene omtalt i følgende tilnærminger har det samme

dimensjon på 1,82 m<sup>2</sup>. Varmegjenvinningsgraden er en indikator på luftforvarmingsytelsen, så kan vi skrive den slik:

$$\varphi = \frac{(\vartheta_{outlet} - \vartheta_e)}{(\vartheta_i - \vartheta_e)}$$

$\varphi$  - varmegjenvinningsgraden

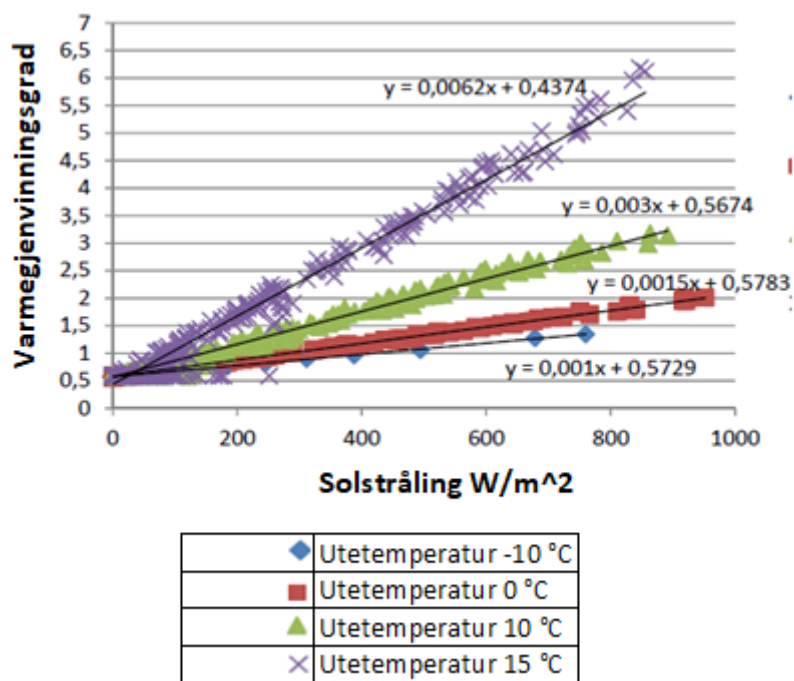
$\vartheta_i$  - innelufttemperaturen [K]

$\vartheta_e$  - utelufttemperaturen [K]

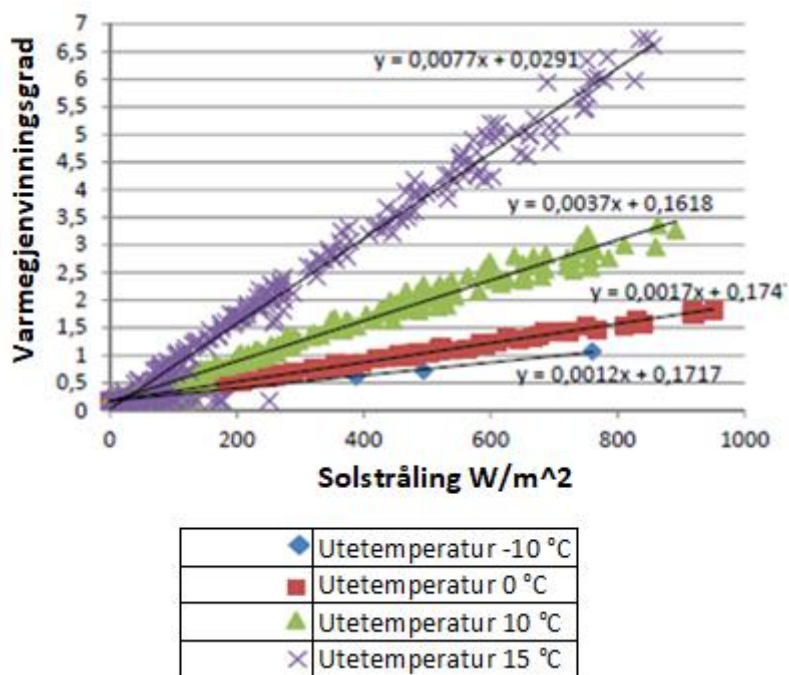
$\vartheta_{outlet}$  - utgangslufttemperaturen fra vindushulen [K]

#### 4.2.7 Climawin verktøy-tilnærming

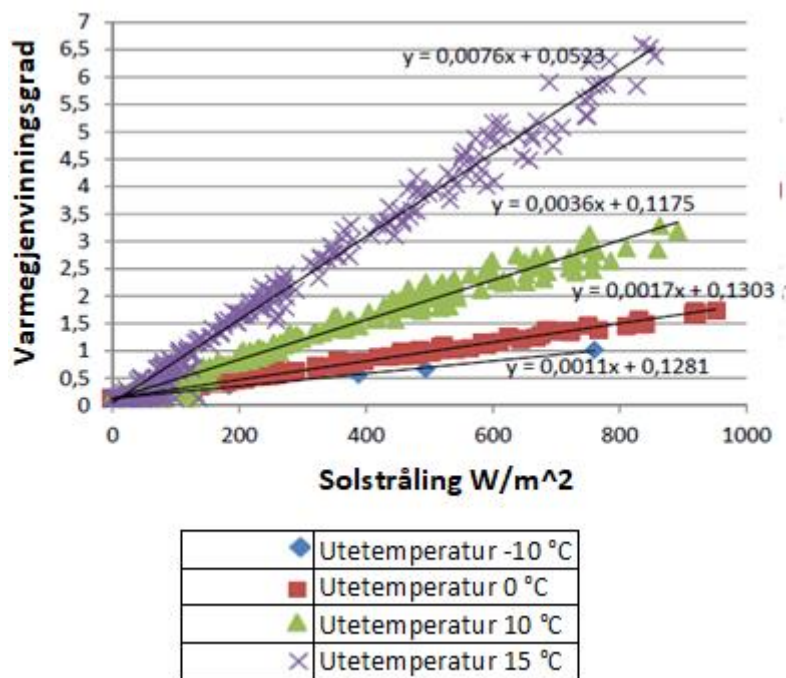
Ventilasjon varmegjenvinningsfasen avhenger av virkningen av sollys og utetemperatur. For varmegjenvinningsgraden til prøve 1,2 og 7 er analysert ved fire utetemperaturtilfeller: -10, 0, 10 og 15 °C med ulike solstråling fra 0 til 1000 W/m<sup>2</sup>.



Figur 17: Varmegjenningsgraden, prøve 1



Figur 18: Varmegjenningsgraden, prøve 2



Figur 19: Varmegjenningsgraden, prøve 7

Ventilasjons- og varmegjenvinning graden er direkte proporsjonal med sollys fordi sollys varmer opp vinduet, og dette varmer opp luften. Hvis sola er sterkere, blir det tilført varmere luft. Hvis varmere uteluft, desto høyere vil varmegjenningsgraden være. Som vist i prøve 7, når utetemperaturen er 15 °C, blir varmegjenningsgrader høyere enn 6. Det vil si at tilluftstemperaturen er mye høyere enn innelufttemperaturen. Har sollyset sterkt og varmt, vil Climawin automatisk bytte til kjølefunksjon.

Som vist i figuren (prøve 1), var varmegjenningskapasiteten til prøve 1 signifikant bedre enn prøve 2 og 7 om vinteren, særlig når det ikke var sollys eller lav solenergi. Når solstrålingen er 0 W/m<sup>2</sup>, blir varmegjenningsgraden til prøve 1 ca. 0,58, mens prøve 2 og 7 er henholdsvis 0,17 og 0,13. Det vil si at om natta eller overskyet dag. Luften som tilføres prøve 1 er varmere enn de andre, noe som betyr at den er bedre for innendørs oppvarming og energisparing.

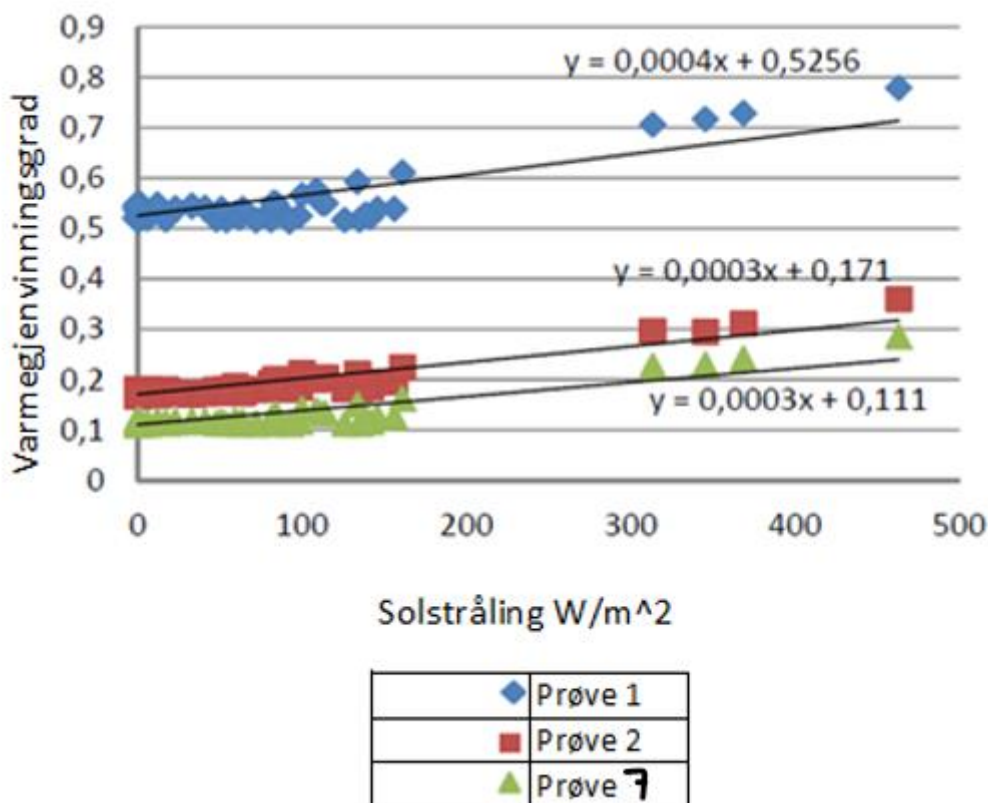
#### 4.2.8 WIS-programvare

WIS er et allsidig europeisk programvareverktøy som kan hjelpe med å bestemme egenskapene til vindussystemer (glass, rammer, solskjerming osv.) og vinduskomponenter. WIS verktøyet inneholder databaser med komponentegenskaper og rutiner for beregning. WIS-verktøyet ble utviklet under WIS-prosjektet 2004-2006 (Windat

u.d.). WIS-verktøyet er muligheten til å kombinere glass- og skjermalternativer, og den kan benytte til å beregne termiske ytelse og g-verdi for vinduer (Dijk 2003).

#### 4.2.9 WIS Tilnærming

Ordet WIS betyr vindu informasjonssystem. Ved WIS -tilnærming beregnes utløp luftens temperatur av WIS programvaren. Varmegjenvinningsytelsen analyseres i det typiske vinterværet: overskyet vinterdag og solrik vinterdag, hvor utetemperaturen varierer fra 0 til -15 °C og solinnstrålingen varierer fra 0 til 500 W/m<sup>2</sup>.



Figur 20: Varmegjenvinningsgrad ved WIS-tilnærming

#### 4.2.10 Måletilnærming

PCM forbedret ventilert vindu

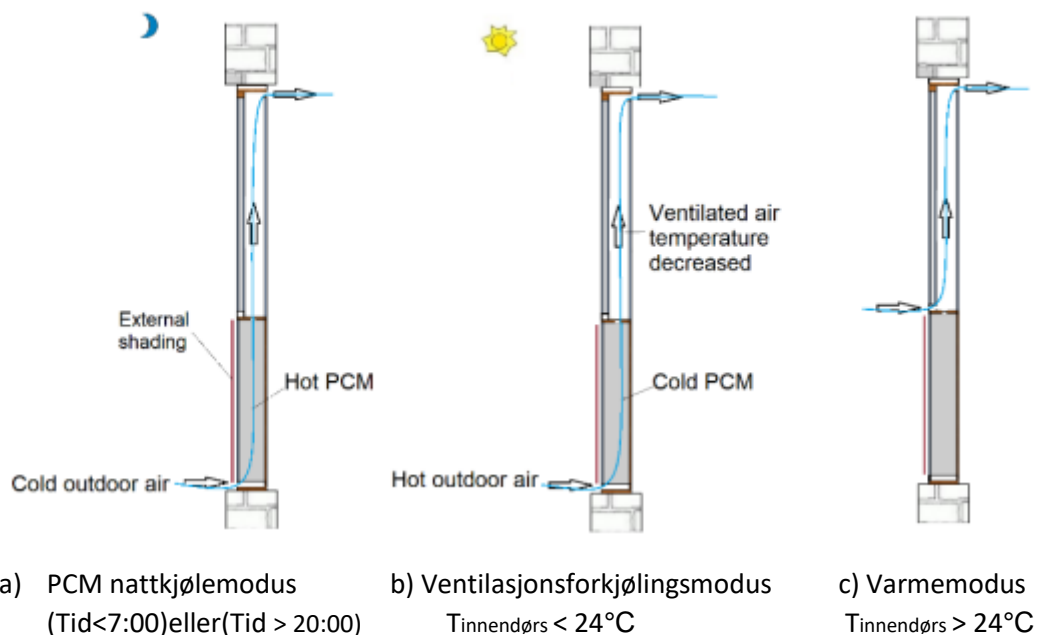
##### Kort om PCM (Phase change material):

Hovedegenskapen til PCM er lagring av varmeenergi i latent form, noe som fører til større varme lagringskapasitet per volumenhet enn for konvensjonelle byggematerialer (Baetens, R., Jelle, B. P., & Gustavsen, A. (2010)). PCM er også referert til som en latent varmelagringsenhet. Eksperimentelt studert forvarmingsytelsen til ventilasjonsvinduet og funnet at det kan øke innløpsluftens temperatur

med minimum 6 °C. David Appelfeld, Svend Svendsen, 2011 studerte energiytelsen til ventilasjonsvinduet i et kontrollert klima og fant at ventilasjonsvindu kan redusere 10 % av varmebehovet. PCM legger til ekstra termisk lagring til ventilasjonsvindu for henholdsvis kjøling/oppvarming. I ventilasjonsforvarmingsapplikasjoner kjøles PCM ned fra omgivelsesluften ved nattventilasjon, og den kalde PCM forkjøler den ventilerte luften på dagtid.

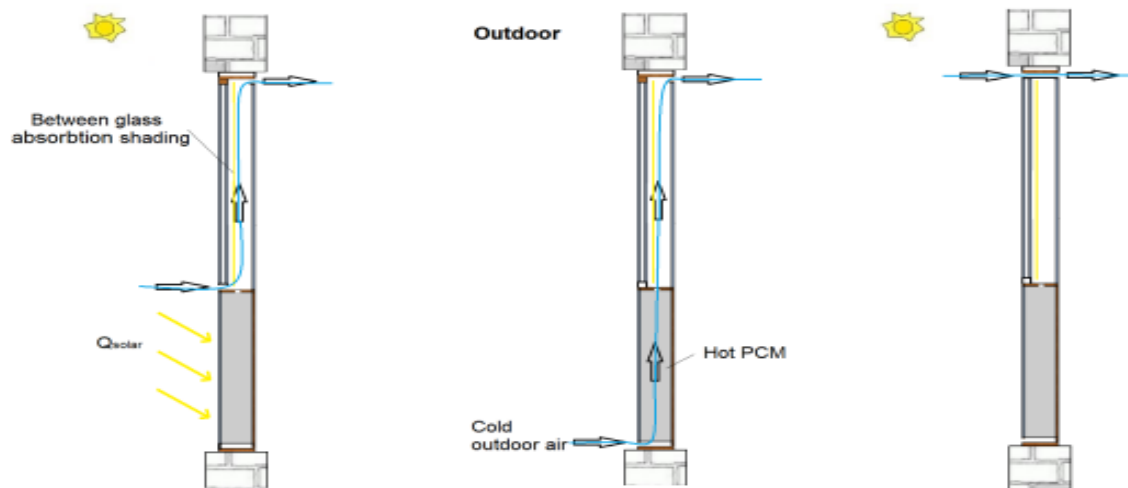
I ventilasjonsforvarmingsapplikasjoner lagrer PCM solenergi på dagtid. Den tilfører forvarmet luft til ventilasjonsvindu når det kreves oppvarming.

PCM er brukt i bygningskomponentene forbedrer bygningens energifleksibilitet ved å tilføre fornybar energi til bygningens energisystemer. Det reduserer bygningens energiforbruk fra tradisjonelle fossile brensler og forbedrer bygningens energifleksibilitet. Det desentraliserte ventilasjonssystemet kan gi et godt inn klima for separate rom, og er konkurransedyktig til et tradisjonelt sentralventilasjonsanlegg med omfattende og energikrevende kanaler og rør i bygget. PCM ventilasjonsvinduet kan brukes både sommer og vinter. De to applikasjonene har samme konfigurasjoner, men arbeidsprinsippene og kontrollstrategiene er forskjellige.



Figur 21: Arbeidsprinsipp for sommernattkjøling (kilde: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))





a) Lagringsmodus for solenergi Solstråling  $>200\text{W}/\text{m}^2$     b) Ventilasjonsforkjølingsmodus  $T_{\text{innendørs}} < 24^\circ\text{C}$     c) Bypass-modus  $T_{\text{innendørs}} > 24^\circ\text{C}$

Figur 22: Arbeidsprinsipp for lagring av solenergi om vinteren (kilde: [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com))

I sommernattkjøleapplikasjonen (figur 21) fungerer PCM som en kjøleribbe.

Den kalde omgivelsesluften ventileres gjennom PCM om natten for å fjerne varmen i PCM i nattkjølemodus (Figur 21 (a)). På dagtid kjøler den kalde PCM ned ventilasjonen når det er behov for forhåndskjølt luft i ventilasjonsforkjølingsmodus (Figur 21 (b)). Når innetemperaturen er for lav, brukes ikke PCM til å produsere varme til ventilasjonen. I stedet betjenes oppvarmingsmodusen (Figur 21 (c)), den relativt høyere temperaturluften i det ventilerte vinduet (sammenlignet med utelufttemperaturen) ventileres inn i rommet.

I vintersolenergilagringsapplikasjon (Figur 22), lagrer PCM solenergi fra solstråling på solfylte dager i solenergilagringsmodus (Figur 22 (a)). Under ventilasjonsforvarmingsmodus (Figur 22 (b)), frigjør den varmen til ventilasjonen når det er behov for forvarmet luft. Når innelufttemperaturen er for høy, aktiveres bypass-modus (Figur 22 (c)), og uteluften ventileres direkte inn i rommet.

Prøve 1 brukes i målemetode. Målinger av varmegjenvinningsgraden, beregnet i de tre ulike tilfellene:

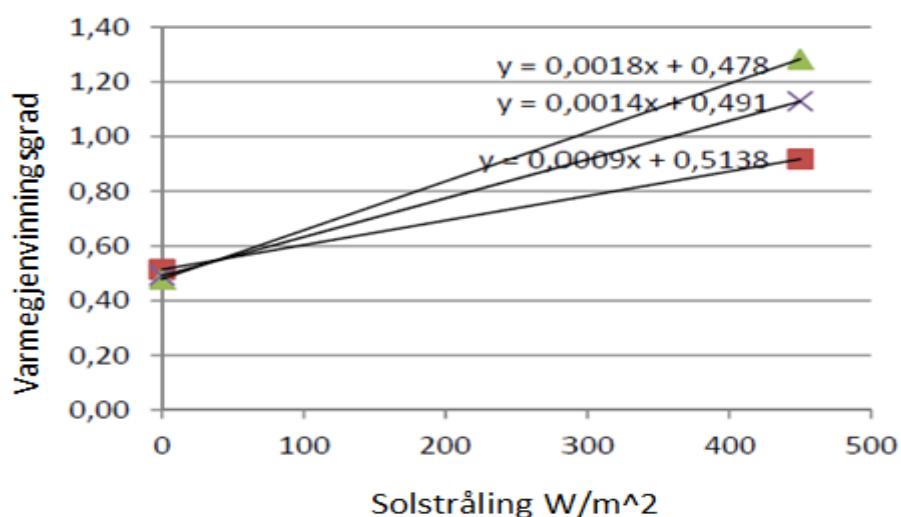
1. ventilert hulrom uten skyggeanordning
2. ventilert hulrom med PCM i lukket stilling og
3. ventilert hulrom med PCM i åpen stilling. Varmegjenvinningsgraden for et normalt vindu (lukket hulrom) er lik null.

Antar at utetemperaturen er  $\theta_e = -1^\circ\text{C}$  til en kald vinter dag, og  $\theta_i = 21^\circ\text{C}$  til innetemperatur.

Målingene ble utført i to solforhold, med solstråling ca.  $450\text{ W/m}^2$  og uten solstråling.

Tabell 21: Varmegjennvinningsgrader i tre måleforhold

Solstråling ( $\text{W/m}^2$ )	Ventilert hulrom (4 l/s)	Ventilert hulrom (4 l/s) og lukkede PCM persienner	Ventilert hulrom (4 l/s) og åpne PCM persienner
0	0,51	0,48	0,49
450	0,92	1,28	1,13



■	Ventilert hulrom
▲	ventilert hulrom (4 l/s) og lukkede PCM persienner
×	ventilert hulrom (4 l/s) og åpnet PCM persienner

Figur 23: Varmegjennvinningsgrader i tre måleforhold, Prøve 1

Ifølge **tabell 23**, Climawin prøve 1 er tydelig vist å ha utmerkede termiske egenskaper. Varmekilde i rommet varmes den tilførte luften opptil halvparten av inneluften temperatur f.eks. når det ikke er sol. Når det er solinnstråling varmes den tilførte luften opp til innelufttemperaturen. Det vil si at det ikke trenger ekstra energi for å varme opp luften som tilføres av ventilasjon. skyggeapparatet med PCM-blader bidra til å øke energieffektivitet både for lukket og åpen posisjon.

#### 4.2.11 Sammenligner mellom Climawin, WIS og måletilnærminger

For å bekrefte nøyaktigheten av forskjellige tilnærminger, sammenligner varmegjenvinningsgradene. Vi antar at gjennomsnittlig til prøven 1 i utelufttemperatur er 0 °C, og solstråling er henholdsvis 0 W/m<sup>2</sup> og 450 W/m<sup>2</sup>. Den er gitt graden av varmegjenvinning under tabellen.

Tabell 22: Varmegjenvinningsgraden til prøve 1 ved ulike tilnærminger

Tilnærming		Climawin-verktøy	WIS	Målingstilnærming
Solstråling	0 W/m <sup>2</sup>	0,58	0,53	0,51
Solstråling	450 W/m <sup>2</sup>	1,25	0,71	0,92

Den finner ut forskjellige tilnærminger for å bestemme varmegjenvinningsgraden til prøve 1 som gir godt samsvar når solstrålingen er 0 W/m<sup>2</sup>. Når solstrålingen er 450 w/m<sup>2</sup>, resultatene til tilnærmingene er svært forskjellige som er gitt i tabell 20. Climawin-verktøy har den høyeste verdien (1,25) når vi sammenlignet med de to andre tilnærmingene. Grunnen til dette kan være at solvarmen som er fanget i hulrommet som regnes som å forvarme den tilførte luften i denne tilnærmingen. Basert på Fraunhofers forskningserfaring er den faktiske luftstrømmen gjennom hulrommet tilsynelatende lavere enn den teoretiske verdien (4 l/s) (*Fraunhofer er Europas største applikasjonsorienterte forskningsorganisasjon*). Når luften passerer gjennom hulrommet, lekker noe av luften fra karmen eller vindusgapet i måletilstand. Jo lavere luftstrøm gjennom det ventilerte hulrommet, desto høyere er temperaturen på den tilførte luften sammenlignet med utetemperaturen.

### 4.3 Case-studie

I en undersøkelse utført av Aalborg universitet i 2012, og undersøkelsen har tatt i bruk dansk lavenergibygg. For å verifisere nøyaktigheten til Climawin-verktøy og energieffektiviteten til dette bygget skal simuleres samtidig med termisk og energisimulering til et annet bygg. I vårt tilfelle, Bsim-programvare brukes til å etterligne årlige energibehov og for å sammenligne beregningsresultatene til Cimawin-verktøy.

Et av hovedmålene med denne casestudien var å undersøke potensialet for energisparing til Climawin, og finne ut de energibesparende fordelene ved å bruke Climawin, og sammenligne det årlige energibehovet for en eksempelbygning utstyrt med Climawin med en bygning med konvensjonelle vinduer.

**Bsim-programvare:** BSim (Building Simulation) er et integrert PC-verktøy for å analysere bygninger og installasjoner. Programvaren beregner kraftuttaket og energiflyten i en bygning, mellom bygningen og

omgivelser. For alle opprettede områder eller soner. Derfor kan programvaren brukes til å koble til varmetap gjennom infiltrasjon og ventilasjon, solar oppvarming. I tillegg beregner den varmen og fuktigheten som slippes ut av mennesker og materialer, strømforbruk for belysning, og varme, Kraftbehov og energiforbruk for hver komponent i kjøle- og ventilasjonssystemet. Inneklima beregnes ved hjelp av timesverdier for innelufttemperatur, overflatetemperatur, relativ fuktighet og luftskifte til hver sone.

#### 4.3.1 Beskrivelsen av dansk lavenergibygg

Den gamle bygningen var bygget i 1970, og ble rehabilitert som moderne hus i 2010. prosjektet er tegnet av Pluskontoret A/S og bygget av Realdania Byg A/S. Realdania Byg oppgaver er å forbedre livskvaliteten og byutvikling.

Formålet er å spare energi til oppvarming, en del fokuserer også på å spare strøm. Energi forbruk nivået som nås er under 42 kWh/m<sup>2</sup> per året. Bygningen benytter av Climawin hybrid ventilasjonssystem, dermed gjør et behag, godt og sunt inneklima. Om sommeren bruk av ventilasjonsanlegg for inntak, og takvinduer som åpnes automatisk for å puste ut den brukte luften. Om vinteren bruk av et lukket og kontrollert system med varmetilførsel. I vårt tilfelle er bygget for eksempel et toetasjes «dansk laveenergibygg» som vist på figuren, og Bsim-modulen er vist i figur under

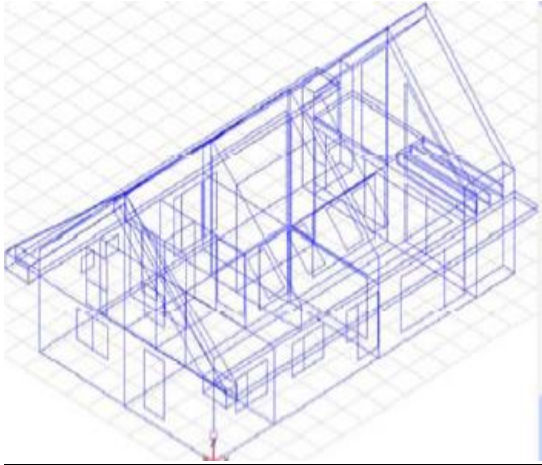


Huset før energirenoeringen(1970)



Samme hus etter energirenoeringen(2010)

Figur 24: dansk laveenergibygg før og etter (kilder: [www.refurb-project.eu/reference/energy-parcel/](http://www.refurb-project.eu/reference/energy-parcel/))



Figur 25: Bsim-modul for prøvebygging

Grunnleggende bygningsinformasjon og værddata brukt i beregningen og Bsim-simuleringen er forklart i tabell.

Tabell 23: Bygningsinformasjon og værddata

Værddata	Tørt Danmark, basert på Danmarks design referanseår	
bygninginformasjon	Bruttovolum	596,8 m <sup>3</sup>
	Netto volum	380,2 m <sup>3</sup>
	Gulvareal	202,3 m <sup>2</sup>
	Antall vindu	29 (inkluderer 9 takvinduer)
	Dimensjon på vinduet	Vinduet
Takvinduet		1,09 m <sup>2</sup>

Tabell 24 er vist under den termiske egenskapen til bygningselementer, og som er danske lavenergiklasse 1 fordi elementene i bygnings U-verdier er lavere enn normalbygget.

Tabell 24: Termiske egenskaper til bygningselementer

bygningselementer	Gulv	U=0,23 W/m <sup>2</sup> .K
	Yttervegg	Sør U=0,089 W/m <sup>2</sup> .K Andre U=0,114 W/m <sup>2</sup> .K
	Tak	U=0,095 W/m <sup>2</sup> .K
	Ytterdør	U=1,234 W/m <sup>2</sup> .K
	Vinduer	U=1,4 W/m <sup>2</sup> .K

I tillegg til de oppgitt U-verdiene og standard meteorologisk data for Danmark er det brukt følgende parametere i beregningene.

Tabell 25: Byggesystem

	Aspekt	Beskrivelse	Tid (periode)
System	Infiltrasjon	$N_{inf}=0,13 \text{ h}^{-1}$	Bestandig
	Luftskifte hastighet gjennom vinduer	$N_{vin} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ (DIN V 18599)	Bestandig
	Folk laster	To personer, standard fem personer, standard	Man - torsdag Fredag og helgen
	Utstyr	0,253-1,407 kW	Sesongmessige og brukerprofiler
	Oppvarming	Settpunkttemperatur = 20 °C	Bestandig
	Kjøling	Settpunkttemperatur = 20 °C	Bestandig

#### 4.3.2 Sammenligningsresultater

Tabellen viser under beregninger og forskjellige resultater av både for Bsim-programvare og Climawin-verktøy til den danske lavenergibygg.

Tabell 26: Beregninger og forskjell resultater for Bsim og Climawin programvare

Aspekt	Interne varmetilskudd	Soltilskudd	Infiltrasjonstap	Transmisjonsvarmetap	Ventilasjonstap	Kjølebehov	Varmebehov
Bsim (kWh)	6505	9723	-1747	-13819	-6334	-6307	12012
Climawin-verktøy (kWh)	6505	14866	-1904	-13923	-7210	-11531	13202
Forskjellsprosent	0%	53%	9%	1%	14%	83%	10%

Selve formelen for å regne ut endring i prosent ser slik ut:  **$((\text{Ny verdi} - \text{Opprinnelig verdi}) / \text{Opprinnelig verdi}) * 100\%$**  = endring i prosent

For å finne forskjellsprosent, starter man med å trekke den opprinnelige fra den nye verdien.

$$\text{Innvendig varmeøkning} = ((6505 - 6505) / 6505) * 100\% = 0$$

$$\text{Soltilskudd} = ((14866 - 9723) / 9723) * 100\% = 53\%$$

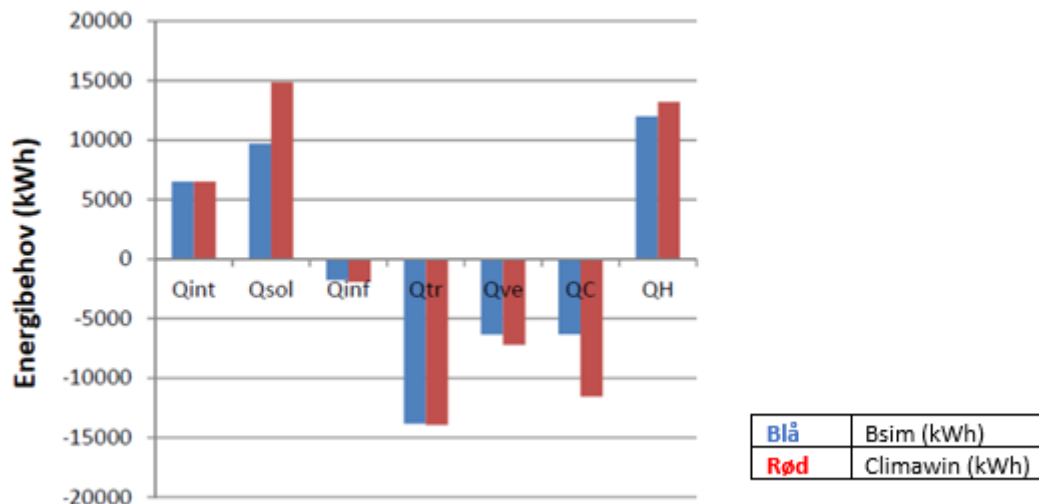
$$\text{Infiltrasjonstap} = ((-1904 - (-1747)) / -1747) * 100\% = 9\%$$

$$\text{Transmisjonsvarmetap} = ((-13923 - (-13819)) / -13819) * 100\% = 1\%$$

$$\text{Ventilasjonstap} = ((-7210 - (-6334)) / -6334) * 100\% = 14\%$$

$$\text{Kjølebehov} = ((-11531 - (-6307)) / -6307) * 100\% = 83\%$$

$$\text{Varmebehov} = ((13202 - 12012) / 12012) * 100\% = 10\%$$



Figur 26: Sammenligning av energiytelse mellom BSim og Climawin-verktøy

Det er tydelig vist på kurven at det er stor forskjell i mengden varme som er tilgjengelig for solen. Forskjellen mellom de to metodene er opptil **53%**. Dette er på grunn av utformingen av den utvendige skyggeanordningen overheng. Faste overheng er svært effektive for å forhindre solstråling. Skyggelegging av sørvendte vinduer, spesielt om sommeren når solvinklene er høye. De forhindrer uønsket varmt sollys i sommermånedene når byggingen er tilstrekkelig varm.

Bsim har en god funksjon for å beregne andel vinduer som er dynamisk skyggelagt av overheng eller annen skyggelegging. Derimot Climawin-verktøy, skygger er vanskelig å forutsi og skille for forskjellige retninger. Derfor ignorerer undersøkeren i dette tilfellet økningen i solvarme i Climawin metoden. Dette er hovedårsaken til den store forskjellen i solvarmegevinsten i disse to metodene. Dette forklarer også hvorfor det er en betydelig forskjell **83%** i kjølebehov mellom de to metodene.

Resultatene av intern varmeoverføring og overføringstap fra bygningskallet har et godt samsvar mellom de to metodene. Forskjellen mellom ventilasjonstap og varmebehov er mindre enn **15 %** og ha også et akseptabelt nivå.

#### 4.4 Energisparingspotensialet til Climawin

##### 4.4.1 Vindus typer og antall

Referansen er basert på DIN V 18599 standard, for et boligbygg med minimum bruksavhengig luftskifte hastighet med uteluft er 0,5 per time ( $n_{\text{nutz}} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ ). Siden nettovolumet av eksempelbygningen er  $380 \text{ m}^3$ , bør den totale luftstrømmen gjennom vinduene være  $190 \text{ m}^3/\text{t}$  ( $52 \text{ l/s}$ ). Alle de 29 vinduene i referansebygget var vanlig vinduer med lukket hulrom. I testbyggene ble 13 vinduer skiftet ut med ventilasjonsvinduer, men 16 stykker fortsatt var av vanlig type.

Tabellen under vises utskiftingen utføres basert på prosentandelen av vindusarealet i hver orientering.

Tabell 27: Antall og type vinduer i hver bygningstype

<b>Bygning</b>	<b>Climawin</b>	<b>Normalt vindu</b>
Referansen bygning	0	29
Climawin bygning (prøve 1)	13	16
Climawin bygning (prøve 2)	13	16
Climawin bygning (prøve 7)	13	16

Climawin vinduene fordelte seg slik:

Tabell 28: Antall vinduer i Climawin-bygningen i hver orientering

Vindu i hver orientering	Climawin	Normalt	Total
Vindu sør	5	5	10
Vindu nord	2	1	3
Vindu vest	2	3	5
Vindu øst	1	1	2
Tak vindu vest	2	4	6
Tak vindu øst	1	2	3
Summen	13	16	29



Ved beregning av arealet til vinduene, multipliserer med antall vindu og størrelsen av hvert vindu

Tabell 29: Antall og normal vinduer type

Normalt vindu	Antall vindu	Areal (m <sup>2</sup> )
Sør	5	1,82*5 = 9,1
Øst	1	1,82*1 = 1,82
Vest	3	1,82* 3 = 5,46
Nord	1	1,82*1 = 1,82
Takvidu (Vest)	4	1,09*4 = 4,36
Takvidu (Øst)	2	1,09*2 = 2,18

Tabell 30: Antall og normalt vinduer type

Climawin vindu	Antall vindu	Areal (m <sup>2</sup> )
Sør	5	1,82*5=9,1
Øst	1	1,82*1=1,82
Vest	2	1,82*2=3,64
Nord	2	1,82*2=3,64
Takvidu (vest)	2	1,09*2=2,18
Takvidu (øst)	1	1,09*1=1,09

Beregning av energitilskudd fra solstråling henhold til NS 3031

**Formel: Varmetilskuddet fra sol skal beregnes slik:**

$$Q_{sol,i} = t_i \sum I_{sol,i} A_s F_s$$

hvor:

Ti = tid

I<sub>sol,i</sub> = strålingsfluks

A<sub>s</sub> = effektivt glassareal

F<sub>s</sub> = solskjermingsfaktor

**Tid (ti):** Standarden er basert på at energiproduksjonen beregnes for hver måned ved såkalt månedlig stasjonær beregning. Standarden forutsetter videre at timetallet deles på 1000 slik at varmetilskuddet omregnes til kWh, og indeksen (i) angir den aktuelle måneden. Det kan vi også beregne med andre måte at  $t_1 = 31(\text{dager}) * 24(\text{timer}) = 744 \text{ kh}$ , dette betyr at det er 744 tusendels timer i januar. Vi kan beregne slik samme måte de resterende månedene. Hvis vi kjenner den gjennomsnittlige årlige innstrålingen, da kan vi finne varmetilskuddet ved å sette  $t_{1-12} = 8,76 \text{ kh}$  som er vist i tabell (21) under:

Tabell 31: Gjennomsnittlige årlige innstrålingen

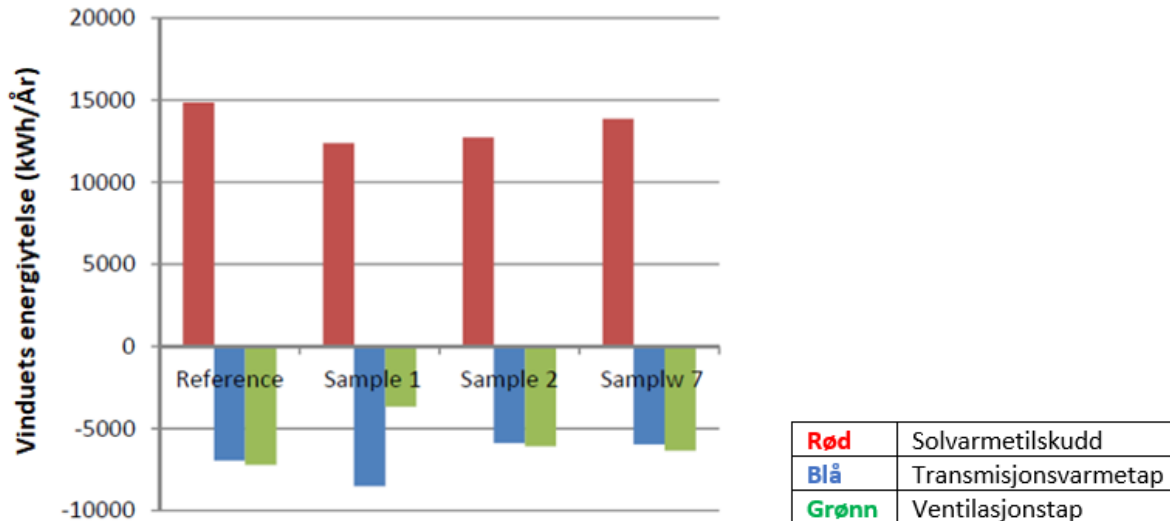
Måned	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Des	År
Dager	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31	365
Timer	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744	8760
ti	0.744	0.672	0.744	0.720	0.744	0.720	0.744	0.720	0.720	0.744	0.720	0.744	8.76

#### 4.4.2 Resultater

Beregningsresultatene er basert på energieffektiviteten til vinduene, og energieffektiviteten til andre bygningssystemer og byggets totale energibehov er gitt i tabellen.

Tabell 32: Energiytelse for hver prøve

Vindu typer	vindus energiytelse				Annet bygningselement			Total energibehov i bygninger			
	$Q_{sol}$ kWh	$Q_{tr,vin}$ kWh	$Q_{vent,vin}$ kWh	$Q_{ls,vin}$ kWh	$Q_{tr,andre}$ kWh	$Q_{inf}$ kWh	$Q_{int}$ kWh	Hele året varmebehov	hele året kjølebehov	Total energibehov	Energibehov prosent
Referanse bygning	14866	-6943	-7210	-14153	-6980	-1904	6505	13202	-11531	24733	100 %
Climawin bygning Prøve 1	12382	-8526	-3663	-12189	-6980	-1904	6505	11921	-9757	21678	88 %
Climawin bygning Prøve 2	12732	-5875	-6083	-11958	-6980	-1904	6505	11599	-9992	21591	87 %
Climawin bygning Prøve 7	13868	-5959	-6349	-12308	-6980	-1904	6505	11854	-11037	22891	93 %

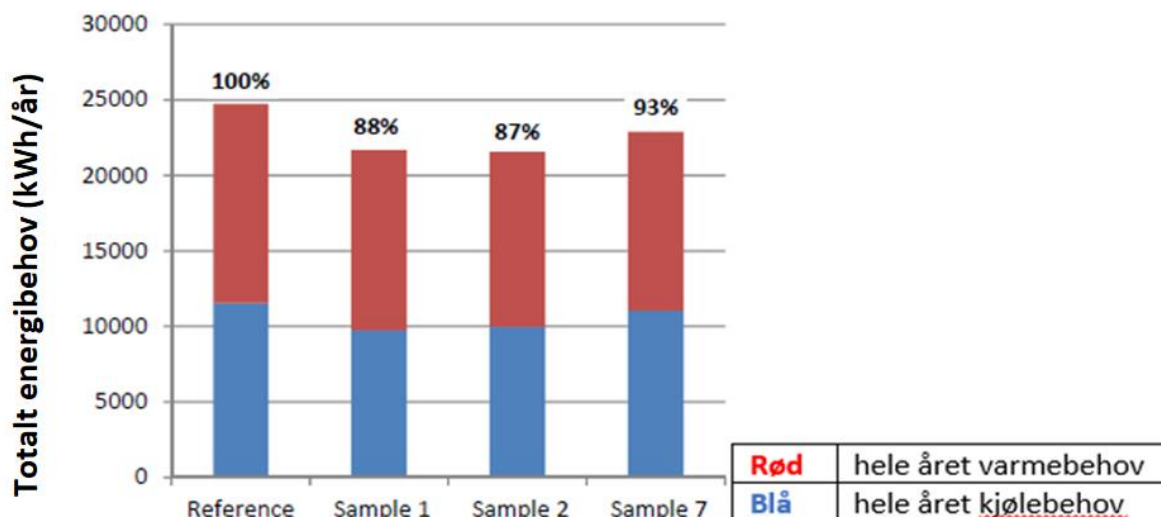


Figur 27: Energiytelse for forskjellige vindusprøver (kWh)

Vinduets energiytelse inkluderer ventilasjonstap, overføringstap og solvarmetilførsel. Denne undersøkelsen skal ikke vurdere den innvendige varmegevinsten fordi det ikke er innvendig varmekilde i vinduet. Som viser i figuren bygning med referanse vinduet har den største solvarmeøkningen enn de andre tre vinduene. Dette kan forklares med  $g$ -verdien til vinduet. Når de andre parameterne er de samme som dimensjon på vindu, solinnstråling og  $F_F$  og  $SC$ , og dominerer  $g$ -verdi som  $g_{\text{eff},iu} \cdot T_{e,ue}$  mengden solvarme som kommer inn i bygget. Det skiller beregningsmetoden til Climawin-verktøy vinduet i utvendig og innvendig glass. Derfor antas tap av overføring gjennom vinduet å være varmeoverføringen fra innemiljøet til vinduet. For vinduer med samme glassflate er dette  $u$ -verdien til det innvendige glasset. Det er temperaturforskjell mellom innemiljø og hulrom som bestemmer av mengden overføringstap. Som vises figuren hulromstemperatur er høyere enn de andre prøvene. Dette betyr at temperaturforskjellen mellom hulrom og innemiljø er lavere, og forårsaker til har største  $u$ -verdien for innvendige glass på prøven 1 er at største overføringstap fra vinduet.

Ifølge undersøkelsen, prøve 1 er den beste varmegjenvinningshastighet fordi den er god for å redusere ventilasjonstap. Friskluft forvarmes gjennom før luften går inn i bygget. Prøve1 er den minste ventilasjonstap enn de andre prøvene. Både prøver 2 og 7 er mindre luftvarmegjenvinning enn prøve 1, slik at begge har enkeltglass mot utsiden og doble vinduer innvendig.

Forårsaket til referansebygg med normalt vindu er det største ventilasjonstapet fordi uteluften kommer direkte inn i bygningen uten noen forvarmingsprosedyre.



Figur 28: Totalt energibehov for bygg med ulike vindusprøver

#### 4.4.3 Konklusjon

Som viser i figur 29 referansebygg med normalvinduet installert har den største energibehov både til varme og kjølebehov for hele året, det blir ca. 25000 kWh per året. Prøve 1, bygning med Climawin-verktøy har best ytelse på kjølebehov, og bygning med Climawin-verktøy på prøve 2 har den beste på varmebehov. Men de to modellene for total årlige energibehov er nesten like, henholdsvis 88% og 87%. Prøve 7 har dårligere energiytelse enn prøve 1 og 2, men er bedre enn referansebygningen.

## 5 EGEN FELTMÅLING

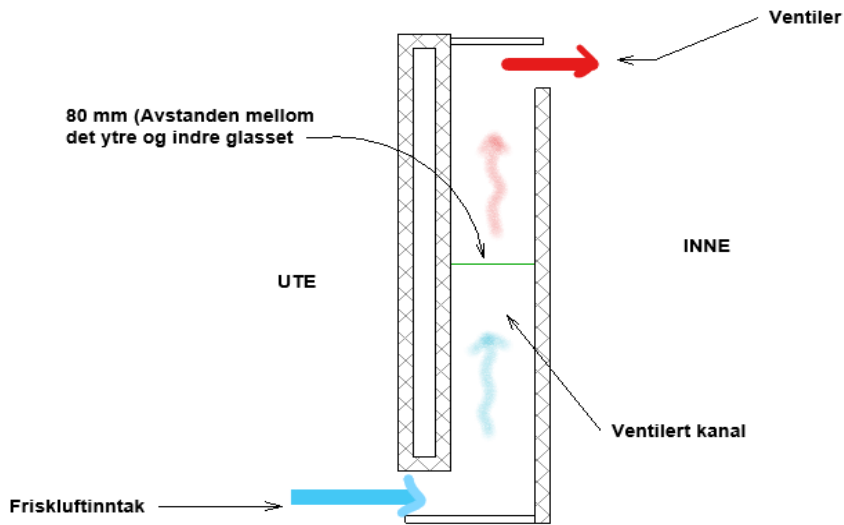
Jeg har foretatt temperaturmålinger av ventilasjonsvinduet ved en måling. Målingen ble utført i Sesnors lokaler på Sola (Skvadronvegen 3, 4050 Sola) den 07.februar.2022, og resultatene av målingene kan leses under.

Hensikten med feltmålinger var ved selvsyn å se hvordan vinduet fungerte og å sjekke temperaturoytelsene.

### 5.1 Lokalisasjon

Feltemålinger ble gjennomført på et ventilasjonsvindu i et kontorbygg i Sola. Kontoret har installert IR-varme ved vinduet. Vi tok hensyn til IR-varmen og frakoblet IR-varmen før målingene ble gjennomført.

## 5.2 Egenskaper for ventilasjonsvinduet



Figur 29: ventilasjons dobbeltvindu luft system

Climawin vinduet er produsert med 30mm, 50mm og 80mm hulrom i luftspalten.

Bredde: 1.2 meter

Høyde: 0.998 meter

Avstand mellom det ytre og indre glasset: 80mm

Vinduskarm har tømmer, og Standard U-verdien på vinduet er  $0.56 \text{ W/m}^2\text{k}$ .



Figur 30: Dimensjon på det ventilerte dobbeltvinduet (Foto: Morris Van H Cinzah)

### 5.3 Klima

Jeg har vært på Sesnor sitt kontor på Sola den 07.feb.2022 for å gjennomføre av overflatetemperatur i ventilasjonsvinduet. Det regnet litt, og utetemperaturen i målingsdagen var cirka 6°C.

### 5.4 For øvrig brukte jeg følgende utstyr

- Målebånd
- 4 Ledninger (for å teipe fast på overflatene)
- Pc-en
- Termometer/data logger (overflatemålet i vinduet)
- Teip



Figur 31: Utstyrer gjennombruk

## 5.5 Måleutstyr

### 5.5.1 Datalogger

Målingene ble utført ved hjelp av «Elma 718A temperatur datalogger» for å registrere romtemperatur og varmeoverflaten i vinduet. Dataloggeren består av fire kanalers innganger, fire kanalers skjerm og hold funksjon. Det betyr at vi kan logge fire ulike målepunkter samtidig. Den er en types som automatisk rekkevidde, og kan lagre opptil 16 000 måleverdier, med visning av temperatur. Dataloggeren har en nøyaktighet på  $\pm 0,1\% + 0,7^\circ$ .



Figure 32: CENTER 378\_ Four Channels Datalogger Thermometer (K/J/E/T Type)

## 5.6 Eksperimentelt oppsett

### Testet ventilert dobbelt ventilasjonsvindu

Fire temperaturer sensor ledninger ble festet på vindusoverflate for å måle overflatetemperaturen. I tillegg teipet over metalltråder for å ikke påvirke av romtemperaturen. Øverst på innsiden av vinduet utstyrt med åpne/lukke ventiler, som kan brukes ved brann og storm. Utluftsentilasjonen er plassert på toppen av de indre vinduene i aluminiumsramme og gir forvarmet luft fra den ventilerte luftspalten inn i innemiljøet. En temperatur sensor ledning festet til inni ventiler, nummer to til toppen av vinduet, nummer tre i nederst, og den siste ledningen går ut gjennom bunnen av hulrommet som viser figur 34.



Det doble vinduet består av en ventilert spalte som skiller de ytre doble vinduene fra det indre enkle vinduet. Inngangsåpningen til konserten er plassert i bunnen av aluminiumsrammen på utvendig vindu og gir frisk uteluft inn i ventilasjonsspalten. Luft trekkes ut fra luftinntaket og -utløpet med en kontinuerlig strømningshastighet på 4 l/s. De alle ledningene ble koblet med dataloggeren.



Figur 33: Markerte dimensjon på det ventilerte dobbeltvindu

## 6 RESULTATER

### 6.1 Resultatene av feltmålingene

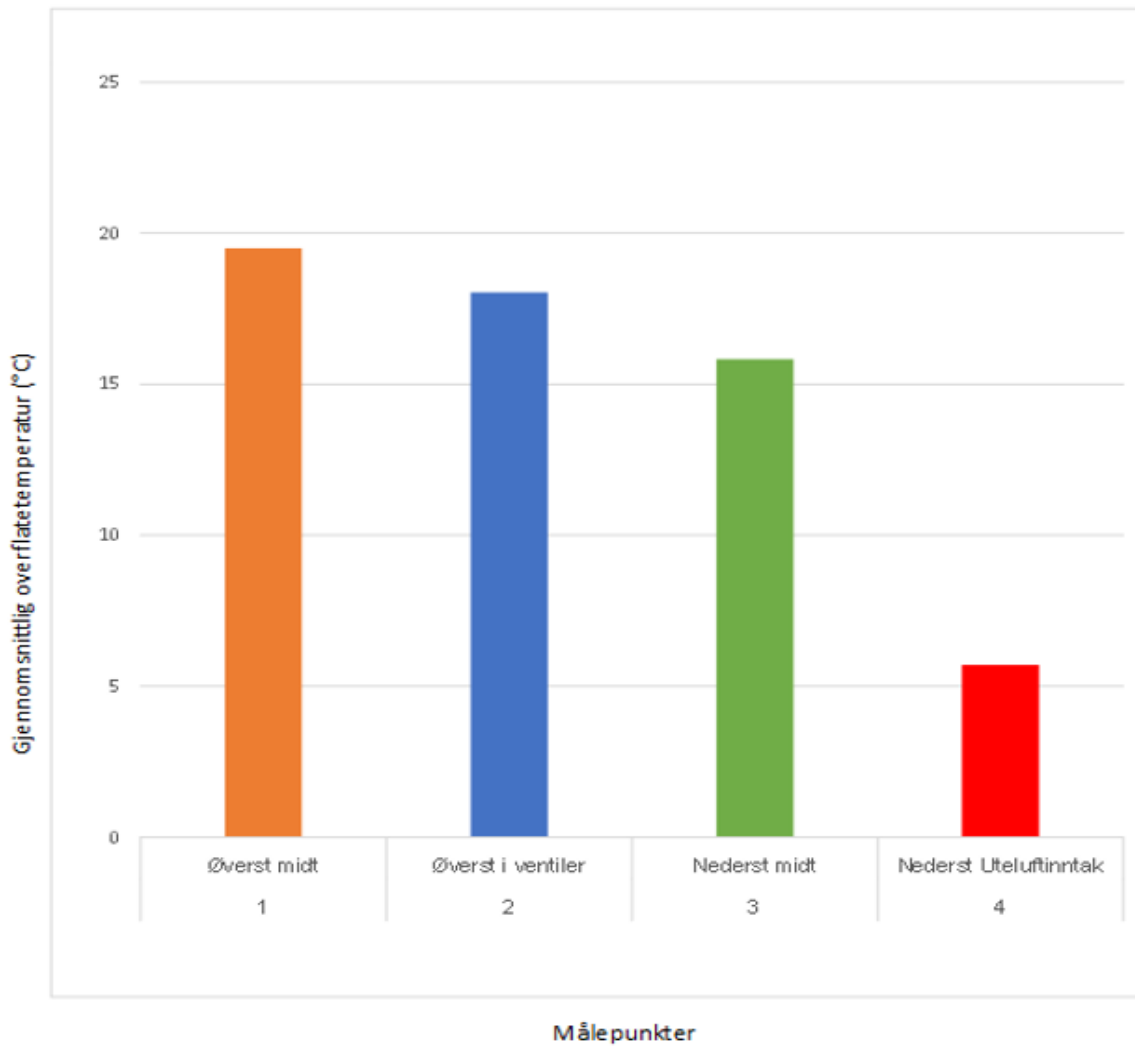
#### Rom og overflatetemperatur

I løpet av målingene var romtemperaturen mellom 20,8 °C og 21,1 °C. Gjennomsnitt innetemperaturen ble regnet ut med 21°C. Anbefalt temperaturen av Arbeidstilsynet er under 22°C. Som viser i tabellen, den ute luften trekkes inn ved gjennomsnitt temperatur 5,7°C utenfra bunnen av vinduet og slippes luften ved temperatur 18,03°C inn bygget fra ventilert. Sensor ledningene ble koblet til en datalogger over en tid på 30 minutter på formiddag.



Tabell 33: Resultat av målingen av overflatetemperatur på ventilasjonsvinduet

No	Målepunkter	Overflatetemperatur (°C)			Antall målinger
		Minimum	Maksimal	Gjennomsnitt	
1	Øverst midt	17,9	21,9	19,5	468
2	Øverst i ventiler	15,3	19,3	18,03	468
3	Nederst midt	15,7	17,7	15,82	468
4	Nederst Uteluftinntak	5,2	7,6	5,7	468



<b>1</b>	Øverst midt
<b>2</b>	Øverst i ventiler
<b>3</b>	Nederst midt
<b>4</b>	Nederst uteluftinntak

Figur 34: Gjennomsnittlig overflatetemperatur fra ulike målepunkter

## 6.2 Konklusjon

Resultatene av feltmålinger viser fordelene med et ventilert dobbeltvindu brukt som et passivt luftforvarmingssystem for å redusere energibehovet til en bygning på grunn av ventilasjon.

Forvarmingen av luften øker også den termiske komforten ved å innføre frisk luft varmere enn utemiljøet og unngår dermed lokalt ubehag forårsaket av trekk. Som viser i **tabell 33** at det ikke er uniform temperatur på vinduets glassoverflate. Innvendig glassrutetemperatur er hovedsakelig avhengig av luftspaltetemperaturen. det er en temperaturgradient mellom bunnen og toppen av hulrommet. De laveste temperaturene finnes nederst uteluftinntak på vinduet. Ventilert luftinntak temperatur er mye varmere enn luftinntak fra ute, forskjellen er  $18-6 = 12$  °C. Det vil si resultatene er svært positivt.

## 6.3 Noen generelle betraktninger om ventilasjonsvinduet:

### **Kostnader:**

I denne oppgaven er det ikke gjort konkrete beregninger for kostnadene ved å benytte ventilasjonsvinduer i et prosjekt. Slik beregninger må eventuelt blitt utført som en konkret sammenligning mellom til tilnærmet like prosjekter, men med alternative systemer for vinduer, ventilasjon og varmegjenvinning, og en slik sammenligning måtte foruten å ta hensyn til utstyrets kostnader og levetid også tatt hensyn til framtidige rentekostnader og energipriser. Alle disse faktorene er usikre og flere av dem endrer seg betydelig nettopp nå i våre dager. Rent generelt kan vi likevel gjøre oss noen betraktninger.

- Ventilasjonsvinduene er en type spesialvindu som sannsynligvis er en del dyrere enn «vanlige vinduer».
- Climawin-konseptet eliminerer behovet for ventilasjonsanlegg og friskluftkanaler, inklusive strøm og vedlikehold av anlegget. I noen tilfeller kan dette også bety reduserte krav til romhøyde.
- Varmeveksling av avtrekkslufta til varmt vann gir en betydelig energigevinst. I en bolig som er bygget etter TEK 17 vil oppvarming av varmt forbruksvann, uten varmegjenvinning, utgjøre rundt 30% av boligens energibehov.
- Varmtvannsbereder med varmeveksler på avtrekksluft er en ekstrakostnad i forhold til hva som er vanlig. Drift og vedlikehold av enheten må også medregnes.

### **Luftkvalitet:**

Vitsen med ventilasjon er at den innvendige lufta skal være mest mulig ren og frisk, og når utelufta trekkes inn via vinduet kommer utelufta direkte inn. Dette er i utgangspunktet bra. Utelufta er nesten alltid reinere enn innelufta, og dersom innelufta føles innestengt og tung, er som kjent det vanligste

tiltaket å åpne en dør eller et vindu for å lufte. Slik har det alltid vært! Men utelufta er aldri helt rein. Selv frisk luft i urørt natur inneholder bakterier, virus, soppsporer, blomsterstøv og partikler av mange slag. Derfor monteres det alltid filter også på friskluftinntaket i et ventilasjonsanlegg. Dette er ikke mulig med ventilasjonsvinduet. Men på den annen side vet vi at mange ventilasjonsanlegg ikke fungerer optimalt, fordi anleggene ikke blir tilfredsstillende vedlikehold. Filtrene blir ikke skiftet og kanalene skitnes til over tid og rengjøres ikke. Problemer av denne typer unngår man når man bruker ventilasjonsvinduet, for på tilsvarende vis som skitne kanaler vil det også avsette seg en del partikler i bunnkarmen og på vindusflatene over tid. Men når den utvendige lufta fraktes inn på en transparent måte, vil man enkelt kunne registrere problemet og åpne vinduene for rengjøring. En del forurensningspartikler, blant annet NO<sub>x</sub>, er så lette at de neppe vil avsette seg i bunnkarmen eller på glassene i særlig grad, men i stor grad vil følge med luftstrømmen inn i rommene. Lette mikro- og nanopartikler er svært helsefarlige, og derfor er vi skeptisk til bruk av ventilasjonsvinduet når utemiljøet er spesielt sterkt forusenset.

## 7 REFERANSER

Galasiu, A.D. and Veitch, J.A. (2006) Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylit offices: a literature review, *Energy Build*, 38(7), 728-742.

Navai, M. and Veitch, J.A. (2003) Acoustic satisfaction in open-plan offices: review and recommendations, Research Report RR-151, Institute for Research in Construction National Research Council Canada, Ottawa, Canada

Fanger, P.O. (1970) Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering, Danish Technical Press, Copenhagen.

Heather Hegedus, Boston 25 News. (2020). Researchers ask WHO to adopt guidelines for humidity in public buildings. Hentet fra <https://www.boston25news.com/news/health/researchers-ask-who-adopt-guidelines-humidity-public-buildings/CJ7PW3AJZNGG3DEEMTEDI5EG5I/>

ENOVA (2016). Balansert ventilasjon. <https://www.enova.no/privat/alle-energitiltak/oppgradere-huset/balansert-ventilasjon/>

Debatt, Tommy Hagenes (2020). Godt dokumenterte bivirkninger av lav fuktighet <https://www.tu.no/artikler/er-det-bygget-inventar-eller-mennesket-som-er-viktigst-i-bygget/487643>

Elma 718A 4 Kanals Temp Logger <https://www.xn--grntklima-m8a.no/products/elma-718-4-kanals-temp-logger>

Blom, P.1999. 421.501 Temperaturforhold og lufthastighet Betingelser for termisk komfort (Oslo-Sintef byggforsk)

Windat. *WIS Software*. Delft, Nederland, 2004.

Development of CLIMAWIN Tool- A simple calculation tool, 2012

Boliger på Korpåsen [C-2.06 Ventilasjons- og energikonsept – FutureBuilt, 2018](#)

Temperatur - varme og kulde på jobben. <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/temperatur/>

Uvsløkk, Sivert. 571.954 - *Isolerruter. Lys- og varmetekniskeegenskaper*. Forskningsrapport, Oslo: Sintef Byggforsk, 2001.

R Southall & M E McEvoy. Derivation of a theoretical model to explain the functioning of a window as a pre - heat ventilation device and its verification using physical models, og International Journal of Ventilation, volume 3, 2005 - Issue 4

Performance and control strategy development of a PCM enhanced ventilated window system by a combined experimental and numerical study

Hybridventilasjon, Southall, R G, og M E McEvoy. «Investigations into the functioning of a supply air window in relation to solar energy as determined by experiment and simulation» *Solar Energy 80*, 2006.

Carlos, Jorge S, Helena Corvacho, Pedro D Silva, og J.P Castro-Gomes. «Modelling and simulation of a ventilated double window» *Applied Thermal Engineering 31*, 2011

McEvoy, M E, og R Southall. *Derivation of a theoretical model to explain the functioning of a window as a pre-heat ventilation device and its verification using physical models*. Forskningsartikkel, Cambridge, UK- International Journal of Ventilation, 2005.

David Appelfeld, Svend Svendsen, 2011. *Energy and Buildings*, Volume 45, February 2012

VLB varmpumpe, 2003

CLIMAWIN- Technical Summary Report, 2013

## Tabellister

Tabell 1: preaksepterte ytelser for avtrekksluftsmengder i bolig .....	12
Tabell 2: Beregninger av Tomannsbolig ventilasjon prosjektoppgave.....	12
Tabell 3: Fordeler og ulemper ved ulike ventilasjonssystemer (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal) .....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>
Tabell 4: Kapasiteter .....	17
Tabell 5: Tekniske data .....	17
Tabell 6: Dimensjoner.....	17
Tabell 7: K-verdier .....	22
Tabell 8: Resultat av varmtvannstest i henhold til EN 116147:2017 .....	23
Tabell 9: Alternative prinsipper for varme/energiforsyning, oppvarming, varmt tappevanns produksjon og ventilasjon .....	29
Tabell 10: Samlet evaluering av 10 alternative prinsipper for varme/energiforsyning, oppvarming, varmt tappevanns produksjon og ventilasjon .....	29
Tabell 11: Energikvalitet for bygg .....	32
Tabell 12: Evaluering mot lavenergi og dokumentasjon av Future Built krav på maks 40 kWh/m <sup>2</sup> år netto levert energi blokk 1 og 2 .....	33
Tabell 13: Energibudsjett (NS 3700) og Levert energi til bygningen (NS 3700)-blokk 1 og 2.....	34
Tabell 14: Evaluering mot energikrav i TEK for blokk 1 og 2 .....	35
Tabell 15: Prøve 1-Doble glass mot utvendig miljø og to lag lav-e belegg.....	37
Tabell 16: Prøve 2- enkeltglass mot utvendig miljø og to lag lav-e belegg .....	37
Tabell 17: Prøve 7- enkeltglass mot utvendig miljø og et lag lav-e belegg .....	37
Tabell 18: Vindusegenskaper til ulike eksempler .....	39
Tabell 19: Varmegjenvinningsgrader i tre måleforhold .....	46
Tabell 20: Varmegjenvinningsgraden til prøve 1 ved ulike tilnærminger .....	47
Tabell 21: Bygningsinformasjon og værdata .....	49
Tabell 22: Termiske egenskaper til bygningselementer.....	49
Tabell 23: Byggesystem .....	50
Tabell 24: Beregninger og forskjell resultater for Bsim og Climawin programvare .....	50
Tabell 25: Antall og type vinduer i hver bygningstype .....	52
Tabell 26: Antall vinduer i Climawin-bygningen i hver orientering.....	52
Tabell 27: Antall og Climawin vinduer type.....	53
Tabell 28: Antall og normalt vinduer type.....	53
Tabell 29: Gjennomsnittlige årlige innstrålingen .....	54
Tabell 30: Energiytelse for hver prøve .....	54
Tabell 31: Resultat av målingen av overflatetemperatur på ventilasjonsvinduet .....	61

## Figurliste

- Figur 1: For høy temperatur (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal)..... **Feil! Bokmerke er ikke definert.**
- Figur 2: Vanlige fuktkilder og -transportformer (kilde – byggforsk) ..... **Feil! Bokmerke er ikke definert.**
- Figur 3: Eksempel på naturlig ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal) **Feil! Bokmerke er ikke definert.**
- Figur 4: Eksempel på mekanisk ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal). **Feil! Bokmerke er ikke definert.**

Figur 5: Eksempel på balansert ventilasjon (kilde: Bygningsfysikk, Knut Jonas Espedal). <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Figur 6: Resultater av utført på et laboratorium i CFD (kilder:McEvoy og Southall, 2005)..... <b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>	
Figur 7: Prinsipp Climawin-konseptet .....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>
Figur 8: Ulike vinduets situasjoner(kilde:Sesnor.no)	Figur 9: Det ventilerte vinduet
Tilluft(kilde: .researchgate.net).....	15
Figur 10: Avtrekksvarmepumpe (kilde:lkm.dk) .....	16
Figur 11: Avtrekksvarmepumpes Komponenter (kilde: ldk.dk) .....	18
Figur 12: (kilde: <a href="https://www.pro-therm.com/infrared_basics.php">https://www.pro-therm.com/infrared_basics.php</a> ) .....	25
Figur 13: IR oppvarming, lysbølgene er varmebærere (kilde: <a href="https://www.arabiaweather.com">https://www.arabiaweather.com</a> ) .....	26
Figur 14: Boliger på Korpåsen I Asker Kommune (kilde: <a href="https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Boliger-paa-Korpaasen">https://www.futurebuilt.no/Forbildeprosjekter#!/Forbildeprosjekter/Boliger-paa-Korpaasen</a> ) .....	27
Figur 15: Prinsipp ventilasjon, oppvarming og brukerfunksjoner i leiligheter blokk 1+2 og 3 (kilde: <a href="https://www.futurebuilt.no">https://www.futurebuilt.no</a> ).....	31
Figur 16: Prinsipp ventilasjon og oppvarming til blokk 1 og 2.....	31
Figur 17: prinsippdiagram for vindusfunksjon (kilde:Climawin) .....	<b>Feil! Bokmerke er ikke definert.</b>
Figur 18: Varmegjenvinningsgraden, prøve 1 .....	41
Figur 19: Varmegjenvinningsgraden, prøve 2 .....	41
Figur 20: Varmegjenvinningsgraden, prøve 7 .....	42
Figur 21: Varmegjenvinningsgrad ved WIS-tilnærming.....	43
Figur 22: Arbeidsprinsipp for sommernattkjøling (kilde: <a href="https://www.sciencedirect.com">https://www.sciencedirect.com</a> ).....	44
Figur 23: Arbeidsprinsipp for lagring av solenergi om vinteren (kilde: <a href="https://www.sciencedirect.com">https://www.sciencedirect.com</a> ) .....	45
Figur 24: Varmegjenvinningsgrader i tre måleforhold, Prøve 1 .....	46
Figur 25: dansk lavenergibygg før og etter (kilder: <a href="https://www.refurb-project.eu/reference/energy-parcel/">https://www.refurb-project.eu/reference/energy-parcel/</a> ) .....	48
Figur 26: Bsim-modul for prøvebygging .....	49
Figur 27: Sammenligning av energiytelse mellom BSim og Climawin-verktøy .....	51
Figur 28: Energiytelse for forskjellige vindusprøver (kWh).....	55
Figur 29: Totalt energibehov for bygg med ulike vindusprøver .....	56
Figur 30: ventilasjons dobbeltvindu luft system .....	57
Figur 31: Dimensjon på det ventilerte dobbeltvinduet (Foto: Morris Van H Cinzah) .....	58
Figur 32: Utstyrer gjennombruk.....	58
Figure 33: CENTER 378_ Four Channels Datalogger Thermometer (K/J/E/T Type) .....	59
Figur 34: Markerte dimensjon på det ventilerte dobbeltvindu .....	60

