



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

BACHELOROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering:

Bygg/Konstruksjonsteknikk

Vårsemesteret, 2021

Åpen / ~~Konfidensiell~~

Forfatter: Sandra Olsen

Fagansvarlig: Guillermo Rojas Orts, UiS

Veileder(e): Håkon Eggebø, Multiconsult

Tittel på bacheloroppgaven:

Hvilke designvalg for passivhus har størst innflytelse på inneklima?

Engelsk tittel:

Which design aspects has the greatest impact on the indoor climate
in passive houses?

Studiepoeng: 20

Emneord:

Bacheloroppgave i Bygg-Konstruksjonsteknikk

BYGKBAC-1

Sidetall: 51

+vedlegg/annet: 9

Stavanger, 13.mai 2021

dato/år

Forord

Denne bacheloroppgaven utgjør 20 studiepoeng og er skrevet som en avsluttende del av studieretningen konstruksjonsteknikk for byggingeniørstudiet ved Universitetet i Stavanger. Arbeidet med oppgaven ble gjennomført våren 2021 i perioden januar til mai. Oppgaven er utført som et selvstendig arbeid hvor jeg har tilegnet meg verdifull kunnskap når det kommer til aktuelle simuleringsprogrammer innen bygningsfysikk, samtidig som jeg har fordypet kunnskapen min knyttet til passivhus og inneklima.

Jeg ønsker å takke min eksterne veileder Håkon Eggebø for å ha tatt seg tid til å lære meg simuleringsprogrammet IDA ICE og for god veiledning og konstruktiv kritikk gjennom arbeidet. Jeg ønsker også å takke min interne veileder og faglærer i Bygningsfysikk og Husbygg, Guillermo Rojas Orts for støtten i utformingen av oppgavens omfang og for å ha introdusert meg for passivhuskonseptet.

Stavanger, mai 2021

Sandra Olsen

Sammendrag

Denne oppgaven tar for seg det termiske inneklima i en passivhusbolig, og hvordan ulike designvalg knyttet til vindusareal, utvendig solskjerming og ventilasjon påvirker inneklima og den termiske komforten.

Passivhus har ofte i innledende fase blitt assosiert med høye innetemperaturer grunnet den tette bygningskroppen til konstruksjonen. På grunnlag av denne skepsisen er det valgt å utføre simuleringer i programvaren IDA ICE for å undersøke hvordan ulike designvalg og tiltak vil kunne optimalisere det termiske inneklima i henhold til anbefalinger fra Direktoratet for byggkvalitet og brukerundersøkelser fra forskningsprosjektet EBLE. Simuleringene er gjort på grunnlag av en teoretisk tilnærming til ombygging av et lavenergihus til passivhus.

Resultatet av den første simuleringen viser at overtemperatur kan være et faktum i boliger hvor det ikke tas hensyn til å redusere temperatur gjennom diverse tiltak. Simuleringer hvor effekten av vindusareal, utvendig solskjerming og multi-soner ventilasjon undersøkes, viser derimot at overtemperatur kan reduseres til et akseptabelt nivå og i noen tilfeller også elimineres.

Innholdsliste

1	Innledning	7
1.1	<i>Bakgrunn for oppgaven.....</i>	7
1.2	<i>Problemstilling.....</i>	8
1.3	<i>Oppgavens omfang og avgrensning.....</i>	8
2	Teori og Litteratur	9
2.1	<i>Byggteknisk forskrift</i>	9
2.2	<i>Krav til Passivhus</i>	11
2.3	<i>Termisk inneklima.....</i>	15
2.4	<i>Brukertilfredshet av inneklima i passivhus.....</i>	16
2.5	<i>Tiltaksmetoder.....</i>	17
2.5.1	<i>Solskjerming.....</i>	17
2.5.2	<i>Temperaturdifferensiering mellom rom.....</i>	18
2.6	<i>SIMIEN.....</i>	18
2.7	<i>IDA ICE.....</i>	19
3	Metode	20
3.1	<i>Utgangspunkt for passivhus bolig.....</i>	20
3.1.1	<i>Konstruksjon og varmeisolering</i>	21
3.2	<i>Tiltak Passivhus</i>	22
3.2.1	<i>Ventilasjon.....</i>	22
3.2.2	<i>Yttervegg</i>	23
3.2.3	<i>Gulv mot grunn</i>	25
3.2.4	<i>Tak.....</i>	27
3.2.5	<i>Himling mot kaldt loft</i>	28
3.2.6	<i>Kuldebro.....</i>	29
3.2.7	<i>Vinduer</i>	29
3.3	<i>SIMIEN.....</i>	30
3.4	<i>IDA-ICE</i>	31
3.4.1	<i>Simulering med vinduslufting som tiltak.....</i>	32
3.4.2	<i>Simulering med solskjerming som tiltak</i>	32
3.4.3	<i>Simulering med multi-sone ventilasjon som tiltak.....</i>	32
3.4.4	<i>Simulering med moderne vindusareal.....</i>	33
3.4.5	<i>Simulering med tiltak for moderne vindusareal.....</i>	34
4	Resultat.....	35
4.1	<i>Resultat SIMIEN</i>	35
4.2	<i>Resultat IDA ICE</i>	36
4.2.1	<i>Simulering med vinduslufting.....</i>	37
4.2.2	<i>Simulering med multi-sone ventilasjon</i>	38
4.2.3	<i>Simulering med utvending solskjerming</i>	40
4.2.4	<i>Simulering med moderne vindusareal.....</i>	41
4.2.5	<i>Tiltak ved moderne vindusareal.....</i>	42
4.2.6	<i>Timer over 26° C for alle rom.....</i>	43
5	Diskusjon.....	43
5.1	<i>Mulige feilkilder.....</i>	43

5.1.1	Modell	43
5.1.2	Simulering	44
5.2	Resultat.....	44
5.2.1	Omprosjektering til passivhus.....	44
5.2.2	Resultat IDA ICE.....	44
6	Konklusjon	47
6.1	Videre arbeid.....	48
7	Referanseliste	49
8	Vedlegg	51

Tabell liste

Tabell 2.1 1 Energirammer (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §14-2)	10
Tabell 2.1 2 Energiltak (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §14-2).....	10
Tabell 2.1 3 Krav til avtrekksvolum for en bolig. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §13-2).....	11
Tabell 2.2 1 Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall (Norsk Standard, 2013, s. 8).....	12
Tabell 2.2 2 Høyest varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonstap (Norsk Standard, 2013, s. 5)	13
Tabell 2.2 3 Passivhus boligbygning, krav til høyest beregnede netto energibehov til oppvarming (Norsk Standard, 2013, s. 6).....	14
Tabell 2.2 4 Varmetilskudd fra belysning, utstyr, varmtvann og personer (Norsk Standard, 2013, s. 11).....	15
Tabell 2.2 5 Typiske U-verdier for passivhus (Norsk Standard, 2013, s. 12).....	15
Tabell 2.3 1 Anbefalte verdier for samlet virkning av lufttemperatur og varmestråling. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §13-4)	16
Tabell 3.1.1 1 Egenskaper for vinduer og dører.....	21
Tabell 3.1.1 2 Oppbygning konstruksjon yttervegg.....	21
Tabell 3.2.1 1 Tiltak ventilasjonsbehov for passivhus	23
Tabell 3.2.2 1 Øvre grenseverdi yttervegg.....	23
Tabell 3.2.2 2 Legeringsmetoden for nedre grenseverdi.....	24
Tabell 3.2.3 1 Oppbygning av gulv.....	26
Tabell 3.2.3 2 Beregning av U-verdi for gulv mot grunn	26
Tabell 3.2.4 1 Øvre grenseverdi for tak	27
Tabell 3.2.4 2 Nedre grenseverdi tak	28
Tabell 3.2.5 1 Oppbygning og U-verdi for himling mot kaldt loft	28
Tabell 3.2.7 1 Termisk og optisk data for Pilkington glass. (Pilkington, 2021, s. 33).....	29
Tabell 3.4.3 1 Multi-sone ventilasjonsbehov	33
Tabell 3.4.4 1 Endring i vindusareal	34
Tabell 4.1 1 Resultat av kvalifisering etter krav til passivhus	35
Tabell 4.1 2 Varmetapsbudsjett etter krav til passivhus.....	35
Tabell 4.1 3 Netto oppvarmingsbehov og energibruk etter krav til passivhus.....	35
Tabell 4.1 4 Energibehov	35
Tabell 4.1 5 Levert energi til boligen.....	36
Tabell 4.2.6 1 Årlige timer over 26°C i alle rom ved ulike tiltak. Veiledende grense på 50 timer over 26°C.	43

Figurliste

Figur 3.2.7 1 Glassoppbygning av Pilkington Optitherm S3	30
Figur 4.2.1 1 Årlig temperatur i tv-stue.	37
Figur 4.2.1 2 Årlig temperatur i loftstue.	37
Figur 4.2.1 3 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue.....	37
Figur 4.2.1 4 Årlig temperatur på soverom 1.	37
Figur 4.2.1 5 Årlig temperatur på soverom 2.	38
Figur 4.2.1 6 Årlig temperatur på soverom 3.....	38
Figur 4.2.2 1 Årlig temperatur i tv-stue.	38
Figur 4.2.2 2 Årlig temperatur i loftstue.	38
Figur 4.2.2 3 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue.....	39
Figur 4.2.2 4 Årlig temperatur på soverom 1.....	39
Figur 4.2.2 5 Årlig temperatur på soverom 2.....	39
Figur 4.2.2 6 Årlig temperatur på soverom 3.....	39
Figur 4.2.3 1 Årlig temperatur i tv-stue.	40
Figur 4.2.3 2 Årlig temperatur i loftstue.	40
Figur 4.2.3 3 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue.....	40
Figur 4.2.3 4 Årlig temperatur på soverom 1.....	40
Figur 4.2.3 5 Årlig temperatur på soverom 2.....	41
Figur 4.2.3 6 Årlig temperatur på soverom 3.....	41
Figur 4.2.4 1 Årlig temperatur i tv-stue	41
Figur 4.2.4 2 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue.....	41
Figur 4.2.4 3 Årlig temperatur Loftstue	41
Figur 4.2.5 1 Årlig temperatur i tv-stue	42
Figur 4.2.5 2 Årlig temperatur i kjøkken og spisestue	42
Figur 4.2.5 3 Årlig temperatur i loftstue	43

1 Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Våren 2020 ble jeg introdusert for konseptet passivhus i faget BYG210 Bygningsfysikk og Husbygg. Med sin energieffektive bygningskropp og bruk av fornybare energikilder, er denne måten å konstruere bygninger på en naturlig retning mot en mer klimanøytral og bærekraftig byggeprosess.

Passivhusboliger ble i innledende fase ofte møtt med skepsis og kritikk, særlig når det kom til inneklima. Frykten baserte seg ofte på at den tette bygningskroppen ville føre til flere fuktskader, dårlig innemiljø og dermed også dårligere helse. Media har også vært med på å fremlegge skepsis rundt konseptet gjennom artikler med titler som *passiv-aggressiv miljøkamp* hvor passivhus beskrives som et konsept som er «Foraktet av arkitekter. Uønsket av boligkjøpere. Fryktet av helsemyndighetene.» (Brochmann & Gossner, 2016)

De siste årene har derimot forskningsprosjekter som EBLE, som har evaluert 64 passivhus og 10 TEK10 boliger gjennom blant annet målinger og intervju av beboere, vært med på å motbevise at misnøyen rundt inneklima i passivhus ikke er avgrenset til passivhusenes bygningskropp, og dermed ikke skiller seg særlig fra brukeropplevelser fra standard TEK-boliger. Boliger bygget etter passivhusstandard blir også stadig mer utbredt i Norge, og Byggteknisk forskrift beveger seg også stadig nærmere krav satt i NS3700. Et eksempel på en slik endring er de skjerpede energikravene som ble innført allerede i 2016 i overgang fra TEK10 til TEK17. (Direktoratet for byggkvalitet, 2018) Det er dermed tydelig at passivhus er kommet for å bli i Norge, og det er derfor interessant å undersøke hvilket forbedringspotensial som finnes når det kommer til inneklima og da særlig den termiske komforten i boligene, ettersom at flere forskningsprosjekter og media peker ut innetemperatur som et område hvor det kan finnes utfordringer.

1.2 Problemstilling

Problemstillingen «*Hvilke designvalg for passivhus har størst innflytelse på inneklima?*» har som formål å undersøke hvordan ulike designvalg vil ha innflytelse på inneklima gjennom å gjøre et lavenergihus om til passivhus og undersøke hvordan valg av glassareal, solskjerming og ventilasjon påvirker det termiske inneklima og komforten i en passivhus bolig.

1.3 Oppgavens omfang og avgrensning

Bacheloroppgaven har som formål å undersøke inneklima i en passivhusbolig, og hvordan dette samsvarer med eller avviker fra resultatene funnet i tidligere studier knyttet til brukertilfredshet i boliger bygget etter passiv- og lavenergihus standard. Inneklima i en bygning er etter WHO definert etter de fem inneklimafaktorene; Termisk -, Atmosfærisk -, Aktinisk -, og Akustisk miljø. (Tekna, 2019) Jeg har valgt å avgrense inneklima til termisk miljø ettersom at utfordringer og kritikk rettet mot passivhus i hovedsak omhandler lufttemperatur og da særlig overtemperatur i enkelte rom og for enkelte årstider. Når det kommer til designvalg, har jeg valgt å avgrense det til utvendig solskjerming, vindu og ventilasjon ettersom at varmetilførsel i stor grad er knyttet til nettopp glassareal og solinnstråling. Ventilasjon er et viktig prinsipp å ta med i undersøkelsene ettersom at det er nøkkelen til å sikre et godt inneklima. Jeg kommer ikke til å inkludere innvendig solskjerming, da dette vanligvis installeres i alle boliger. Innvendig solskjerming er også mindre effektivt for å redusere varmetilførsel i en tett bygningskropp da den ikke stopper varmeenergien før den trenger gjennom glasset.

Oppgaven er også avgrenset til boliger oppført i nordisk klima, ettersom at resultatene fra slike prosjekter vil være mest relevant da oppgaven er utarbeidet etter Norsk Standard og Byggteknisk forskrift. Undersøkelser av brukertilfredshet er derfor avgrenset til forskningsprosjektet EBLE.

Når det kommer til beregning og simulering er programvaren SIMIEN brukt for å gjøre en passivhusevaluering som inkluderer beregning av varmetapstall, oppvarmingsbehov og energibehov. Bruken av SIMIEN er avgrenset til dette formålet ettersom at programvaren gir mindre detaljert simulering enn programvaren IDA ICE kan tilby. Simuleringene for oppgaven er avgrenset til programvaren IDA ICE ettersom at dette er en programvare som kan gi detaljerte simuleringer med tanke på operasjonell temperatur og effekten av eventuelle

tiltak. For simuleringene er resultatene avgrenset til oppholdsrom og soverom da det er disse rommene som er mest interessant å studere.

2 Teori og Litteratur

2.1 Byggteknisk forskrift

For at et byggverk skal oppføres lovlig i Norge, finnes det et utvalg av tekniske krav som skal være oppfylt. Disse tekniske minimumskravene er oppført i byggteknisk forskrift.

«Forskriften skal sikre at tiltak planlegges, prosjekteres og utføres ut fra hensyn til god visuell kvalitet, universell utforming og slik at tiltaket oppfyller tekniske krav til sikkerhet, miljø, helse og energi.» heter det i TEK17 §1-1. (SINTEF byggforsk, 2017) Forskriften blir stadig utarbeidet og revidert for å forbedre byggeregler og redusere kostnader, samt arbeide mot mer energieffektive boliger. Seneste og gjeldende versjon av byggteknisk forskrift er TEK 17 som tredde i kraft i 2017 og erstattet den tidligere TEK 10. Når det kommer til oppføring av lavenergihus, er energikravene og energieffektiviteten til bygget en av de viktigste faktorene å ta i betraktning. Når vi ser på endringen av disse kravene, skjedde de største skjerpene kravendringene når det kommer til energitiltak i 2016 gjennom overgangen fra TEK 10 til TEK17. Innskjerpningene gikk ut på å øke energieffektiviteten til byggverk, gjennom tiltak som å redusere minimumskravet til U-verdi for bygningskomponenter som vegger, tak og gulv, samt vinduer og dører. Gjennom slike tiltak vil man kunne oppnå en tettere bygningskropp og redusere lekkasjen av varme gjennom de ulike bygningsselementene. Energirammene er ulik for de ulike kategoriene av byggverk som blir oppført. I tabell 2.1.1 er det første utvalget av bygningskategorier illustrert.

Tabell 2.1 1 Energirammer (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §14-2)

Bygningskategori	Totalt netto energibehov (kWh/m ² oppvarmet BRA per år)
Småhus, samt fritidsbolig over 150 m ² oppvarmet BRA	100 + 1600/m ² oppvarmet BRA
Boligblokk	95
Barnehage	135
Kontorbygning	115
Skolebygning	110
Universitet/høyskole	125

Når det kommer til minstekravene for bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall, er oversikten over disse illustrert i tabell 2.1.2. Oversikten er avgrenset til kategorien småhus som omfatter blant annet eneboliger, ettersom at det er de kravene som er aktuell for denne oppgaven.

Tabell 2.1 2 Energiltak (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §14-2)

Energiltak	Småhus
U-verdi yttervegg (W/(m ² K))	≤ 0,18
U-verdi tak (W/(m ² K))	≤ 0,13
U-verdi gulv (W/(m ² K))	≤ 0,10
U-verdi vinduer og dører (W/(m ² K))	≤ 0,80
Andel vindus- og dørareal av oppvarmet BRA	≤ 25 %
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner i ventilasjonsanlegg (%)	≥ 80%
Spesifikk vifteeffekt i ventilasjonsanlegg SPF (kW/(m ³ /s))	≤ 1,5
Luftlekkasje per time ved 50 Pa trykkforskjell	≤ 0,6
Normalisert kuldebroverdi, der m ² angis som oppvarmet BRA (W/(m ² K))	≤ 0,05

TEK 17 stiller også krav til minimum tilførsel av friskluft og avtrekk i en bolig. §13-2 beskriver kravene satt til ventilasjon i boligbygninger, og det er disse kravene som er aktuell for vår bolig. Når det kommer til friskluftstilførselen, er det satt krav til at ventilasjonen sikrer et gjennomsnittlig minimum tilførsel av friskluft, tilsvarende 1,2 m³ per time per m² gulvareal for rom som er tiltenkt varig opphold. Ventilasjonen i rom som ikke er tiltenkt å ha varig opphold skal sikre minimum 0,7 m³ frisklufttilførsel per time per m² gulvareal. Når det kommer til soverom, stilles det krav etter planlagt sengeplass i rommet. Her skal det tilføres minimum 26 m³ friskluft per time per planlagte sengeplass når rommet er i bruk. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §13-2)

Kravene satt til avtrekk for rom som kjøkken, toalett og våtrom er beskrevet i tabell 2.1.3. Her avhenger mengden avtrekk etter normalt avtrekksvolum i grunnventilasjon, eller forsert avtrekksvolum.

Tabell 2.1 3 Krav til avtrekksvolum for en bolig. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §13-2)

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	36 m ³ /h	108 m ³ /h
Bad	54 m ³ /h	108 m ³ /h
Toalett	36 m ³ /h	36 m ³ /h
Vaskerom	36 m ³ /h	72 m ³ /h

Ved prosjektering av lavenergibygge og passivhus, er det en rekke andre krav og retningslinjer å forholde seg til når det kommer til prosjekteringen av boligen. Disse kravene og retningslinjene er beskrevet i en egen Norsk Standard med navn NS 3700, som tar for seg kriterier for boligbygninger av kategoriene passivhus og lavenergibygninger. Boliger som skal oppføres som passivhus må derfor tilfredsstillende både kravene lagt fram etter byggeteknisk forskrift, men også kravene satt i henhold til passivhus standard NS3700.

2.2 Krav til Passivhus

Passivhus er et konsept som stammer fra Tyskland, hvor de siden 80-tallet har prosjektert og bygget hus som har betydelig lavere energibehov enn minstekravene satt av myndighetene. (Enova, 2011, s. 4) Det reduserte energibehovet oppnås gjennom passive tiltak ved å bygge en tettere bygningskropp for å oppnå minimal lekkasje gjennom konstruksjonen. En bolig utført

etter passivhus standard krever dermed mer planlegging når det kommer til isolasjon og bygningskomponenter som vinduer og dører, samt varmegjenvinning for ventilasjonen for boligen for å sikre et lavt varmetap. Aktive tiltak som solceller og varmepumpe er også nødvendig og gir et godt alternativ til den elektriske energikilden, og bidrar dermed til et positivt energiregnskap.

Når det kommer til kriteriene satt for et passivhus vil disse variere etter klimaet boligen skal oppføres i. Det er derfor for lavenergihus og passivhus, utarbeidet en Norsk Standard som setter minstekrav til bygningskomponenter og beregning av varmetapstall, oppvarmingsbehov og energiforsyning for det aktuelle bygget. Kravene som omfatter boligbygninger, er oppført i NS3700, og bygger på fremgangsmåten for energiberegninger satt i NS3031. Minstekravene til bygningsdelene, komponentene og lekkasjetall er illustrert i tabell 2.2.1.

Tabell 2.2 1 Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall (Norsk Standard, 2013, s. 8)

Egenskap	Passivhus	Lavenergibolig Klasse 1	Lavenergibolig Klasse 2
U-verdi vinduer og dører	$\leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$
Normalisert kuldebroverdi	$\leq 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	$\leq 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	-
Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinner	$\geq 80 \%$	$\geq 70 \%$	-
SFP-faktor for ventilasjonsanlegg	$\leq 1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq 2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$	-
Lekkasjetall ved 50 Pa, n_{50}	$\leq 0,60 \text{ h}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$	$\leq 3,0 \text{ h}^{-1}$

NS3700 setter også krav til høyest tillatt varmetapstall. Varmetapstallet består av transmisjons- og infiltrasjonsvarmetapet til bygget. Transmisjonsvarmetapet omfatter varmetapet til de ytre omgivelsene gjennom bygningsdelene av bygget, samt varmetapet mot uoppvarmede soner. Dette omfatter med andre ord varmetap gjennom gulv, yttervegger, tak, kaldt loft samt vinduer og dører ut til det fri. I transmisjonsvarmetapet er også de aktuelle kuldebroene inkludert. Infiltrasjonsvarmetapet omfatter det varmetapet som forårsakes av trekk i eller gjennom konstruksjonsdelene. Utregning av varmetapstall for både transmisjons-

og infiltrasjonsvarmetap er gitt i NS3031. Kravene satt til høyest mulig varmetapstall er gitt i tabell 2.2.2.

Tabell 2.2 2 Høyest varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonstap (Norsk Standard, 2013, s. 5)

	Varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap $H''_{tr,inf}$, W/(m ² K)		
	Boligbygning der $A_{fl} < 100 \text{ m}^2$	Boligbygning der $100 \text{ m}^2 \leq A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
Passivhus	0,53	0,48	0,43
Lavenergihus klasse 1	0,70	0,65	0,55
Lavenergihus klasse 2	0,93	0,83	0,68

Det samlede varmetapstallet er gitt ved å dividere varmetapskoeffisienten gitt i W/K med bygningens oppvarmede BRA i m², enheten for varmetapstallet er W/(m²K).

Varmetapskoeffisienten er summen av det totale transmisjonsvarmetapet og infiltrasjonsvarmetapet. Varmetapskoeffisientens enhet er W/K og utregning er beskrevet i likning 2.2.1. Utregningen for det samlede varmetapstallet er beskrevet i likning 2.2.6.

$$H_{tr,inf} = H_D + H_U + H_g + H_{inf}$$

Likning 2.2.1 Varmetransportkoeffisient (Norsk Standard, 2013, s. 5)

H_D er direkte transmisjonsvarmetap til det fri i W/K

H_U er transmisjonsvarmetap til uoppvarmede soner i W/K

H_g er varmetap mot grunnen i W/K

H_{inf} er infiltrasjonsvarmetap i W/K

(Norsk Standard, 2013, s. 5)

Utregningen av varmetapskoeffisientene er beskrevet i NS3031. Utregning av tap til uoppvarmede soner, ventilasjonsvarmetap og tap til infiltrasjon er gitt i likningene under.

$$H_U = d(\Sigma UA + \Sigma \Psi I)$$

Likning 2.2.2 Varmetapskoeffisient for uoppvarmede soner

Varmetap til uoppvarmede soner beregnes ved å bruke den veiledende varmetapsfaktoren b for vanlige uoppvarmede soner gitt i tabell B.7 i NS3031. For kaldt loft er denne faktoren lik 0,93. Denne faktoren multipliseres med resultatet av likning 2.2.2.

$$H_{inf} = 0,33 * n_{inf} * V$$

Likning 2.2.3 Varmetapskoeffisient for infiltrasjon

$$n_{inf} = n_{50} * e$$

Likning 2.2.4 n_{inf} for varmetapskoeffisient for infiltrasjon

$$H_v = 0,33 * V(1 - \eta_T)$$

Likning 2.2.5 Varmetapskoeffisient for ventilasjon

$$H''_{tr,inf} = \frac{H_{tr,inf}}{A_{fl}}$$

Likning 2.2.6 Totalt varmetapstall (Norsk Standard, 2013, s. 5)

Standarden for passivhus setter også krav til høyeste beregnede netto energibehov til oppvarming. Disse er illustrert i tabell 2.2.3.

Tabell 2.2.3 Passivhus boligbygning, krav til høyest beregnede netto energibehov til oppvarming (Norsk Standard, 2013, s. 6)

Høyest beregnede netto energibehov til oppvarming kWh/(m ² år)		
Årsmiddel- temperatur θ_{ym}	Boligbygning der $A_{fl} < 250 \text{ m}^2$	Boligbygning der $A_{fl} \geq 250 \text{ m}^2$
$\geq 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 * \frac{(250 - A_{fl})}{100}$	15
$< 6,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$15 + 5,4 * \frac{(250 - A_{fl})}{100} + \left(2,1 + 0,59 * \frac{(250 - A_{fl})}{100}\right) * (6,3 - \theta_{ym})$	$15 + 2,1 * (6,3 - \theta_{ym})$

For interne varmetilskudd skal verdier for varmetilskudd for belysning, utsyr, personer og varmtvann oppgitt i tabell 2.2.4 benyttes for energibehovsberegning.

Tabell 2.2 4 Varmetilskudd fra belysning, utstyr, varmtvann og personer (Norsk Standard, 2013, s. 11)

	Varmetilskudd i driftstid W/m ²
Belysning	1,95
Utstyr	1,80
Varmtvann	0,00
Personer	1,50

Når det kommer til utregning av U-verdi for de ulike bygningskomponentene, er de beregnet etter likning 2.2.7 gitt i NS-EN ISO 6946. Typiske U-verdier for passivhus gitt i NS3700 er illustrert i tabell 2.2.5.

$$U = \frac{1}{R_{tot}} + \Delta U$$

Likning 2.2.7 U-verdi (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 394)

Tabell 2.2 5 Typiske U-verdier for passivhus (Norsk Standard, 2013, s. 12)

Egenskap	Passivhus W/(m ² *K)
U-verdi yttervegg	0,10 – 0,12
U-verdi tak	0,08 – 0,09
U-verdi gulv	0,08

2.3 Termisk inneklima

Termisk inneklima omfatter lufttemperatur og varmestråling, samt luftfuktighet og trekk. Byggteknisk forskrift, TEK 17, fastsetter at det termiske inneklima skal tilrettelegges ut fra helse og tilfredsstillende komfort, samt forutsatt bruk, i alle rom for varig opphold.

Anbefalingene er at lufttemperaturen skal holdes under 22 °C og at minst ett vindu eller én dør skal kunne åpnes mot det fri. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020) Når det kommer til den samlede virkningen av både lufttemperatur og strålevarme er anbefalingene illustrert i tabell 2.3.1. Her finnes det rom for overskridelse i sommerperiode og for boligbygninger hvor det ikke er installert kjøling. Overtemperatur defineres som temperaturer over 26 °C. Her er den veiledende grensen på 50 timer over 26 °C.

Tabell 2.3 1 Anbefalte verdier for samlet virkning av lufttemperatur og varmestråling. (Direktoratet for byggkvalitet, 2020, ss. §13-4)

Aktivitetsgruppe	Lett arbeid	Middels arbeid	Tungt arbeid
Temperatur °C	19-26	16-26	10-26

Selv om det finnes retningslinjer for hvilket termisk inneklima som er anbefalt, er også den subjektive oppfatningen av termisk komfort en del av faktorene som må vurderes i den helhetlige undersøkelsen av inneklima. Ettersom at denne oppfatningen varierer fra person til person og vil avhenge av individuell kontekst som aktivitet, påkledning, kultur og forventning, vil ofte termisk komfort avvike fra det termiske inneklimate. Jeg har derfor valgt å inkludere brukerundersøkelsen EBLE for å få en bedre forståelse hvordan den termiske komforten samspiller med det instrumentelt målte termiske klima, og eventuelt også avviker fra det.

2.4 Brukertilfredshet av inneklima i passivhus

Som tidligere nevnt ble en evaluering av 64 passivhus boliger og 10 TEK10 boliger utført gjennom forskningsprosjektet EBLE. EBLE som står for *Evaluering av boliger med lavt energibehov*, er et forskningsprosjekt som foregikk fra 2012 til 2016 som hadde som formål å øke kunnskap om boliger på passivhus- og nesten nullenerginivå gjennom evaluering av ulike pilotprosjekter. Forskningsområdene som ble studert ved hver bolig var energibruk, inneklima og fukt i form av innetemperatur og luftfuktighet, brukererfaring og brukeropplevelse og erfaringer med byggeprosessen. Forskningsprosjektet var et av de første som foretok en slik systematisk evaluering av slike boliger i Norge. (Thomsen, Gullbrekke, Grynning, & Holme, 2017, s. 11)

Det er viktig å få fram at det fremgår i forskningsrapporten at det har vist seg vanskelig å tilfredsstillere kravene til normalisert kuldebroverdi i henhold til NS3700. Det er derfor bare to av de sju passivhusprosjektene som kan dokumentere at kravene til normalisert kuldebroverdi er tilfredsstillt, og dermed bare to av prosjektene som tilfredsstiller alle kravene som inngår i en passivhusevaluering i henhold til NS3700. (Thomsen, Gullbrekke, Grynning, & Holme, 2017, s. 12)

Resultatene av EBLE er presenter i del 2 av forskningsrapporten. Beboerstudie fremlegger en oppsummering av funn som ble gjort under 38 beboerintervju hvor 32 av dem var av kategorien passivhusbeboere og 6 av TEK-boliger. I resultatene fra forventninger til inneklima kommer det frem at ønskelig innetemperatur ligger på 22-24 °C i oppholdsrom. For soverom var det ønskelig å ha det kjøligere med en temperatur på 15-19 °C. (Thomsen, Gullbrekke, Grynning, & Holme, 2017, s. 45) Når det kommer til opplevelsen av inneklima fremlegges det at beboerne er fornøyde eller veldig fornøyde med opplevd inneklima både for sommer og vinter. Det kommer likevel fram at varm temperatur over lengre perioder om vår og sommer, kan oppleves plagsomt da det er vanskelig å justere. Forbedringspotensialet ligger under temperaturdifferensiering mellom ulike rom i boligen. Her ønskes det særlig å regulere temperaturen på soverommet uavhengig, ettersom at det her kan forekomme høyere temperatur en ønsket, særlig i sommerhalvåret. Her responderer derfor over halvparten at de sover med åpent vindu. Som forskningsprosjektet er med på å understreke gjennom å undersøke både TEK-boliger og lavenergihus boliger, er dette ikke utfordringer som er avgrenset til passivhus men som er aktuell for alle nye bolighus.

Ved målinger gjort på overtemperatur gjort i stue og kjøkken område, viser resultatene at særlig en av de to TEK-boligene og et passivhusprosjekt uten utvendig solskjerming har flest timer over 26 °C, med 1 840 timer for TEK-boligen og 555 timer for passivhusprosjektet. Passivhusprosjektene som har utvendig solskjerming, har henholdsvis et lavt antall timer med overtemperatur. (Thomsen, Gullbrekke, Grynning, & Holme, 2017, s. 72 og 75) Resultatene om termisk komfort og mulig overtemperatur stemmer godt overens sammenliknet med andre lignende studier som (Larsen, Jensen, & Daniels, 2012) som kartla passivhus i Danmark.

2.5 Tiltaksmetoder

2.5.1 Solskjerming

For å unngå overtemperatur er det viktig å forhindre stor varmetilførsel til de ulike rommene i boligen, og ettersom at varmeenergi fra sola er en stor kilde til varmetilførsel, er solskjerming et viktig aspekt å ta i betraktning når det kommer til utfordringene knyttet til det termisk inneklima i passivhusboliger. Solskjerming kommer i form av ikke regulerbar soltransmisjon, som solbeskyttende glass og fast utvendig solskjerming, samt regulerbar soltransmisjon, i form av elektro- og fotokromme glass og utvendig dynamisk solskjerming. (Bryn, Bjørnulf, Gedsø, & Karlsen, 2015)

Om vi ser på solskjerming i form av vindusglass, finnes det dermed to muligheter.

Solbeskyttende glass er en løsning som tar hensyn til inneklima i form av komfort, ettersom at de gir effektiv solbeskyttelse, samtidig som lysinnslippet er høyt. Den mest brukte typen av solbeskyttelsesglass i Norge er belagte glass hvor bølgelengder selekteres gjennom et belegg. Dette gir mulighet for å oppnå lav til høy transmisjon av synlig lys, samtidig som solvarmen reduseres. En annen mulighet for solskjerming gjennom vindusglass er elektro- og fotokrome glass. Elektrokrome glass er en teknologi som regulerer solinnstråling gjennom elektrisk spenning og trenger dermed strøm for å fungere. Fotokrome glass tilpasses derimot etter sollys, og transmisjonen av solinnstråling styres derfor etter klima.

Når det kommer til utvendig solskjerming kan det redusere varmeinnslippet med opptil 90%, og det skilles mellom fast og dynamisk solskjerming. Ettersom at oppgaven omfatter et bolighus vil fast utvendig solskjerming være ugunstig ettersom at den i stor grad vil redusere dagslyset permanent, noe som vil svekke inneklima komforten. Det vil ikke være behov for aktiv solskjerming gjennom hele året, og jeg har derfor valgt å fokusere på dynamisk utvendig solskjerming. Dynamisk utvendig solskjerming vil gi tilgang til naturlig dagslys og bidra til en bedre termisk komfort gjennom å kontrollere solinnstråling etter behov.

2.5.2 Temperaturdifferensiering mellom rom

I en masteroppgave utført av Eirik Selvnes (Selvnes, 2017, s. 30), ble multi-sone ventilasjon sett på som en løsning for å oppnå klar temperatursone inndeling, og dermed også individuell temperatur kontroll på soverom i passivhus. Denne strategien innebærer å introdusere både tilluft og avtrekk på soverom i boligen. Dette betyr imidlertid at det også må tilføres mer tilluft i resten av boligen ettersom at luftmengde og luftkvaliteten fortsatt må opprettholdes. Det krever også at soveroms dører holdes stengt.

2.6 SIMIEN

SIMIEN er et simuleringsverktøy som er utviklet av Programbyggerne som består av brødrene Tor Helge Dokka og Kjell A. Dokka. Simuleringsverktøyet kan brukes til å gjennomføre energiberegninger og til å simulere inneklima i bygningen gjennom både vinter-, sommer- og årssimulering. Bygningen vil også valideres opp mot forskriftene TEK07, TEK10 og TEK16. Passivhusevaluering opp mot NS3700 for boliger og NS3701 for yrkesbygninger,

samt energimerking fra karakter A-G, er også blant simuleringstyper som tilbys i SIMIEN. (Programbyggerne, 2021) Jeg har som tidligere nevnt, valgt å avgrense SIMIEN til å evaluere den omprosjekterte boligen opp mot NS3700.

2.7 IDA ICE

For simuleringer har jeg valgt å bruke programvaren IDA ICE. IDA ICE står for IDA Indoor Climate and Energy og er et simuleringsverktøy for undersøkelser av inneklima og energibruk som er utviklet av svenske EQUA Simulation AB. Programvaren bruker ifc-modell av boligen til å modellere bygget, ventilasjonssystemet og styringsmekanismene i bygget, og kan dermed simulere detaljerte fler sonede simuleringer og helårsstudiet. Simuleringsverktøyet kan brukes til å analysere energibruk og inneklima i boligen, og benytter seg av seneste forskning og de beste modellene som er tilgjengelig i dag. Nøkkelsimuleringer som kan utføres i IDA ICE er; naturlig og hybrid ventilasjon, behov styrt ventilasjon, dagslys kalkyle og overtemperatur simulering. (EQUA, 2021)

3 Metode

3.1 Utgangspunkt for passivhus bolig

Boligen som er brukt som utgangspunkt for å gjennomføre inneklimatestingene er et lavenergihus fra en tidligere prosjektoppgave i faget BYG210 Bygningsfysikk og Husbygg som ble utført vår-semesteret 2020.

Lavenergihuset fra prosjektet tok utgangspunkt i en eksisterende enebolig på to etasjer med et kaldt loft. Taket på boligen består av et saltak med helning 30° . Oppvarmet del av bruksarealet er på $194,9 \text{ m}^2$ og etasjehøyden i de to etasjene er på $2,77 \text{ m}$. Dette gir et oppvarmet luftvolum på 540 m^3 . For lavenergihuset ble den normaliserte kuldebroverdien satt til $0,05 \text{ W/m}^2\text{K}$ og lekkasjetallet ved 50 Pa var satt til $2,5 \text{ h}^{-1}$. Ventilasjonsstrategien valgt i lavenergihuset var balansert ventilasjon, med et ventilasjonsbehov på $396 \text{ m}^3/\text{h}$. Ventilasjonsanlegget hadde en forskriftsmessig SFP på $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ og virkningsgraden til varmegjenvinning var satt til 80% . Alternativ energikilde var et solfangersystem på $7,5 \text{ m}^2$. Solfangerne er plassert plant på taket med helningsvinkel på 30° , og dekker 50% av netto energibehov til varmtvann. Boligen ble klassifisert som et lavenergihus av klasse 2, på bakgrunn av varmetapstall og oppvarmingsbehov. Figur 3.1.1 viser lavenergihuset fra prosjektet. Planløsning og fasader er illustrert i vedlegg 1.



Figur 3.1.1 Lavenergihuset fra prosjekt BYG210

3.1.1 Konstruksjon og varmeisolering

Vinduer og Dører

Vinduene i lavenergihusboligen består av 10stk 120x120 cm vindu og 2stk 80x80 cm.

Boligen har også et stort vindu i hver etasje på 170x200 cm. Oversikt over U-verdi og solfaktor er gitt i tabell 3.1.1.1.

Tabell 3.1.1 1 Egenskaper for vinduer og dører

	Glasstype	U-Verdi (W/m²K)	Solenergitransmisjon, g (%)
Vinduer	3-lags energiglass	0,8	50
Ytterdør, hoveddør	Klarglass	0,97	50
Ytterdør, vaskerom	-	0,85	-

Ytre konstruksjoner

U-verdiene til de ytre konstruksjonsdelene for boligen er illustrert i tabell 3.1.1.2.

Tabell 3.1.1 2 Oppbygning konstruksjon yttervegg

Konstruksjon	U-verdi W/m²K
Yttervegg	0,12
Gulv mot grunn	0,15
Saltak	0,10

3.2 Tiltak Passivhus

I omprosjekteringen av lavenergihus til passivhus har jeg i hovedsak valgt å fokusere på å endre energidata for boligen. Jeg har derfor valgt å endre isolasjonstykkelsen i de ulike bygningskomponentene, slik at U-verdiene og varmetapet stemmer overens med kravene satt etter NS3700. Jeg vil derfor i dette kapitlet presentere hvilke endringer som er gjort. Det er også foretatt en manuell utregning av varmetapskoeffisienter og totalt varmetapstall for å sammenligne med resultatet med SIMIEN. Denne manuelle utregningen er framstilt i vedlegg 2.

3.2.1 Ventilasjon

For den balanserte ventilasjonen valgte jeg å gjøre noen endringer i frisklufttilførselen og avtrekket i enkelte av rommene. Det er tre soverom i boligen, hvor to av dem er ekstrarom tiltenkt som gjesterom. På bakgrunn av dette valgte jeg derfor å redusere tiltenkt sengeplass til en istedenfor to for soverom 1 og 3. Dermed halveres kravet til friskluft til ekstrarommene. Når det kommer til avtrekket i boligen valgte jeg å endre avtrekket på badene til normalt avtrekksvolum, ettersom at det er vindu på begge bad som kan åpnes. Vaskerommet lot jeg være forsert ettersom at det derimot ikke finnes vindu der. Gjennom disse tiltakene reduserte jeg ventilasjonsbehovet fra 396 m³/h til 245 m³/h, og får dermed også redusert oppvarmingsbehovet og ventilasjons varmetapet. Det er ikke kjøling i ventilasjonsanlegget. Tiltakene er illustrert i tabell 3.2.1.1.

Tabell 3.2.1 1 Tiltak ventilasjonsbehov for passivhus

	Krav friskluft	Krav avtrekk	Justert friskluft	Justert avtrekk
Enhet	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Etasje 1				
Bad	0	54	0	54
Vaskerom	0	72	0	72
Kjøkken/Spisestue	66	36	20	36
Tv-stue	26	0	91	0
Inngangsparti	8,3	0	0	0
Sum	100	162	111	162
Etasje 2				
Loftstue/ Gang	34	0	30	0
Bad	0	54	0	83
Soverom 1	52	0	52	0
Soverom 2	26	0	26	0
Walk-in	6,5	0	0	0
Soverom 3	26	0	26	0
Sum	145	54	134	83
Totalt	245	216	245	245

3.2.2 Yttervegg

For ytterveggen er det valgt å bruke en isolasjonstykkelse på 35 cm. Ved å bruke metodene øvre grenseverdi og legeringsmetoden beskrevet i boka *Bygningsfysikk* (Espedal, 2017) kan U-verdien til ytterveggen beregnes. Tabell 3.2.2.1 viser utregningen av den øvre grenseverdien, og tabell 3.2.2.2 viser utregningen for nedre grenseverdi gjennom legeringsmetoden.

Tabell 3.2.2 1 Øvre grenseverdi yttervegg

	Felt a	Felt b	Resistanse
Utvendig ventilert kledning og utvendig varmemotstand	0,13	0,13	Tabell 12.2.4 (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Vindsperreduk	0,03	0,03	Tabell 12.2.3 (Edvardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Glava extreme	9,38		$R = \frac{t_1}{\lambda_d} = \frac{0,300m}{0,032 W/mK}$

Stender tre		2,88	$R = 0,346m / 0,12 W/mK$
Dampsperre	0,03	0,03	Tabell 12.2.3 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Glava extreme	1,56		$R = \frac{t_2}{\lambda_d} = \frac{0,050m}{0,032 W/mK}$
Påforing		0,40	Påforing 48mm x 48mm $R = \frac{t}{\lambda_d} = 0,048m / 0,12 W/mK$
Gipsplate	0,06	0,06	Tabell 12.2.3 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Innvendig varmeovergangsmotstand	0,13	0,13	Tabell 12.2.4 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Sum	11,32	3,66	

I boka *Håndbok 5 Trehus* oppgis det at utvendig varmemotstand har tilsvarende verdi som den innvendige varmeovergangsmotstanden ved beregning av yttervegg.

Varmemotstanden i øvre grenseverdi regnes ut etter likning 3.2.2.1. A_a er representerer isolasjonsdelen i veggen og A_b representerer treandelen av ytterveggen. I tabell 12.2.6 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 394) regnes tre-andelen i en yttervegg i enebolig som 13% ved 36 mm stendertykkelse. Vi har da en isolasjonsdel på 87%. R_{Ta} er summen av varmemotstanden i felt a, og R_{Tb} er summen av varmemotstanden i felt b.

$$R_{T\emptyset} = \frac{A_a + A_b}{\frac{A_a}{R_{Ta}} + \frac{A_b}{R_{Tb}}}$$

Likning 3.2.2.1 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 394)

Varmemotstanden, $R_{T\emptyset}$ i øvre grenseverdi i ytterveggen for passivhuset er etter likning 3.2.2.1 beregnet til 8,90 m²K/W.

Tabell 3.2.2 2 Legeringsmetoden for nedre grenseverdi

	Felt a	Resistanse
Utvendig kledning	0,13	
Vindsperrereduk	0,03	

Glava extreme og Stender	6,91	$R = \frac{t_1}{A_a \lambda_{isolasjon} + A_b \lambda_{tre}}$ $= \frac{0,300}{0,87 * 0,032 + 0,13 * 0,12}$
Dampsperre	0,03	
Påføring og Glava extreme	1,15	$R = \frac{t_2}{A_a \lambda_{isolasjon} + A_b \lambda_{tre}}$ $= \frac{0,050}{0,87 * 0,032 + 0,13 * 0,12}$
Gipsplate	0,06	
Innvendig varmeovergangsmotstand	0,13	
Varmemotstand nedre grenseverdi, $R_{T\eta}$ (m^2K/W)	8,44	

Den totale varmemotstanden i ytterveggen er gitt ved likning 3.2.2.2 og er lik 8,67 m^2K/W for passivhus boligen.

$$R_T = \frac{R_{T\emptyset} + R_{T\eta}}{2}$$

Likning 3.2.2.2 Total varmemotstand (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 394)

U-verdien for boligen kan dermed beregnes etter likning 2.2.7 fra NS-EN ISO 6949.

Ettersom at det etter *Håndbok 5 Trehus*, forutsettes at varmeisolasjonen fyller hulrom i konstruksjonen fullstendig for alle ordinære trehuskonstruksjoner, settes $\Delta U = 0$. (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 394) U-verdien til ytterveggen blir dermed beregnet til 0,115 W/m^2K .

3.2.3 Gulv mot grunn

For gulv mot grunn er det valgt å isolere med EPS plater ettersom at disse har høy isoleringsevne og absorberer lite fukt. Betongdekkets tykkelse setter jeg lik 80 mm etter konstruksjonsguide fra Rockwool (Rockwool, 2020). Isolasjonstykkelsen velger jeg å sette til 40 cm gjennom to plater av EPS på tykkelse 200 mm for å tilfredsstille krav til U-verdi. Teknas anbefaling av isolasjonstykkelse er 35 cm med EPS (Tekna, 2018), men det er valgt å isolere med ytterligere 5 cm for å sikre god isolasjonsevne. Oppbygningen av gulvet er

beskrevet i tabell 3.2.3.1 og utregningen av (Bryn, Bjørnulf, Gedsø, & Karlsen, 2015) U-verdi for gulvet er gitt i tabell 3.2.3.2.

Tabell 3.2.3 1 Oppbygning av gulv

Material	Tykkelse (mm)
EPS plate	200
EPS plate	200
Betongdekke	80
Parkett	14
Total	495

For å finne varmekonduktiviteten til EPS platene, er Jackon sin brosjyre over produktsortimentet EPS anvendt. Oversikten over teknisk data for produktet Jackon Super EPS oppgir at varmekonduktiviteten til produktet Jackon Super EPS 80 er 0,031 W/mK. (Jackon, 2020, s. 15) For parkettens varmekonduktivitet bruker jeg Kährs sine verdier for tregulv på 14 mm som er satt til 0,14 W/mK. (Kährs, 2008, s. 6)

Tabell 3.2.3 2 Beregning av U-verdi for gulv mot grunn

Material	Tykkelse t_i (m)	Konduktivitet λ_d (W/mK)	Resistanse $R=t_i/\lambda_d$ (m ² K/W)
Utvendig overgangsmotstand			0,04
EPS plate	0,20	0,031	6,45
EPS plate	0,20	0,031	6,45
Betongdekke	0,08	2,0	0,04
Parkett	0,014	0,14	0,10
Innvendig overgangsmotstand			0,13
Sum			13,21

U-verdi for gulvet blir dermed beregnet til 0,08 W/m²K etter likning 2.2.7 og tilfredsstillende dermed kravet til U-verdi etter NS3700.

3.2.4 Tak

Isolasjonsdelen på 40cm i lavenergihusboligen gir en U-verdi på 0,10 W/m²K, og tilfredsstillter dermed ikke kravet i henhold til NS3700:2013. Jeg valgte derfor å følge anbefalingen gitt av Enova, og økte isolasjonstykkelsen til 45cm. (Enova, 2011, s. 4) Utrengningen av U-verdi for taket blir også beregnet gjennom å finne øvre og nedre grenseverdi. Tabell 3.2.4.1 viser beregningen av varmemotstanden i øvre grenseverdi, og tabell 3.2.4.2 viser varmemotstand for nedre grenseverdi.

Tabell 3.2.4.1 Øvre grenseverdi for tak

	Felt a	Felt b	Resistanse
Taktekking	0,13	0,13	
Undertak	0,10	0,10	Tabell 12.2.3 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Taksperre		3,33	$R = 0,400m / 0,12 W/mK$
Mineralull	12,86		$R = \frac{t_1}{\lambda_d} = \frac{0,450m}{0,035 W/mK}$
Dampsperr	0,03	0,03	Tabell 12.2.3 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Sponplate	0,10	0,10	Tabell 12.2.3 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Innvendig varmeovergangsmotstand	0,13	0,13	Tabell 12.2.4 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Utvendig varmeovergangsmotstand	0,04	0,04	Tabell 12.2.4 (Edwardsen & Ramstad, 2018, s. 392)
Sum	13,39	3,86	

Byggforskserien 471.013 beskriver at treandelen i tak hvor sperret er 48 mm, er lik 8%. (Byggforskserien, 2003) Det vil si at isolasjonsdelen er lik 92%. Ved å beregne varmemotstanden etter likning 3.2.2.1 blir varmemotstanden i den øvre grenseverdien lik 11,18 m²K/W.

Tabell 3.2.4 2 Nedre grenseverdi tak

		Resistanse
Taktekking	0,20	
Undertak	0,14	
Taksperre + Mineralull	10,77	$R = \frac{t_1}{A_a \lambda_{isolasjon} + A_b \lambda_{tre}}$ $= \frac{0,450}{0,92 * 0,035 + 0,08 * 0,12}$
Dampsperre	0,03	
Sponplate	0,10	
Innvendig varmeovergangsmotstand	0,13	
Utvendig varmeovergangsmotstand	0,04	
Varmemotstand $R_{T\eta}$	11,41	

Den totale varmemotstanden R_T beregnet etter likning 3.2.2.2 vil da være lik 11,3 m²K/W. U-verdien ble dermed beregnet til 0,09 W/m²K etter likning 2.2.7 og er dermed innenfor det gitte kravet.

3.2.5 Himling mot kaldt loft

For himling mot kaldt loft er det særlig viktig med god U-verdi for å minimere varmetap.

Utrekning av U-verdi for himling mot kaldt loft er derfor illustrert i tabell 3.2.5.1.

Tabell 3.2.5 1 Oppbygning og U-verdi for himling mot kaldt loft

Material	Tykkelse t_i (m)	Konduktivitet λ_d (W/mK)	Resistanse $R=t_i/\lambda_d$ (m ² K/W)
Utvendig overgangsmotstand			0,04
Sponplate	0,10	0,13	0,77
Lett isolasjon	0,41	0,036	11,4
Gipsplate	0,013	0,22	0,06

Innvendig overgangsmotstand			0,13
Sum			12,39

U-verdien til himling mot kaldt loft beregnes til 0,08 W/m²K etter likning 2.2.7.

3.2.6 Kuldebro

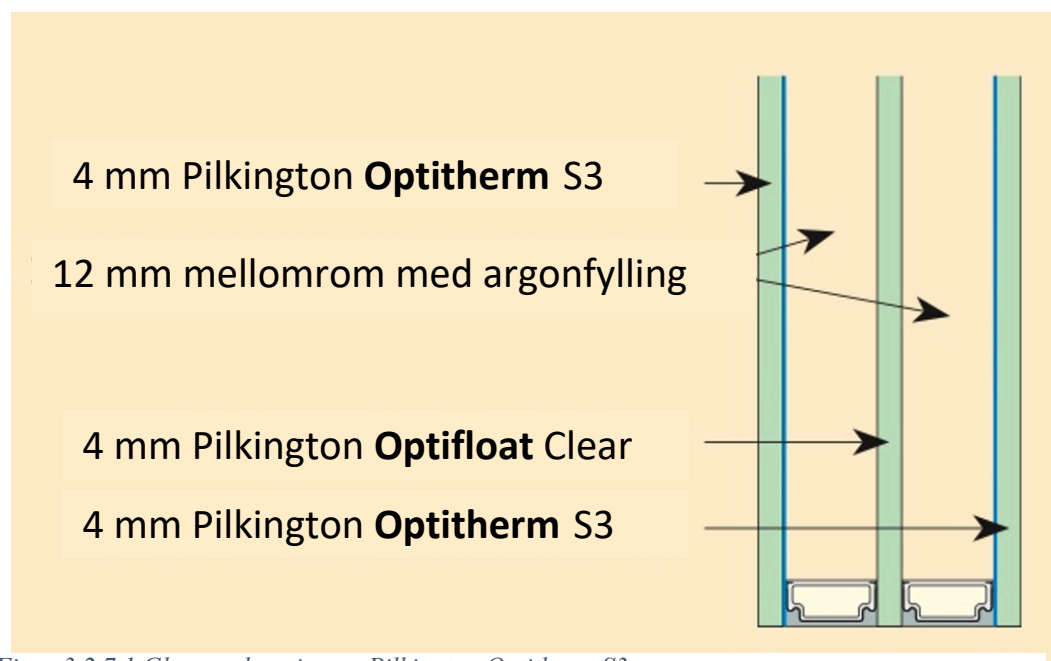
Etter tabell 2.2.1 er den normaliserte kuldebroverdien for passivhus noe strengere enn for lavenergihus klassene. Kuldebroverdien for alle overganger er derfor endret til den normaliserte kuldebroverdien lik 0,03 W/m²K gitt i NS3700.

3.2.7 Vinduer

Når det kommer til vinduene i passivhus boligen har jeg valgt å bruke vinduer med 3-lags energiglass fra Pilkington. Glasset er av typen energispareglass med produktnavn Pilkington Optitherm S3. Termisk- og utvalgt optisk data for glasset er gitt i tabell 3.2.7.1. Glassets oppbygning er illustrert i figur 3.2.7.1. Glasset slipper inn like mye dagslys som vanlige vindusglass og gir dermed et godt utgangspunkt for base simuleringer. Vinduene vil i sin helhet fortsatt ha en U-verdi på 0,8 W/m²K og er av typen Skallevold Passiv 0,8. (Skallevold, 2017, s. 7)

Tabell 3.2.7.1 Termisk og optisk data for Pilkington glass. (Pilkington, 2021, s. 25)

U-Verdi (W/m ² K)	Soltransmisjon (S _T)	Lystransmisjon (L _T)	Solenergitransmisjon (g)
0,7	45%	74%	53%



Figur 3.2.7 1 Glassoppbygning av Pilkington Optitherm S3

3.3 SIMIEN

Beregningene i SIMIEN er basert på inndata som består av egen beregnet data og standardiserte inndata i programvaren. Hele huset er simulert som en sone. Etter Programbyggernes eksempelutregning for boligbygg (Programbyggerne, 2016), tas ikke yttertak med i beregning ettersom at boligen har himling i 2.etasje mot kaldt loft. Det er derfor denne himlingen som ligger inn som øvre sjikt.

U-verdier for fasader, gulv mot grunn og himling mot tak er basert på utregningene gjort i kapittel 3.2. For indre konstruksjon som innervegger, himling i 1. etasje og gulv i 2.etasje, regner SIMIEN ut U-verdi etter valgt varmelagring i innvendig sjikt. For vinduene i passivhus-boligen har jeg valgt å bruke den samlede U-verdien for Skallevold Passiv 0,8. G-verdi for vinduene er satt til 53% etter optisk data fra Pilkington oppgitt i kapittel 3.2. De to ytterdørene i boligen har en U-verdi på $0,58 \text{ W/m}^2\text{K}$ etter Giljes standard ytterdør av modell eXtra (Gilje, 2021).

Inndata for ventilasjonen er balansert ventilasjon, hvor generell tilluft og avtrekk i driftstid legges inn. Her er inndata basert på $1,20 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ for både tilluft og avtrekk og luftmengden kommer dermed på $234 \text{ m}^3/\text{h}$. Det er brukt normalisert kuldebroverdi for boligen, ettersom at

dette er avgjørende for å oppnå krav satt etter NS3700. Årsgjennomsnittlig temperaturvirkningsgrad for varmegjenvinning, SFP faktor og lekkasjetall er satt etter verdiene fremstilt i kapittel 3.2.

Da tiltakene for å gjøre boligen om til passivhus var klar, utførte jeg en passivhusevaluering gjennom SIMIEN. Den første evalueringen ga en samlet evaluering om at bygningen ikke tilfredsstilte kravene til passivhus på bakgrunn av posten «Energibruk el./fossile energibærere». Her lå verdien etter tiltak på 62,7 kWh/m², mens kravet tilsier et energibruk på 59,8 kWh/m². Det var derfor nødvendig med større andel alternativ energikilde, hvor det ble valgt å benytte varmepumpe. Det ble valgt å benytte luft til vann varmepumpe ettersom at dette egner seg bedre for passivhus enn luft til luft som ikke tilfredsstiller krav til fornybar energi i NS3700. Det ble valgt varmepumpe for lavtemperatur for å få mest mulig utbytte. Fullstendig oversikt over inndata for SIMIEN er illustrert i vedlegg 3.

3.4 IDA-ICE

Simuleringene i IDA ICE er utført på bakgrunn av BIM-modellen fra den tidligere prosjektoppgaven. Klimaet som boligen er simulert for er Stavanger/Sola. Det er opprettet soner for hver av rommene i boligen. U-verdien for de ulike bygningskomponentene og ventilasjonsbehovet for hver sone i den første simuleringen er hentet fra utregningene utført i delkapittel 3.2. Kjølebatteriet i ventilasjonssystemet er satt til null da det ikke er kjøling aktivert. Vinduene er basert på Pilkington Optitherm S3 sine termiske og optiske data. For rammen har jeg tatt utgangspunkt i en normal karm- og rammeprofil med varmekonduktivitet på 0,13 W/mK. Normalisert kuldebroverdi, lekkasjetall og SFP-faktor er hentet fra kravene som er lagt frem i tabell 2.2.1. Varmetilskudd fra belysning og utstyr er regnet ut etter arealet av hver sone etter kravene fra NS3700 illustrert i kapittel 2.2 tabell 2.2.4.

Når det kommer til personbelastning, er de reelle verdiene for personbelastning anvendt. I NS3700 er det oppgitt varmetilskudd fra personer i W/m². IDA ICE har derimot som standard oppgitt i den relative enheten *met*, hvor 1 *met* er 58 W/m² kroppsoverflate. Det er tatt utgangspunkt i reell personbelastning hvor de om dagen oppholder seg i oppholdsrom og på soverommet på natten. Det er gått utfra at boligen har 2 fast boende personer og det er simulert for scenario hvor oppholdsrommene da har maks belastning. For de to soverommene som er tiltenkt ekstra, så er det simulert for 1 person. Aktivitetsnivå og bekleddningsnivå er

basert på tabeller fra *User Manual, IDA Indoor Climate and Energy* (EQUA Simulations AB, 2013). Det er da simulert for 0,7 met i aktivitetsnivå under natten og 1 met for aktivitetsnivå på dagtid. For timeplanen har jeg tatt utgangspunkt i en vanlig arbeidsdag i hverdager, hvor beboerne sover fra 23-06 og er aktiv fra 06-07 og 17-23. Det er også lagt inn timeplan for helg og helligdager. Timeplaner for personbelastninger er vedlagt i vedlegg 4. Belysning og Utstyr er også innstilt etter samme timeplaner. Bilde fra simuleringssituasjon er vedlagt i vedlegg 6.

3.4.1 Simulering med vinduslufting som tiltak

For tv-stue og loftstue er det lagt inn for vinduslufting når operativ temperatur i rommet nærmer seg 23 °C. For loftstue er vinduslufting satt inn fra mai til juni, og for tv-stua fra mai til august. Koblingsdiagrammet for operasjonen og tidsplan for tv-stue er vedlagt i vedlegg 5. For soverom er det simulert for vinduslufting når temperaturen nærmer seg 19 °C fra mai til august. Det er antatt at vinduet åpnes klokken fem på hverdager og er åpent hele natta frem til seks på morgenen. Kobling og tidsplan er vedlagt i vedlegg 5.

3.4.2 Simulering med solskjerming som tiltak

For simulering med solskjerming er det satt opp screens som solskjerming i tv-stue, loftstue, kjøkken og spisestue, samt soverom. Det er valgt å benytte screens ettersom at det er en populær og utbredt type solskjerming. I tv-stua er det satt opp solskjerming på begge vinduer. I kjøkken og spisestue er det valgt å benytte screens på begge vinduene vendt mot sør og for soverom 2 er det simulert med screens på det største vinduet vendt mot sør og vinduet vendt mot øst. Solskjerming i de to stuene og kjøkken og spisestue aktiveres når temperaturen i rommene nærmer seg 21 °C. For soverommene er solskjermingen aktiv når temperaturen nærmer seg 19 °C.

3.4.3 Simulering med multi-sone ventilasjon som tiltak

For simulering med ventilasjon som tiltak er det fokusert på å skape et større skille mellom soverom og oppholdsrom ettersom at soverommene har betydelig høyere temperatur enn det som er ønskelig. Det er derfor simulert for muligheten til å tilføye både tilluft og avtrekk på hver av soverommene for å oppnå større grad av temperatursoner som presentert i delkapittel 2.5.2. Det nye ventilasjonsbehovet for multi-sone ventilasjon er illustrert i tabell 3.4.3.1.

Tabell 3.4.3 1 Multi-sone ventilasjonsbehov

	Krav friskluft	Krav avtrekk	Justert friskluft	Justert avtrekk
Enhet	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h
Etasje 1				
Bad	0	54	0	54
Vaskerom	0	72	0	72
Kjøkken/Spisestue	66	36	20	36
Tv-stue	26	0	143	0
Inngangsparti	8,3	0	0	0
Sum	100	162	163	162
Etasje 2				
Loftstue/ Gang	34	0	82	0
Bad	0	54	0	83
Soverom 2	52	0	52	52
Soverom 1	26	0	26	26
Walk-in	6,5	0	0	0
Soverom 3	26	0	26	26
Sum	145	54	186	187
Totalt	245	216	349	349

Når det kommer til aggregatet for ventilasjonen, er det tatt utgangspunkt i et system hvor to vifter styrer tilluft og avtrekk. Kjølebatteriet er satt til null også i denne simuleringen. Det er også satt inn en temperatursensor for soverommene med en ønskelig operativ temperatur på 19 °C. Maks tilluftstemperatur er satt til 24 °C og minimal tilluftstemperatur er satt til 14 °C, da temperaturene i første simulering tilsier at dette er tilstrekkelig. Koblingsdiagrammet for multi-sone ventilasjon er illustrert i vedlegg 7.

3.4.4 Simulering med moderne vindusareal

Omprosjekteringen til passivhus innebar at det originale vindusarealet ble opprettholdt i første omgang. Dagens boliger prosjekteres derimot med et høyere vindusareal, og det er derfor interessant å se på virkning av nettopp dette. For denne simuleringen er det satt inn større vinduer i rommene tv-stue, kjøkken og spisestue og loftstue. Endring i vindusareal for disse rommene er illustrert i tabell 3.4.4.1

Tabell 3.4.4 1 Endring i vindusareal

Sone	Tidligere vindusareal	Vindusareal
Tv-stue	4,84 m ²	6,8 m ²
Kjøkken og Spisestue	4,32 m ²	8,58 m ²
Loftstue	1,44 m ²	4,20 m ²

3.4.5 Simulering med tiltak for moderne vindusareal

Som tiltak for å kontrollere temperatur ved moderne vindusareal er det valgt å bruke en kombinasjon av ventilasjonstiltak og utvendig solskjerming. Ettersom at det er store vinduer er man avhengig av at det er ut mot grunn eller terrasse for å kunne bruke vindusutlufting. Det er derfor brukt solskjerming som supplerende tiltak, ettersom at dette ikke eksisterer for kjøkken og loftstue. Når det kommer til ventilasjonen er det benyttet returtemperaturstyrt system med samme maks og minimumstemperatur som beskrevet i delkapittel 3.4.3. Her er derimot temperatursensor satt til rommene med økt vindusareal. Ønskelig operativ temperatur er satt til 21 °C. Den utvendige solskjermingen aktiveres når det er sol og den operative temperaturen nærmer seg 22 °C. Koblingsdiagram for ventilasjon og utvendig solskjerming er illustrert i vedlegg 8.

4 Resultat

4.1 Resultat SIMIEN

Alle tabeller i delkapittel 4.2 er hentet ut fra resultatet av passivhus-evaluering fra SIMIEN.

Tabell 4.1 1 Resultat av kvalifisering etter krav til passivhus

Resultater av evalueringen		
Evaluering mot NS 3700:2013		Beskrivelse
Varmetapsramme		Bygningen tilfredsstiller kravet for varmetapstall
Energiytelse		Bygningen tilfredsstiller krav til energiytelse
Minstekrav		Bygningen tilfredsstiller minstekrav til enkeltkomponenter
Luftmengder ventilasjon		Luftmengdene tilfredsstiller minstekrav gitt i NS3700:2013
Samlet evaluering		Bygningen tilfredsstiller alle krav til passivhus

Tabell 4.1 2 Varmetapsbudsjett etter krav til passivhus

Varmetapsbudsjett		Verdi
Beskrivelse		
Varmetapstall yttervegger		0,11
Varmetapstall tak		0,04
Varmetapstall gulv på grunn/mot det fri		0,04
Varmetapstall glass/vinduer/dører		0,11
Varmetapstall kuldebroer		0,03
Varmetapstall infiltrasjon		0,04
Totalt varmetapstall		0,36
Krav varmetapstall		0,48

Tabell 4.1 3 Netto oppvarmingsbehov og energibruk etter krav til passivhus

Energiytelse			
Beskrivelse		Verdi	Krav
Netto oppvarmingsbehov		13,7 kWh/m ²	18,0 kWh/m ²
Netto kjølebehov		0,0 kWh/m ²	0,0 kWh/m ²
Energibruk el./fossile energibærere		58,8 kWh/m ²	61,8 kWh/m ²

Tabell 4.1 4 Energibehov

Energibudsjett (NS 3700)			
Energipost		Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming		2650 kWh	13,6 kWh/m ²
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)		11 kWh	0,1 kWh/m ²
2 Varmtvann (tappevann)		5804 kWh	29,8 kWh/m ²
3a Vifter		854 kWh	4,4 kWh/m ²
3b Pumper		1 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Belysning		2219 kWh	11,4 kWh/m ²
5 Teknisk utstyr		3415 kWh	17,5 kWh/m ²
6a Romkjøling		0 kWh	0,0 kWh/m ²
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)		0 kWh	0,0 kWh/m ²
Totalt netto energibehov, sum 1-6		14954 kWh	76,7 kWh/m ²

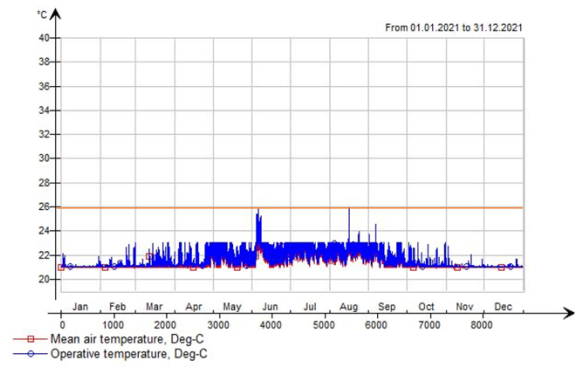
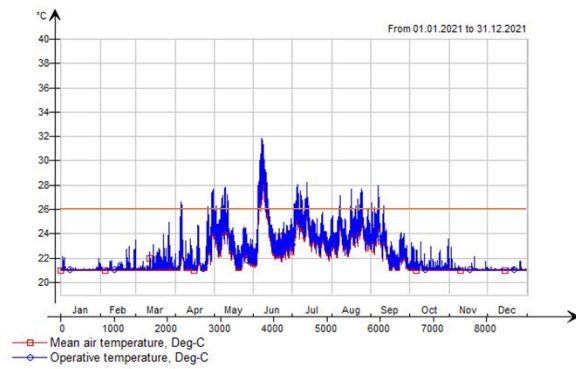
Tabell 4.1 5 Levert energi til boligen

Levert energi til bygningen (NS 3700)		
Energivare	Levert energi	Spesifikk levert energi
1a Direkte el.	10278 kWh	52,7 kWh/m ²
1b El. til varmepumpesystem	937 kWh	4,8 kWh/m ²
1c El. til solfangersystem	242 kWh	1,2 kWh/m ²
2 Olje	0 kWh	0,0 kWh/m ²
3 Gass	0 kWh	0,0 kWh/m ²
4 Fjernvarme	0 kWh	0,0 kWh/m ²
5 Biobrensel	0 kWh	0,0 kWh/m ²
6. Annen energikilde	0 kWh	0,0 kWh/m ²
7. Solstrøm til egenbruk	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Totalt levert energi, sum 1-7	11458 kWh	58,8 kWh/m ²
Solstrøm til eksport	-0 kWh	-0,0 kWh/m ²
Netto levert energi	11458 kWh	58,8 kWh/m ²

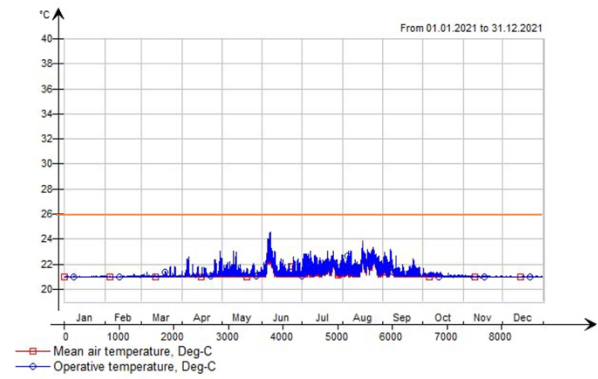
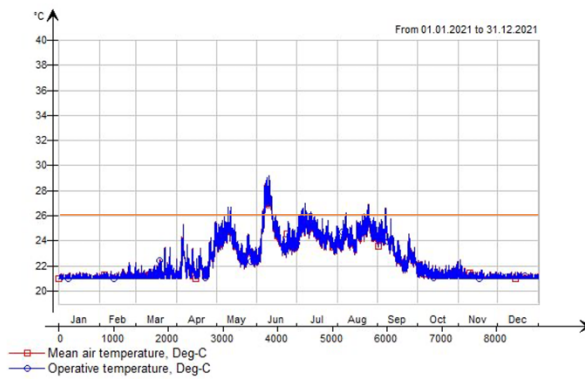
4.2 Resultat IDA ICE

I dette kapittelet presenteres resultatene av simuleringene gjort i IDA ICE for innnetemperatur. Resultatene er som nevnt avgrenset til oppholdsrom og soverom. Den blå grafen representerer den operative temperaturen, og er den temperaturen som føles av personer som oppholder seg i rommet. Det er derfor denne linjen som er hovedfokuset for denne oppgaven. Den oransje horisontale linjen illustrerer temperatur på 26 °C. Resultatene presenteres i de rommene som er mest aktuell for tiltak, full oversikt over resultatene fra simuleringene uten tiltak er presentert i vedlegg 9.

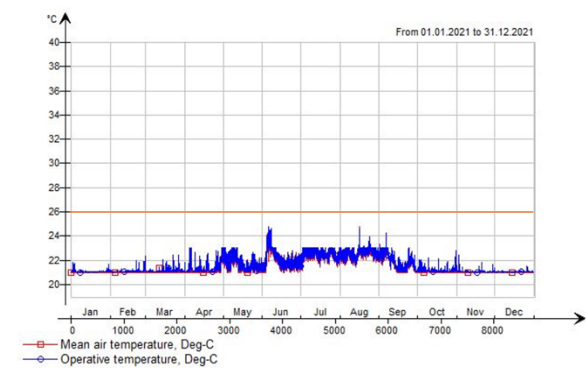
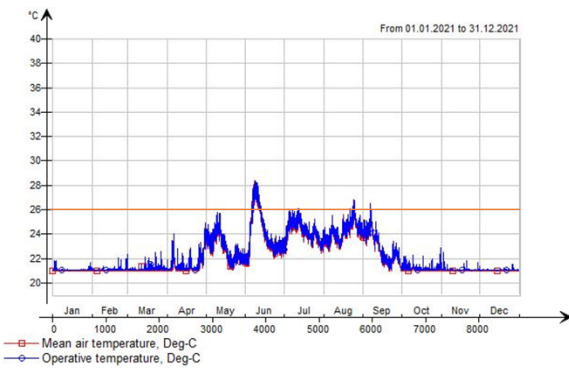
4.2.1 Simulering med vinduslufting



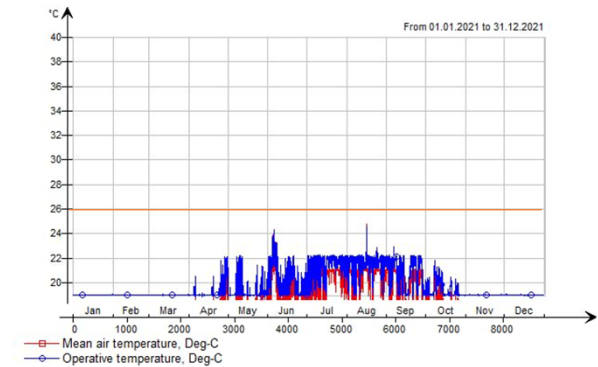
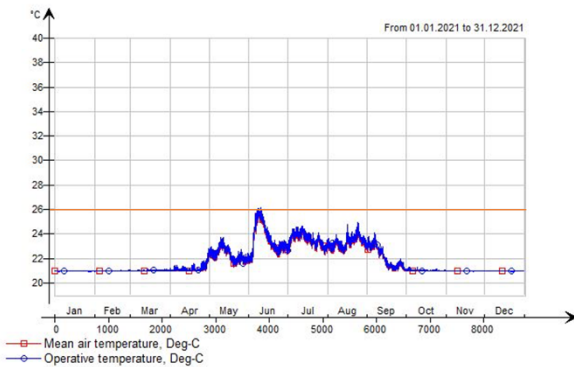
Figur 4.2.1 1 Årlig temperatur i tv-stue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



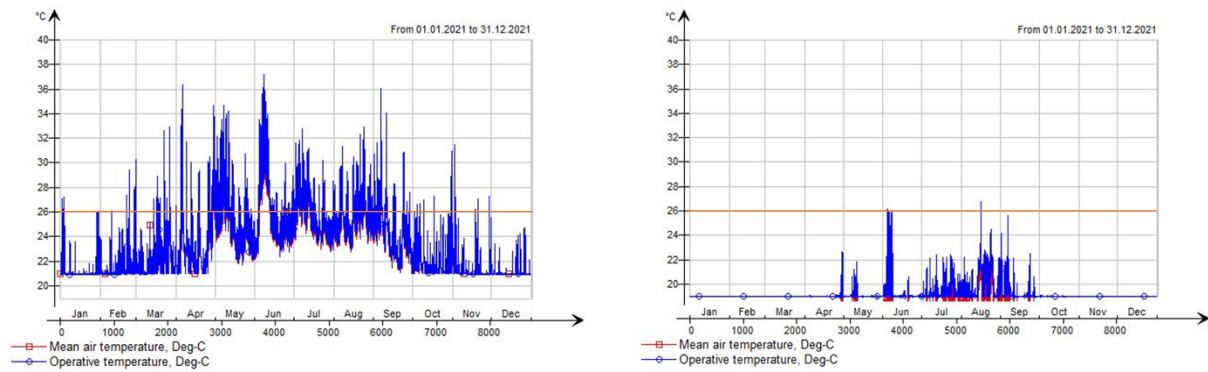
Figur 4.2.1 2 Årlig temperatur i loftstue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



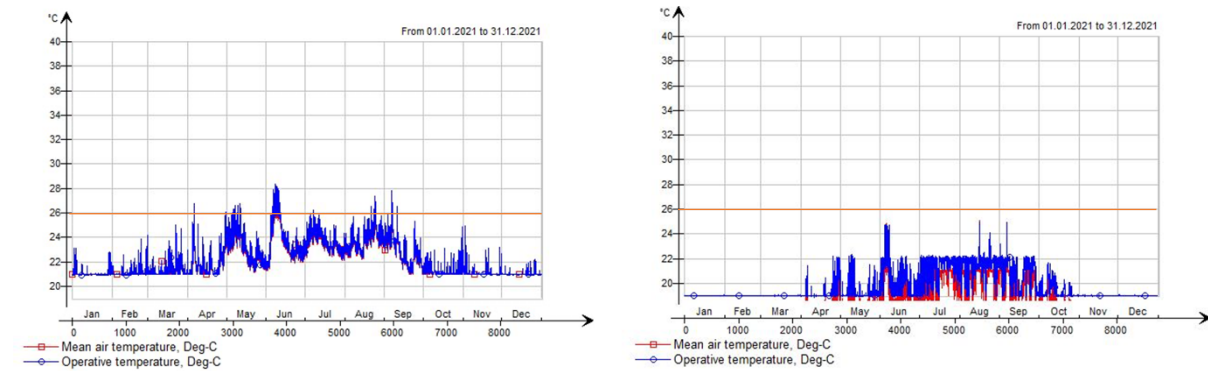
Figur 4.2.1 3 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



Figur 4.2.1 4 Årlig temperatur på soverom 1. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

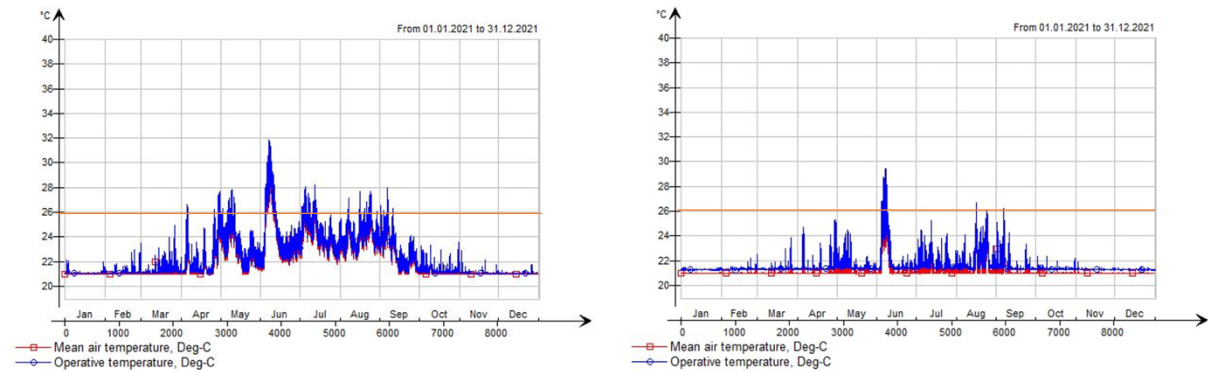


Figur 4.2.1 5 Årlig temperatur på soverom 2. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

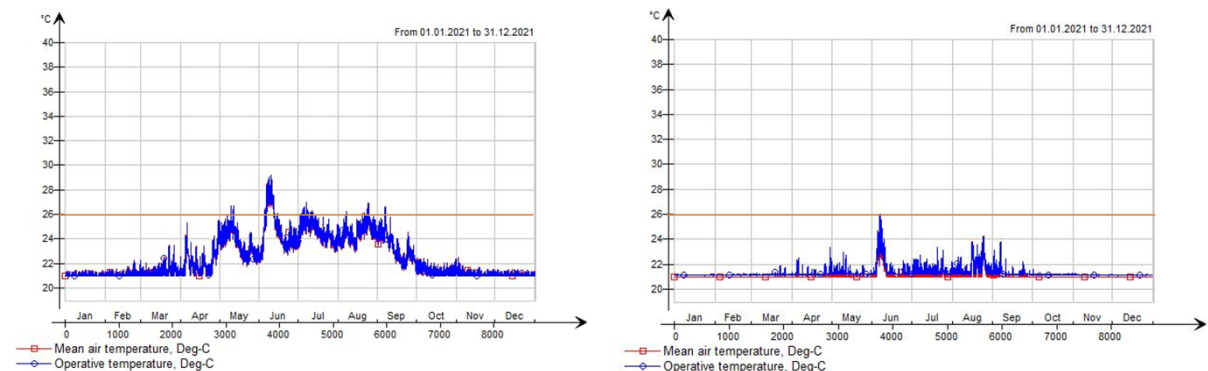


Figur 4.2.1 6 Årlig temperatur på soverom 3. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

4.2.2 Simulering med multi-sone ventilasjon

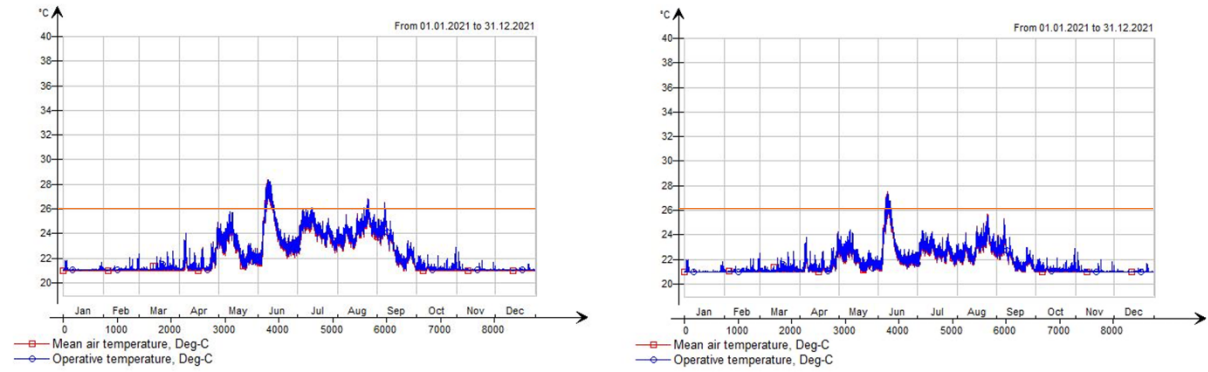


Figur 4.2.2 1 Årlig temperatur i tv-stue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

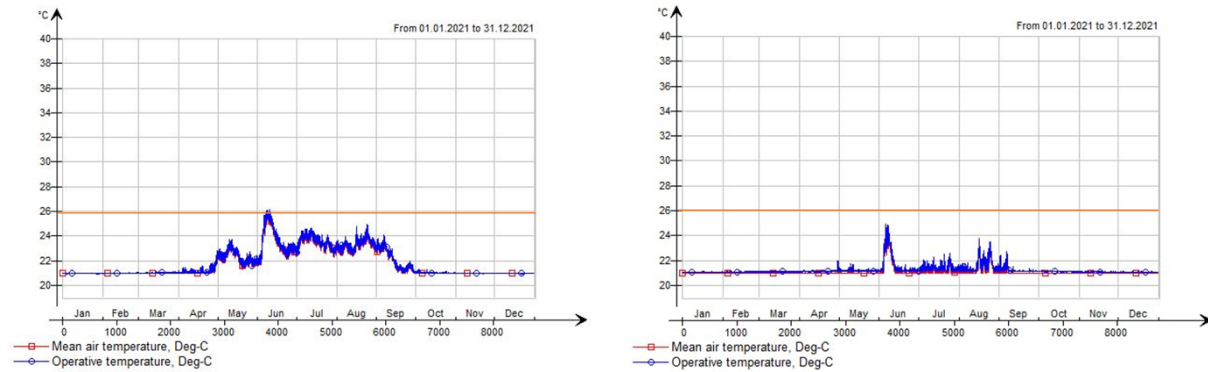


Figur 4.2.2 2 Årlig temperatur i loftstue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

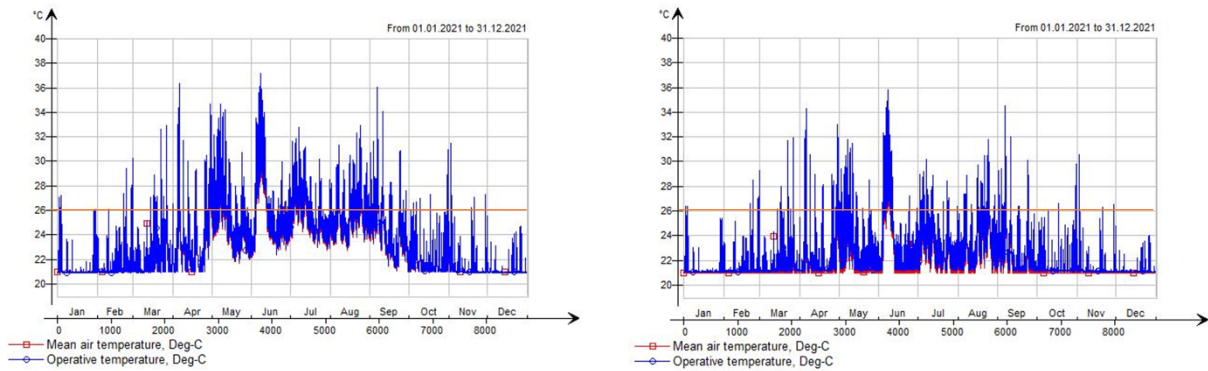
Hvilke designvalg for passivhus har størst innflytelse på inneklima?



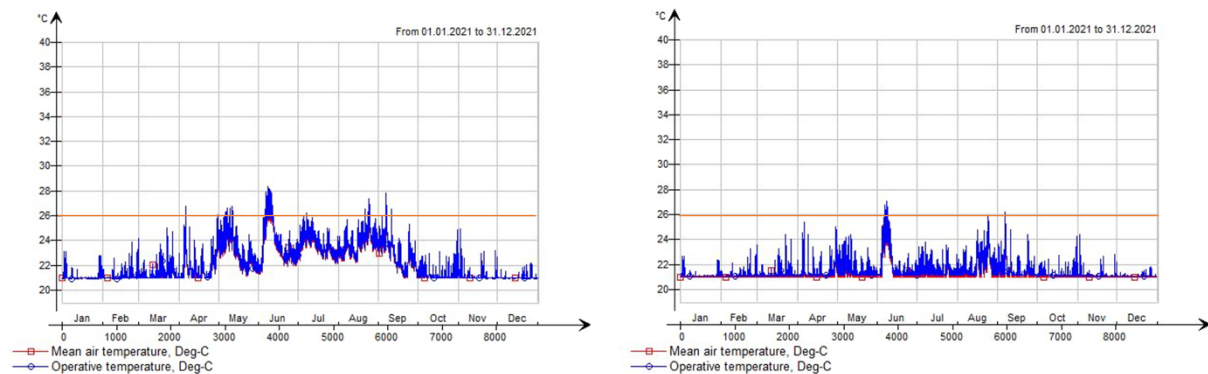
Figur 4.2.2 3 Årlig temperatur Kjøkken og Spisestue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



Figur 4.2.2 4 Årlig temperatur på soverom 1. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

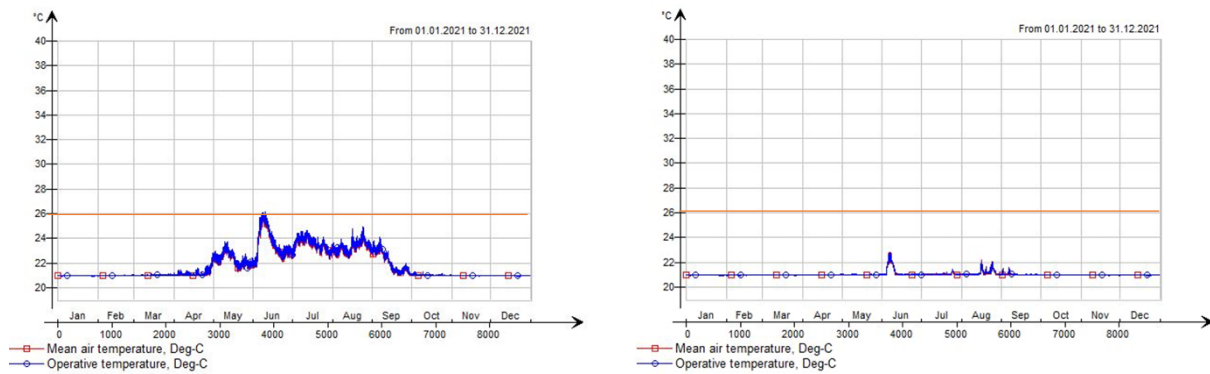
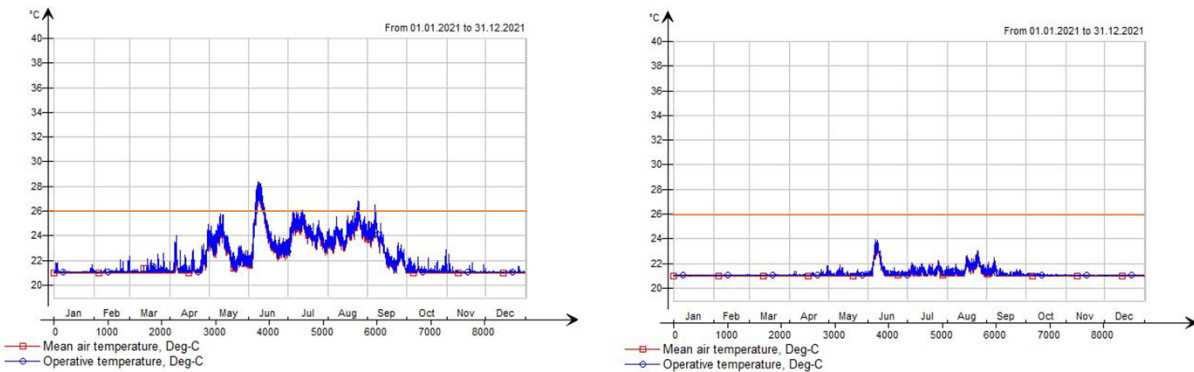
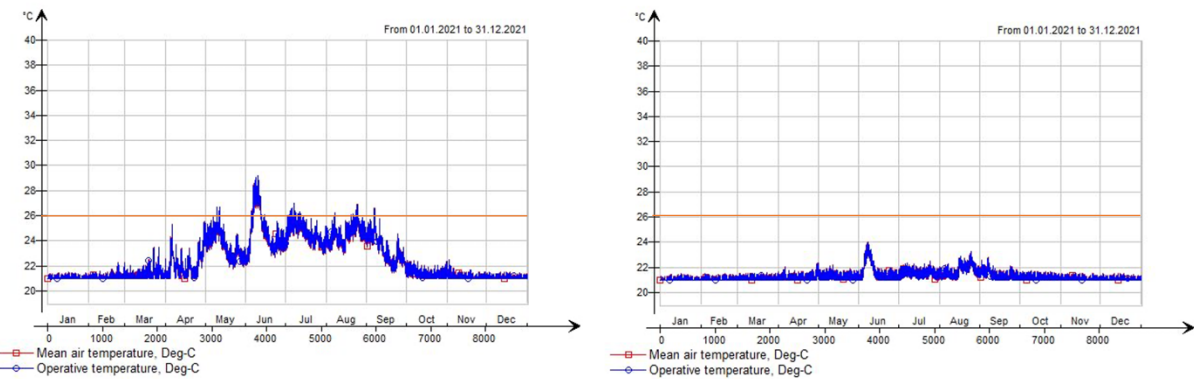
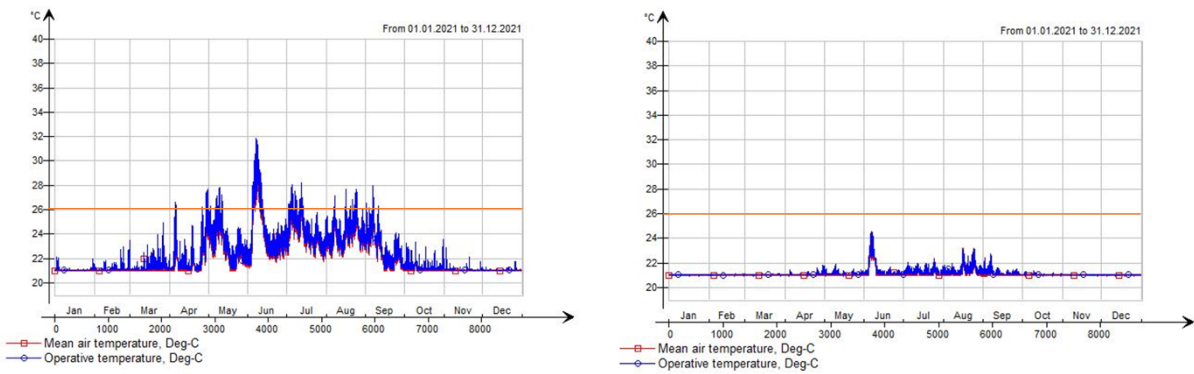


Figur 4.2.2 5 Årlig temperatur på soverom 2. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

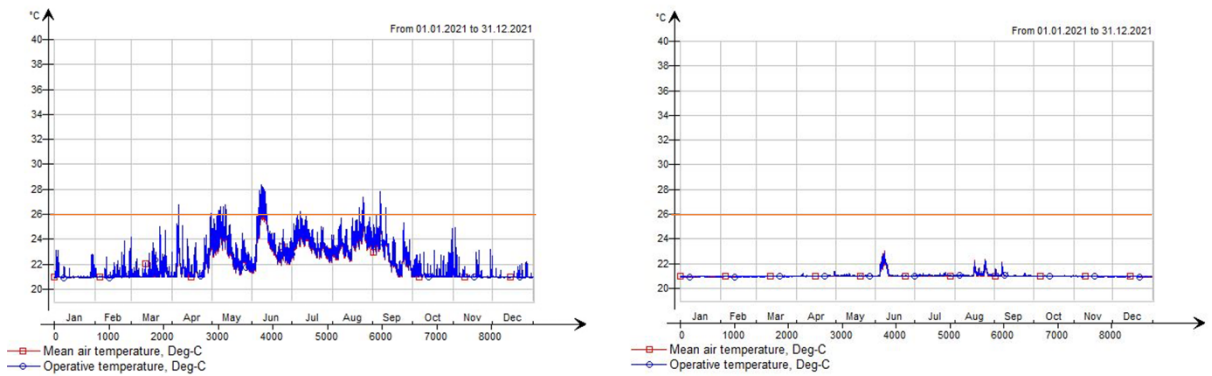
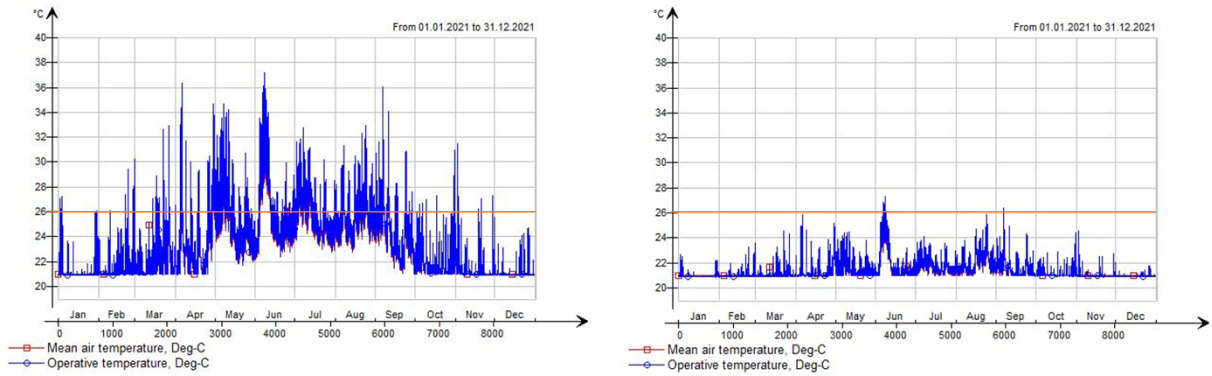


Figur 4.2.2 6 Årlig temperatur på soverom 3. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

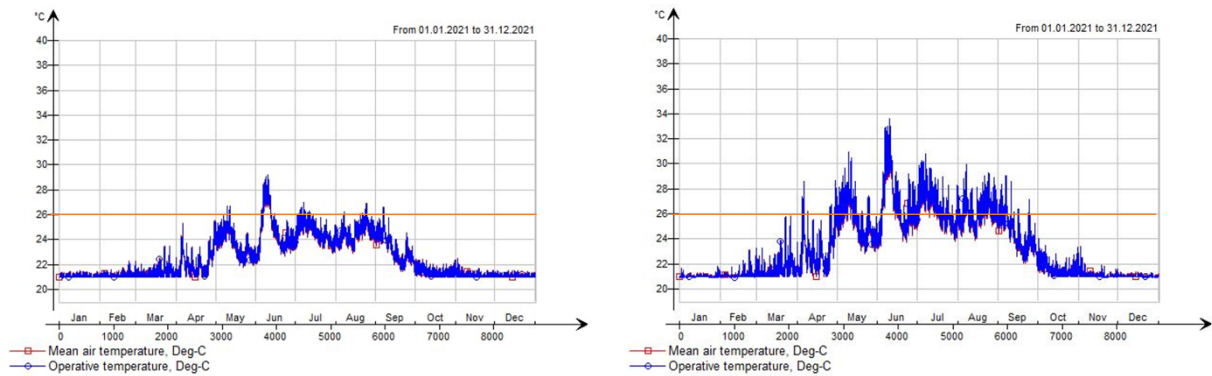
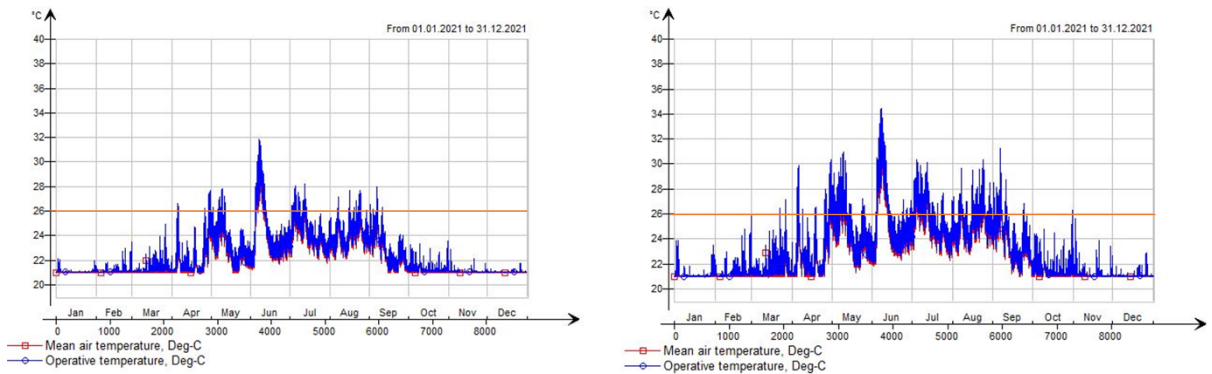
4.2.3 Simulering med utvending solskjerming

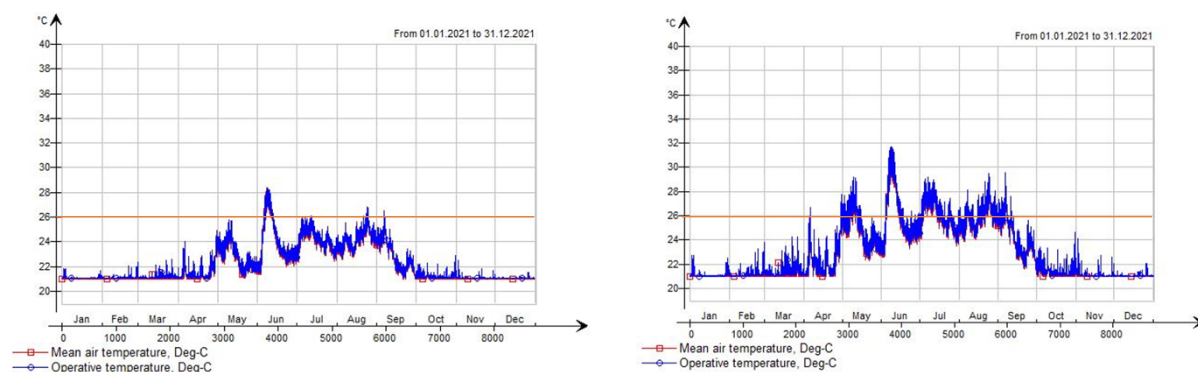


Hvilke designvalg for passivhus har størst innflytelse på inneklima?



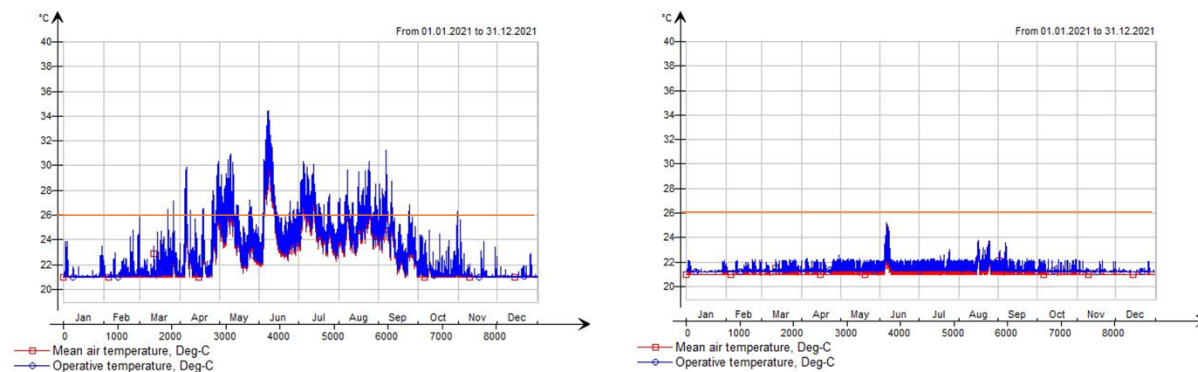
4.2.4 Simulering med moderne vindusareal



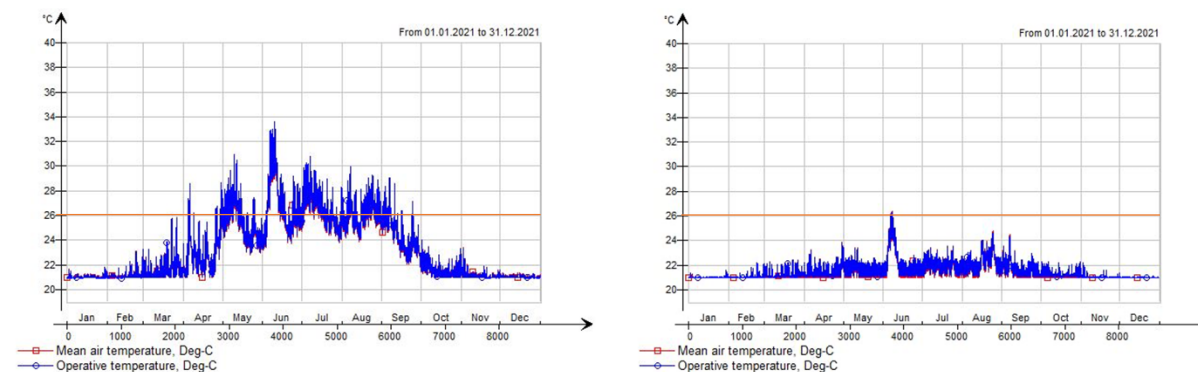


Figur 4.2.4 3 Årlig temperatur Loftstue. Opprinnelig simulering t.v., simulering med moderne vindusareal t.h.

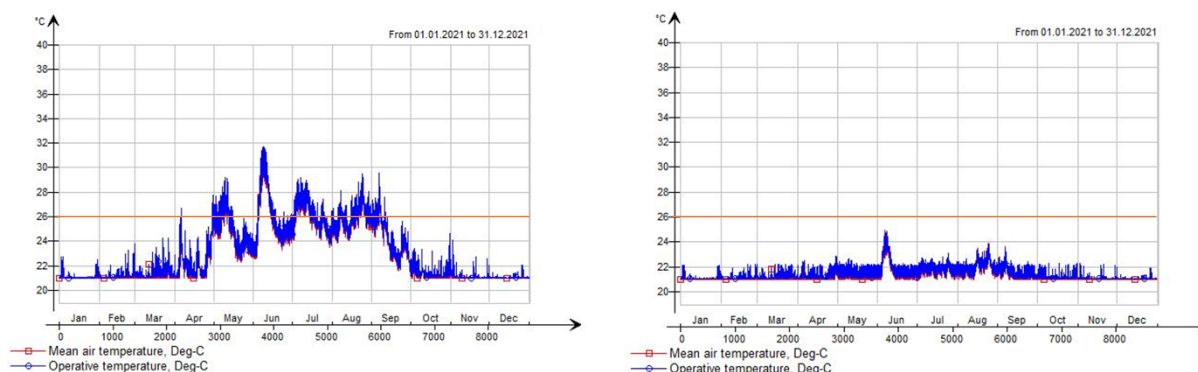
4.2.5 Tiltak ved moderne vindusareal



Figur 4.2.5 1 Årlig temperatur i tv-stue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



Figur 4.2.5 2 Årlig temperatur i kjøkken og spisestue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.



Figur 4.2.5 3 Årlig temperatur i loftstue. Simulering uten tiltak t.v., simulering med tiltak t.h.

4.2.6 Timer over 26° C for alle rom

Tabell 4.2.6 1 Årlige timer over 26°C i alle rom ved ulike tiltak. Veiledende grense på 50 timer over 26°C.

	Tv-stue	Loftstue	Kjøkken og Spisestue	Soverom 1	Soverom 2	Soverom 3
Uten tiltak	399 timer og 10 min	176 timer og 50 min	270 timer	0 timer	1416 timer og 20 min	120 timer og 50 min
Vinduslufting	0 timer	0 timer	0 timer	0 timer	2 timer og 50 min	0 timer
Multi-soner ventilasjon	67 timer og 10 min	0 timer	34 timer og 30 min	0 timer	623 timer og 40 min	18 timer og 10 min
Utvendig Solskjerming	0 timer	0 timer	0 timer	0 timer	12 timer og 50 min	0 timer
Moderne vindusareal	1152 timer og 20 min	1516 timer og 10 min	1292 timer og 10 min	-	-	-
Tiltak ved moderne vindusareal	0 timer	1 time og 40 min	0 timer	-	-	-

5 Diskusjon

5.1 Mulige feilkilder

5.1.1 Modell

Boligen valgt for oppgaven er en fiktiv bolig fra en prosjektoppgave i studiet og er dermed ikke en kalibrert modell. Dette kan påvirke resultatene da det er gjort teoretiske tilnærminger og dermed ikke kan etterprøves. For å oppnå et mer etterprøvbart resultat i forhold til simuleringene, ville bruk av en allerede eksisterende passivhusbolig vært ideell. Boligen som er brukt som utgangspunkt er også en eldre bolig som har en utforming med lite vindusareal og hvor fasadenes største areal ikke er prosjektert etter best mulig utnyttelse av passiv solenergi. Boligen har en av de største fasadene vendt mot sør og har også det største vindusarealet vendt mot denne retningen. Den har derimot et lite areal vendt mot vest, hvor det er minimalt med vindusareal. Ved å utnytte både sør og vestfasade, samt ha et større vindusareal som utgangspunkt, hadde det vært mulighet for større utnyttelse av solenergi som ville gitt høyere utslag når det kommer til romoppvarming og operasjonell temperatur.

5.1.2 Simulering

For simuleringene i SIMIEN vil mulige feilkilder ligge i at programvaren er mindre detaljert når det kommer til inndata. Et eksempel på dette er at det ikke er mulig å legge inn spesifisert ventilasjonsmengde for hver av rommene i boligen da hele huset simuleres som en sone, uten spesifisering av rom areal. Dette kan føre til avvik i resultatene for de ulike rommene.

Når det kommer til IDA ICE vil mulige feilkilder være knyttet til at det er en programvare som var ukjent for meg fra starten av prosjektet. Jeg har derfor måtte lære meg programmet underveis i arbeidet. IDA ICE er en detaljert og komplisert programvare, noe som krever mye forberedelse og veiledning fra noen som har kjennskap til programvarens funksjoner. Selv om jeg har fått god veiledning under arbeidet, har jeg grunnet begrenset veiledningstid måtte lære meg noen av funksjonene i programmet selv gjennom brukermanualer og instruksjonsvideoer fra programvareutvikleren.

5.2 Resultat

5.2.1 Omprosjektering til passivhus

Resultatene presentert i kapittel 4.1 viser at det gjennom relativt enkle tiltak som økt isolasjonsmengde i ytre konstruksjoner og himling mot kaldt loft, samt bruk av bedre U-verdi i bygningskomponenter som vindu og dører, er mulig å gjøre et lavenergihus om til en bolig etter passivhus standard. Tabell 4.1.2 viser at boligens totale varmetapstall stemmer overens med resultatet av den manuelle utregningen av det totale varmetapstallet framlagt i vedlegg 2.

5.2.2 Resultat IDA ICE

I kapittel 4.3 presenteres ulike tiltak i form av designvalg, som kan tas i bruk for å senke den operative temperaturen presentert gjennom året i oppholdsrom og soverom i boligen. Passivhusboligen har i utgangspunktet ikke høyt glassareal og det eksisterende glassarealet er jevnt fordelt over hele bygningskroppen. Unntaket er soverom 2 som har størst ansamling av vindusglass. Dette kommer også frem i resultatene hvor soverom 2 skiller seg særlig ut når det kommer til den operative temperaturen. Som illustrert i tabell 4.2.6.1 har soverom 2 overtemperatur i over 1416 timer gjennom året i simuleringene uten tiltak. Dette er svært høyt ettersom at veiledende grense ligger på 50 timer i året. Når det kommer til de resterende rommene, overskrider også disse den veiledende grensen for overtemperatur. Det eneste rommet som ikke når 26 °C er soverom 1 som ligger vendt mot nord. Soverom 2 og 3 ligger

vendt mot sør, og det er dermed forventet at disse har høyere operativ temperatur ettersom at de er mer eksponert for solvarme. Når det kommer til tiltak for de ulike rommene, har hovedfokuset vært å tilfredsstille veiledende grense for overtemperatur, samt oppnå lavere og jevnere temperatur i samsvar med studiet for brukertilfredshet presentert i kapittel 2.4 for alle rom. Soverommene i boligen, og da særlig soverom 2, ligger høyt over ønsket soveroms temperatur i henhold til EBLE.

For soverommene i boligen ligger som nevnt soverom 2 og 3 vendt mot sør, og får dermed naturlig en høyere operativ temperatur enn soverom 1. Soverom 2 har i tillegg til svært stor glassansamling også dobbel personbelastning som også bidrar til høyere temperatur. Disse faktorene gjenspeiler seg også når vi ser på resultatene av tiltakene, hvor soverom 1 og 3 responderer bedre på tiltakene enn soverom 2. Når det kommer til effektiviteten av de ulike tiltakene viser tabell 4.2.6.1 at utlufting og utvendig solskjerming har best effekt da overtemperatur på soverom 3 elimineres og reduseres betraktelig på soverom 2. Ved utvendig solskjerming oppnås også øvre grense av ønskelig operativ temperatur på 19 °C i store deler av året for soverom 1 og 3. Dette er også tiltaket som gir jevnest temperatur for rommene. For vinduslufting er det forventet en mindre jevn temperatur ettersom at den i stor grad avhenger av uforutsigbare faktorer som vind, vindretning og utetemperatur. Her vil det naturligvis være høyere temperaturer i sommermånedene da temperaturen ute er høyere. Ved bruk av multi-sone ventilasjon reduseres temperaturen noe, men det oppleves fortsatt overtemperatur på de to soverommene vendt mot sør. Dette vil dermed alene ikke være et tilstrekkelig tiltak for soverommene.

Vinduslufting og utvendig solskjerming er også de mest effektive tiltakene for de resterende oppholdsrommene ved originalt vindusareal. Her elimineres overtemperatur ved begge tiltakene. Ved simuleringene med multi-sone ventilasjon som tiltak, overskrider timer med overtemperatur for tv-stua den veiledende grensen. Timeantallet på 34,5 timer for kjøkkenet ligger også nær grensen på 50 timer. Når det kommer til den operative temperaturen oppnås en jevnere temperatur ved alle tiltak, hvor utlufting og utvendig solskjerming skiller seg ut som jevnest også her. Den operative temperaturen samsvarer også med anbefalingene gitt i tabell 2.3.1 med unntak multi-sone ventilasjon for tv-stua, samt kjøkken og spisestua som illustrert i tabell 4.2.6.1. Det termiske inneklimate når dermed et akseptabelt nivå i henhold til ønskelig temperatur fra EBLE for alle tiltak.

For simuleringer med stort vindusareal er det valgt å sette fokus på oppholdsrommene tv-stue, loftstue, samt kjøkken og spisestue. Soverommene tas ikke med i disse simuleringene da forskjellen i vindusareal allerede er illustrert i resultatet av de opprinnelige simuleringene. Figurene i kapittel 4.2.4 viser en betydelig forskjell i operativ temperatur ved økt vindusareal, særlig for kjøkken og loftstue som hadde relativt lite vindusareal i utgangspunktet. Når det kommer til overtemperatur, økes timeantallet med omtrent 1000 timer for hver av rommene ved økt vindusareal. Ettersom at det opereres med relativt høye temperaturer i store deler av året for alle de tre rommene er det valgt å kombinere tiltakene ventilasjon og solskjerming for moderne vindusprosent, ettersom at utlufting blir en utfordring da man er avhengig av en balkong eller lignende for å kunne åpne vinduet, særlig i loftstuen. Det er valgt å kombinere to tiltak da resultatene fra de opprinnelige simuleringene viser at tiltakene rundt ventilasjon ikke er tilstrekkelig alene. Alle rom responderer svært bra på det kombinerte tiltaket.

6 Konklusjon

Oppgaven har tatt en teoretisk vinkling på ombygging av lavenergihus til passivhus, og utført simuleringer for å undersøke hvordan ulike designvalg og tiltak påvirker det termiske inneklima i en passivhusbolig. For å få en mest mulig realistisk tilnærming til oppgaven er det brukt faktiske produkter fra markedet i omprosjekteringen. Omprosjekteringsdelen av oppgaven viser at ved det ved enkle tiltak som økt isolasjonstykkelse og bygningskomponenter med god U-verdi, er mulig å endre boligens kvalifisering fra lavenergihus klasse 2 til passivhus.

Når det kommer til inneklima, har passivhus tidligere ofte blitt assosiert med høye innnetemperaturer grunnet den tette bygningskroppen og det er derfor simulert for hvordan ulike designvalg og tiltak vil kunne optimalisere det termiske inneklima. Gjennom simuleringene kommer det tydelig frem at romplassering har stor innvirkning på den operasjonelle temperaturen. Dette kommer særlig frem i resultatene knyttet til soverommene i boligen da soverommene vendt mot sør har betydelig høyere temperatur enn soverommet som er vendt mot nord. Responsen av tiltak gjenspeiler seg også i plassering. For rom hvor lav operativ temperatur er ønskelig er det derfor gunstig å plassere rommet mot nord eller øst-fasade for å redusere oppvarming gjennom solinnstråling.

Et annet viktig design aspekt som har stor innvirkning på den operasjonelle temperaturen til rommene er vindusareal. Dette understrekes også særlig i soverommene i de opprinnelige simuleringene, men også gjennom simuleringene hvor vindusarealet økes. For soverom kan det derfor også anbefales å holde et lavt vindusareal tilsvarende soverom 1 og 3, da forskning som EBLE understreker at det ønskes lavere temperaturer på disse rommene. Tiltak som utlufting og utvendig solskjerming viser seg å være særlig effektiv for å redusere og jevne ut temperaturen i rom hvor det er ønskelig.

I moderne boliger hvor det er ønskelig med stort vindusareal finnes det tiltak som vil forebygge de høye operasjonelle innnetemperaturene som kan oppleves særlig om sommerhalvåret. Her viser resultatet av simuleringene at et kombinert tiltak er særlig effektivt, da enkelt tiltak kan vise seg å ikke være tilstrekkelig. Ettersom at utlufting kan være problematisk med store vindu, er utvendig solskjerming og multi-sone ventilasjon, tiltak som

effektivt bidrar til et jevnt inneklima hvor makstemperatur reduseres til et akseptabelt nivå og hvor tiltakene kan tilpasses etter forhold som temperatur og mengde solinnstråling.

6.1 Videre arbeid

For videre arbeid ville det vært interessant å studere løsninger knyttet til smarte vindu som fotokrome vindusglass, da det er et relativt lite utbredt konsept. I dagens bruk vil dette tiltaket være en kostbar løsning, men etter hvert som teknologien blir mer anvendt vil trolig prisen tilpasse seg markedet og vi vil få en større anvendelse av produktet. Når det kommer til ventilasjonsstrategi, er ikke muligheten for VAV-ventilasjon undersøkt i oppgaven. Ved bruk av behovstyrt ventilasjon kan luftmengden tilpasses de ulike rommene i større grad med tanke på både temperatur og person belastning. Det kunne også blitt utført simuleringer med ventilasjonsaggregat med kjølebatteri for å oppnå enda lavere temperatur på soverom som kan samsvare bedre med ønsket temperatur fra EBLE.

7 Referanseliste

- Brochmann, G., & Gossner, L. E. (2016, 04 29). *Morgebladet*. Hentet fra Passiv-aggressiv miljøkamp: <https://morgenbladet.no/aktuelt/2016/04/passiv-aggressiv-miljokamp> (Lest 30.03.2021)
- Bryn, I., Bjørnulf, A., Gedsø, S., & Karlsen, L. (2015). *Veileder "Glass i fasader - solskjerming"*. Erichsen og Horgen AS, Glass og Fasadeforeningen.
- Byggforskserien. (2003). *U-verdier. Tak*. Hentet fra 12 Treandel: https://www.byggforsk.no/dokument/212/471013_u-verdier_tak (Lest 21.04.2021)
- Direktoratet for byggkvalitet . (2018, 02 13). *Dette er energikravene i byggt teknisk forskrift*. Hentet fra <https://dibk.no/verktoy-og-veivisere/energi/dette-er-energikravene-i-byggt-teknisk-forskrift/> (Lest 12.03.2021)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020, 10 01). Hentet fra §13-4. Termisk inneklima: <https://dibk.no/regelverk/byggt-teknisk-forskrift-tek17/13/ii/13-4/> (Lest 12.03.2021)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020, 10 01). *Byggt teknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet fra Kapittel 14 Energi, §14-2, 1a): <https://dibk.no/regelverk/byggt-teknisk-forskrift-tek17/14/14-2/> (Lest 05.02.2021)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020). *Byggt teknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet fra §13-2 Ventilasjon i boligbygning: <https://dibk.no/regelverk/byggt-teknisk-forskrift-tek17/13/i/13-2/> (Lest 11.02.2021)
- Direktoratet for byggkvalitet. (2020, 10 01). *Byggt teknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. Hentet fra Kapittel 14 Energi, §14-2, 2: <https://dibk.no/regelverk/byggt-teknisk-forskrift-tek17/14/14-2/> (Lest 05.02.2021)
- Edwardsen, K. I., & Ramstad, T. Ø. (2018). *Håndbok 5 Trehus*. Oslo: SINTEF Akademisk forslag.
- Enova. (2011). *Hjelp til deg som skal kjøpe eller bygge passivhus*. Trondheim: Enova Hjemme.
- EQUA. (2021). *IDA Indoor Climate and Energy*. Hentet fra <https://www.equa.se/se/ida-ice> (Lest 19.03.2021)
- EQUA Simulations AB. (2013). *User Manual, IDA Indoor Climate and Energy*. Sverige.
- Espedal, K. J. (2017). Bygningsfysikk. I *Bygningsfysikk* (ss. 91-93). Oslo: Byggenæringens Forlag AS.
- Gilje. (2021). *Dører*. Hentet fra Ytterdører: <https://www.gilje.no/doerer/ytterdoerer/standard/> (Lest 14.04.2021)

- Jackon. (2020). *Jackon Super EPS*. Hentet fra <https://www.jackon.no/assets/FileUploads/Jackon-Produktsortiment-EPS-10-2020.pdf> (Lest 17.02.2021)
- Kährs. (2008). *Krav til undergulv for Kährs tregulv*. Hentet fra <https://boandren.no/content/uploads/2016/06/kahrs-Krav-til-undergulv-og-gulvvarme.pdf> (Lest 04.03.2021)
- Larsen, T. S., Jensen, R. L., & Daniels, O. (2012). *Komforthusene - Målinger og analyse af indeklima og energiforbrug i 8 passivhuse 2008-2011*. Aalborg: Aalborg Universitet.
- Norsk Standard. (2013). NS 3700:2013. I *Tabell 5* (s. 8).
- Norsk Standard. (2013). NS3700:2013. I *4.1 Varmetapstall for transmisjons- og infiltrasjonsvarmetap* (s. 5).
- Norsk Standard. (2013). *NS3700:2013*.
- Pilkington. (2021). Glassfakta. *Glassfakta 2021*. Elverum, Norge: NSG Group.
- Programbyggerne. (2016, 01 27). *Eksempel enebolig*. Hentet fra Himling/Tak: https://www.programbyggerne.no/SIMIEN/doku.php?do=search&id=eksempel_enebolig (Lest 12.04.2021)
- Programbyggerne. (2021). Hentet fra Forside: <http://www.programbyggerne.no> (Lest 11.04.2021)
- Rockwool. (2020). *Betonggulv på grunn*. Hentet fra <https://www.rockwool.no/konstruksjoner/gulv/gulv-pa-grunn/gulv-pa-grunn-med-ringmur/> (Lest 17.02.2021)
- Selvnes, E. (2017). *Thermal zoning during winter in super-insulated residential buildings*. Trondheim: NTNU.
- SINTEF byggforsk. (2017). *§1-1 Formål*. Hentet fra <https://www.byggforsk.no/dokument/1040/formaal> (Lest 31.03.2021)
- Skallevold. (2017). *Skallevold Vinduer & Dører*. Tolvsrød.
- Tekna. (2018, 12 28). *Krav til passivhus*. Hentet fra <https://www.tekna.no/fag-og-nettverk/bygg-og-anlegg/byggbloggen/krav-til-passivhus/> (Lest 23.02.2021)
- Tekna. (2019). Hentet fra Dette bør du være obs på i ditt inneklima: <https://www.tekna.no/student/studenters-inneklima-og-luftkvalitet/inneklimaets-5-faktorer/> (Lest 09.03.2021)
- Thomsen, J., Gullbrekke, L., Grynning, S., & Holme, J. (2017). *Evaluering av boliger med lavt energibehov (EBLE)*. Oslo: SINTEF akademisk forlag.

8 Vedlegg

Vedlegg 1 – Planløsning og Fasader for bolig

Vedlegg 2 – Manuell utregning av varmetapstall

Vedlegg 3 – Inndata SIMIEN

Vedlegg 4 – Personbelastning i simulering uten tiltak

Vedlegg 5 – Simulering for vindusutlufting

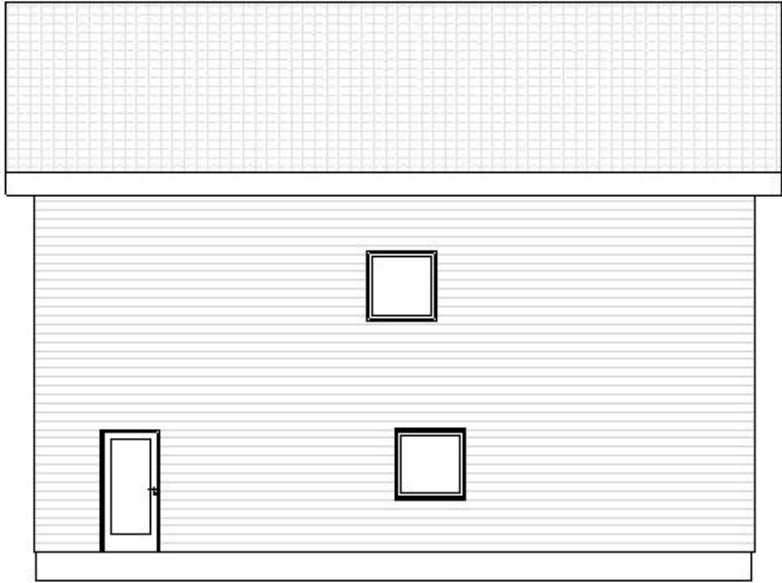
Vedlegg 6 – Illustrasjonsbilder IDA ICE

Vedlegg 7 – Koblingsdiagram for multi-soner ventilasjon

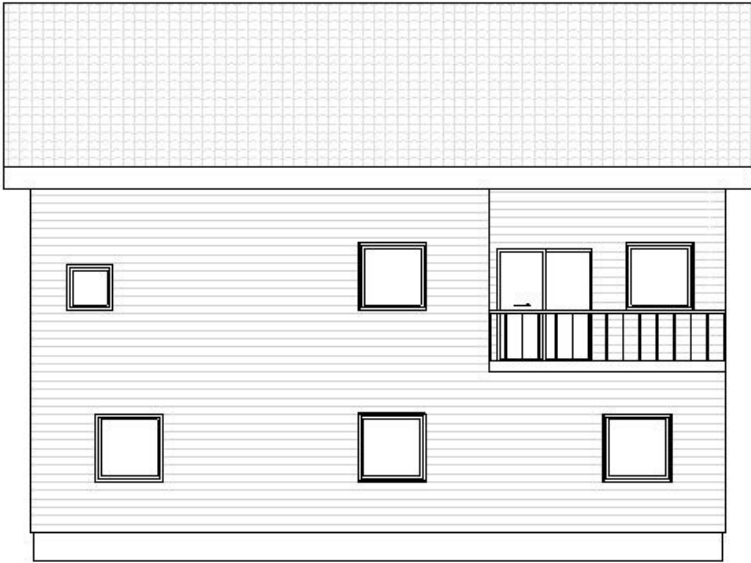
Vedlegg 8 – Kombinert tiltak med moderne vindusareal

Vedlegg 9 – Resultat av simulering uten tiltak

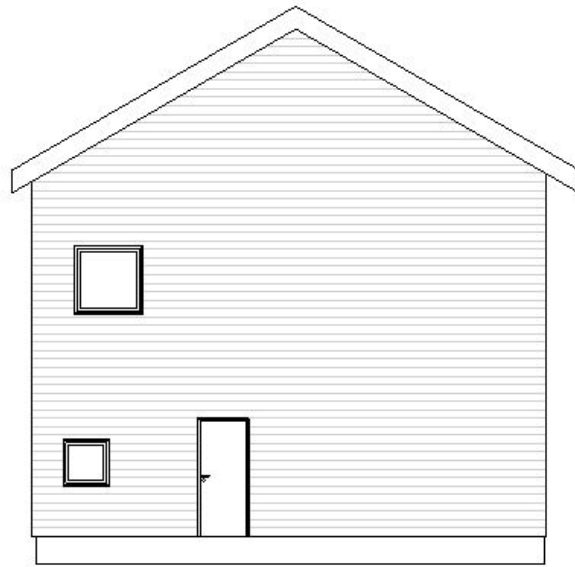
Vedlegg 1 – Planløsning og Fasader for bolig



Fasade nord



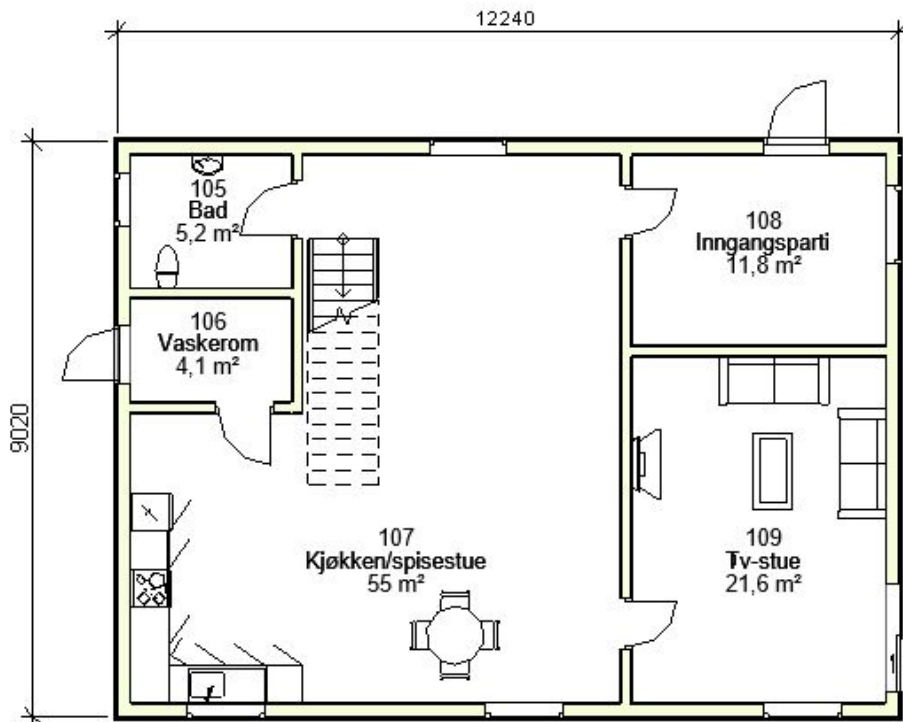
Fasade Sør



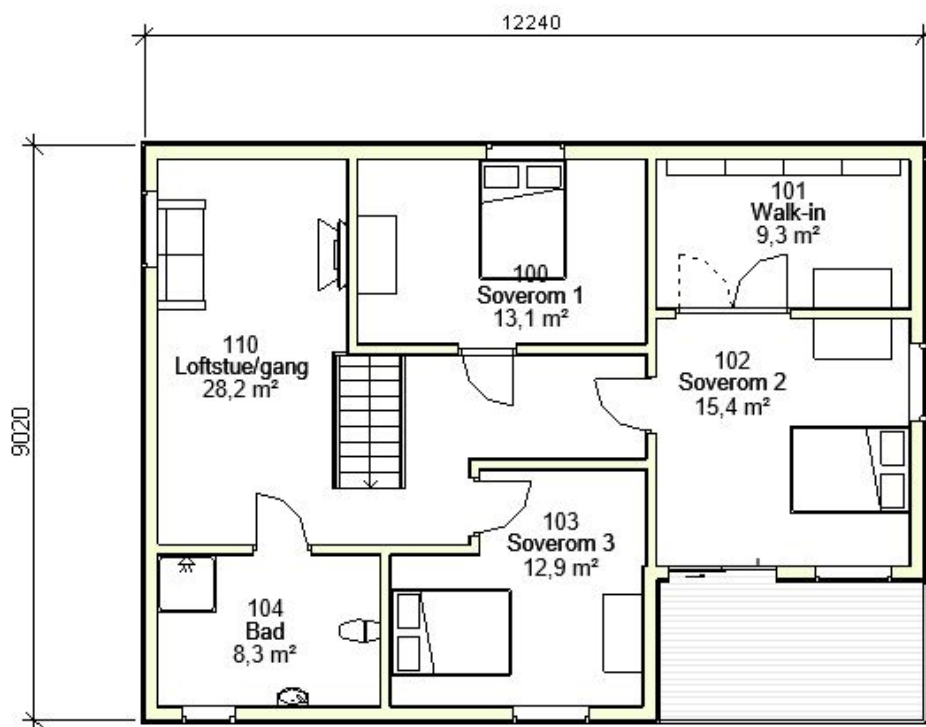
Fasade vest



Fasade øst



Planløsning første etasje



Planløsning andre etasje

Vedlegg 2 – Manuell utregning av varmetapstall

Varmetapskoeffisient for transmisjonsvarmetap, H_D

	Areal (m ²)	U-verdi (W/m ² K)	A*U (W/K)
Yttervegger	223,7	0,11	24,6
Vinduer	15,7	0,8	12,6
Terrassedører	6,8	0,8	5,4
Ytterdør	2,07	0,58	1,2
Vaskeroms dør	2,07	0,58	1,2
Yttertak	110,4	0,09	9,9
Kuldebro			3,8
Sum, H_{tr}			58,8

Kuldebroer:

$$\text{Vindu: } 15,7\text{m}^2 * 0,03 \text{ W/ m}^2\text{K} = 0,47 \text{ W/K}$$

$$\text{Dører: } 10,94 \text{ m}^2 * 0,03 \text{ W/ m}^2\text{K} = 0,33 \text{ W/K}$$

$$\text{Gulv mot grunn: } 101,5 \text{ m}^2 * 0,03 \text{ W/ m}^2\text{K} = 3,05 \text{ W/K}$$

$$\text{Total kuldebro: } 3,8 \text{ W/K}$$

Transmisjonsvarmetap til det fri = 58,8 W/K

Varmetapskoeffisient for infiltrasjon

For varmetapskoeffisienten består likningen av faktoren n_{inf} . Denne faktoren beregnes etter likning 2.2.4. Lekkasjetallet n_{50} settes utfra tabell 2.2.1 og settes lik $0,60 \text{ h}^{-1}$.

Terrenskoeffisienten e er satt lik $0,04$ utfra tabell 4.3.4 i boka *Bygningsfysikk* (Espedal, 2018).

$$n_{inf} = 0,6 * 0,04 = 0,024 \text{ h}^{-1}$$

$$H_{inf} = 0,33 * 0,024 \text{ h}^{-1} * 540 \text{ m}^3 = 4,28 \text{ W/K}$$

Utfra likning 2.2.3 er varmetapskoeffisienten for infiltrasjon dermed beregnet lik $4,28 \text{ W/K}$.

Varmetapskoeffisient for ventilasjon

Virkningsgraden settes lik 82% for å tilfredsstille kravene gitt i tabell 2.2.1.

$$H_v = 0,33 * 245 \text{ m}^3/\text{h} * (100\% - 82\%) = 14,55 \text{ W/K}$$

Varmetapskoeffisienten for ventilasjon blir dermed beregnet til 14,55 W/K etter likning 2.2.5.

Varmetapskoeffisient til uoppvarmede soner

Uoppvarmet sone i boligen er kaldt loft. Ettersom at b faktor er lik 0,93 multipliseres dette med resultatet av likning 2.2.2.

$$H_u = 0,08 \text{ W/ m}^2\text{K} * 93 \text{ m}^2 = 7,44 \text{ W/K}$$

$$0,93 * 7,44 \text{ W/K} = 6,92 \text{ W/K}$$

Varmetapskoeffisienten til uoppvarmede soner blir dermed beregnet til 6,92 W/K.

Varmetapstall

$$H_{tr,inf} = (58,8 + 4,28 + 6,92) \text{ W/K} = 70 \text{ W/K}$$

Etter likning 2.2.6 beregnes det totale varmetapstallet til passivhus boligen til 0,36 W/m²K.

Om vi ser på kravet til høyest tillatt varmetapstall for passivhus boliger gitt i tabell 2.2.2 oppfyller vi dermed kravet gitt for området $100 \text{ m}^2 > A_{fl} < 250 \text{ m}^2$, som er satt til 0,48 W/m²K.

Vedlegg 3 – Inndata SIMIEN

Inndata bygning	
Beskrivelse	Verdi
Bygningskategori	Småhus
Simuleringsansvarlig	Sandra Olsen
Kommentar	

Inndata klima	
Beskrivelse	Verdi
Klimasted	Sola
Breddegrad	58° 30'
Lengdegrad	5° 22'
Tidssone	GMT + 1
Årsmiddeltemperatur	7,4 °C
Midlere solstråling horisontal flate	87 W/m ²
Midlere vindhastighet	4,4 m/s

Inndata energiforsyning	
Beskrivelse	Verdi
1a Direkte el.	Systemvirkningsgrad romoppv,: 0,81 Systemvirkningsgrad varmtvann: 0,98 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 0,88 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO ₂ -utslipp: 130 g/kWh Andel romoppvarming: 25,0% Andel oppv, tappevann: 50,0% Andel varmebatteri: 100,0 % Andel kjølebatteri: 100,0 % Andel romkjøling: 100,0 % Andel el, spesifikt: 100,0 %
1b El. til varmepumpesystem	Systemvirkningsgrad romoppv,: 2,12 Systemvirkningsgrad varmtvann: 1,50 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 2,30 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO ₂ -utslipp: 130 g/kWh Andel romoppvarming: 75,0% Andel oppv, tappevann: 0,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %
1c El. til solfangersystem	Systemvirkningsgrad romoppv,: 50,76 Systemvirkningsgrad varmtvann: 12,00 Systemvirkningsgrad varmebatterier: 55,27 Kjølefaktor romkjøling: 2,50 Kjølefaktor kjølebatterier: 2,50 Energipris: 0,80 kr/kWh CO ₂ -utslipp: 130 g/kWh Andel romoppvarming: 0,0% Andel oppv, tappevann: 50,0% Andel varmebatteri: 0,0 % Andel kjølebatteri: 0,0 % Andel romkjøling: 0,0 % Andel el, spesifikt: 0,0 %

Inndata ekspertverdier	
Beskrivelse	Verdi
Konvektiv andel varmetilskudd belysning	0,30
Konvektiv andel varmetilsk. teknisk utstyr	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd personer	0,50
Konvektiv andel varmetilskudd sol	0,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. vegger	2,50
Konvektiv varmoverføringskoeff. himling	2,00
Konvektiv varmoverføringskoeff. gulv	3,00
Bypassfaktor kjølebatteri	0,25
Innv. varmemotstand på vinduruter	0,13
Midlere lufthastighet romluft	0,15
Turbulensintensitet romluft	25,00
Avstand fra vindu	0,60
Termisk konduktivitet akk. sjikt [W/m²K]:	20,00

Inndata rom/sone	
Beskrivelse	Verdi
Oppvarmet gulvareal	194,9 m ²
Oppvarmet luftvolum	540,0 m ³
Normalisert kuldebroverdi	0,03 W/(m²K)
Varmekapasitet møbler/interiør	2,0 Wh/m ² (Lett møblert rom)
Lekkasjetall (luftskifte v. 50pa)	0,60 ach
Skjerming i terrenget	Moderat skjerming
Fasadesituasjon	Flere eksponerte fasader
Driftsdager i Januar	31
Driftsdager i Februar	28
Driftsdager i Mars	31
Driftsdager i April	30
Driftsdager i Mai	31
Driftsdager i Juni	30
Driftsdager i Juli	31
Driftsdager i August	31
Driftsdager i September	30
Driftsdager i Oktober	31
Driftsdager i November	30
Driftsdager i Desember	31

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Nord (fasade)
Totalt areal	68,6 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	0°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m²K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,10 W/m²K

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Ytterdør (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,3 m ²
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 0,58 W/m²K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	120x120 Vindu (Vindu(er) på Fasade Nord)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	1,20 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Sør (fasade)
Totalt areal	56,0 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	180°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	120x120 Vindu (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	5
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	1,20 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	80x80 Vindu (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,80 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	1700x2000 mm (Vindu(er) på Fasade Sør)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	2,00 m
Bredde vindu(er)	1,70 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Vest (fasade)
Totalt areal	49,9 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	270°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m ² K

Inndata ytterdør	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Ytterdør (ytterdør)
Areal inkl. karm/ramme	2,3 m ²
Dørtype	Egendefinert Uverdi: 0,58 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	120x120 Vindu (Vindu(er) på Fasade Vest)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	1,20 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	80x80 Vindu (Vindu(er) på Fasade Vest)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	0,80 m
Bredde vindu(er)	0,80 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata fasade/yttervegg	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Fasade Øst (fasade)
Totalt areal	49,2 m ²
Retning (0=Nord, 180=Sør)	90°
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,11 W/m ² K

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	120 x120 Vindu (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	2
Høyde vindu(er)	1,20 m
Bredde vindu(er)	1,20 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata vinduselement	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	1700x2000 mm (Vindu(er) på Fasade Øst)
Antall vinduer	1
Høyde vindu(er)	2,00 m
Bredde vindu(er)	1,70 m
Karm-/ramme faktor	0,20
Total U-verdi (rute+karm/rammekonstr.)	0,80 W/m ² K
Konstant (fast) solskjerming	Egendefinert Total solfaktor: 0,53

Inndata gulv mot friluft/kryprom/grunn	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv mot grunn (gulv)
Oppvarmet gulvareal	101,5 m ²
Gulvtype	Gulv på grunn
Utvendig omkrets	42,50 m
Tykkelse grunnmur	0,30 m
Grunnforhold	Sand/grus Varmekapasitet: 556 Wh/m ³ K Varmeledningsevne: 2,00 W/mK
Ekstra kantisolering	Nei
Innv. akk. sjikt gulv	Parkett (14 mm) + betong Varmekapasitet 41,0 Wh/m ² K
Gulvkonstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,08 W/m ² K

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling mot kaldt loft (skillekonstruksjon)
Totalt areal	93,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Konstruksjon	Egendefinert Uverdi: 0,08 W/m ² K
Vendt mot annen sone	Uoppvarmet loftsrom/ventilert kaldt loft Varmetapsfaktor: 0,93

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Skillevegger (skillekonstruksjon)
Totalt areal	10,0 m ²
Konstruksjonstype	Vegg
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Himling 1.etg (skillekonstruksjon)
Totalt areal	90,0 m ²
Konstruksjonstype	Tak
Innv. akkumulerende sjikt	Gipsplate 13 mm Varmekapasitet 2,4 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata skillekonstruksjon	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Gulv 2. etg (skillekonstruksjon)
Totalt areal	90,0 m ²
Konstruksjonstype	Gulv
Innv. akkumulerende sjikt	Parkett (14 mm) + 22 mm sponplate Varmekapasitet 11,2 Wh/m ² K
Vendt mot annen sone	Sone med lik temperatur

Inndata CAV	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Balansert ventilasjon (CAV ventilasjon)
Ventilasjonstype	Balansert ventilasjon
Driftstid	24:00 timer drift pr døgn
Luftmengde	I driftstiden: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ² Utenfor driftstiden: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ² Helg/feridag: tilluft = 1.2 m ³ /hm ² , avtrekk = 1.2 m ³ /hm ²
Tilluftstemperatur	16.0 °C
Varmebatteri	Ja Maks. kapasitet: 30 W/m ²
Vannbåren distribusjon til varmebatteri	Delta-T: 30.0 °C SPP: 0.5 kW/(l/s)
Kjølebatteri	Nei
Varmegjenvinner	Ja, temperaturvirkningsgrad: 0.82
Vifter	Plassering tilluftsvifte: Etter gjenvinner Plassering avtrekksvifte: Etter gjenvinner
SFP-faktor vifter	1.50 kW/m ³ /s

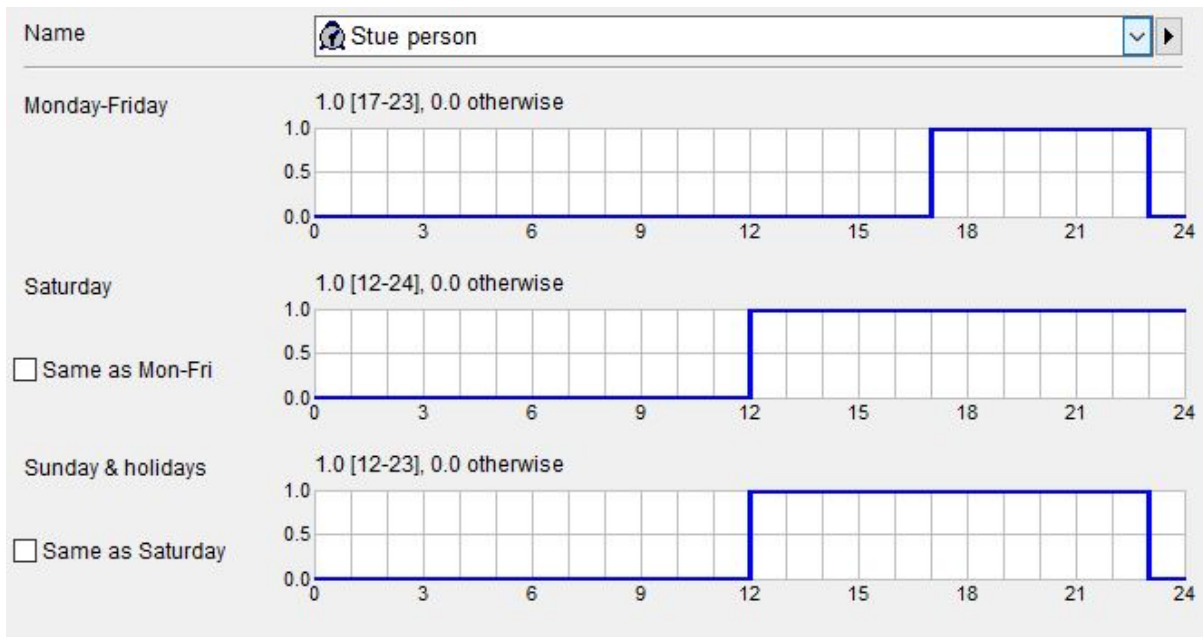
Inndata belysning	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, belysning)
Effekt/Varmetilskudd belysning	I driftstiden; Effekt: 2,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 100 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata teknisk utstyr (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, teknisk utstyr)
Effekt/Varmetilskudd teknisk utstyr	I driftstiden; Effekt: 1,8 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Utenfor driftstiden; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % På helg/feriedager; Effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 60 % Antall timer drift pr døgn: 16:00

Inndata oppvarming av tappevann	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, tappevann)
Tappevann	Driftsdag; Midlere effekt: 3,4 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; Vanndamp: 0,0 g/m ² Helg/feriedag; Midlere effekt: 0,0 W/m ² ; Varmetilskudd: 0 %; ; Vanndamp: 0,0 g/m ²

Inndata varmetilskudd personer (internlast)	
Beskrivelse	Verdi
Navn:	Internlaster (internlaster, varmetilskudd personer)
Varmetilskudd personer	I arbeidstiden: 1,5 W/m ² Utenfor arbeidstiden: 0,0 W/m ² Ferie/helgedager: 0,0 W/m ² Antall arbeidstimer: 24:00

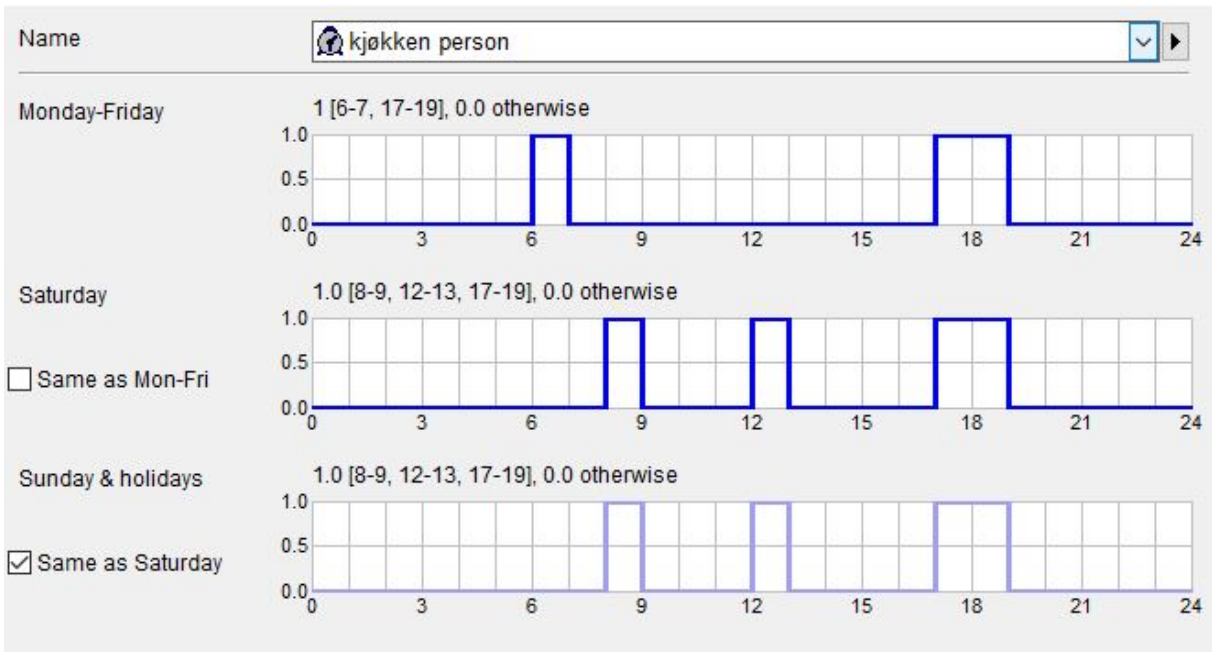
Vedlegg 4 – Personbelastning i simulering uten tiltak



Timeplan for personbelastning tv-stue

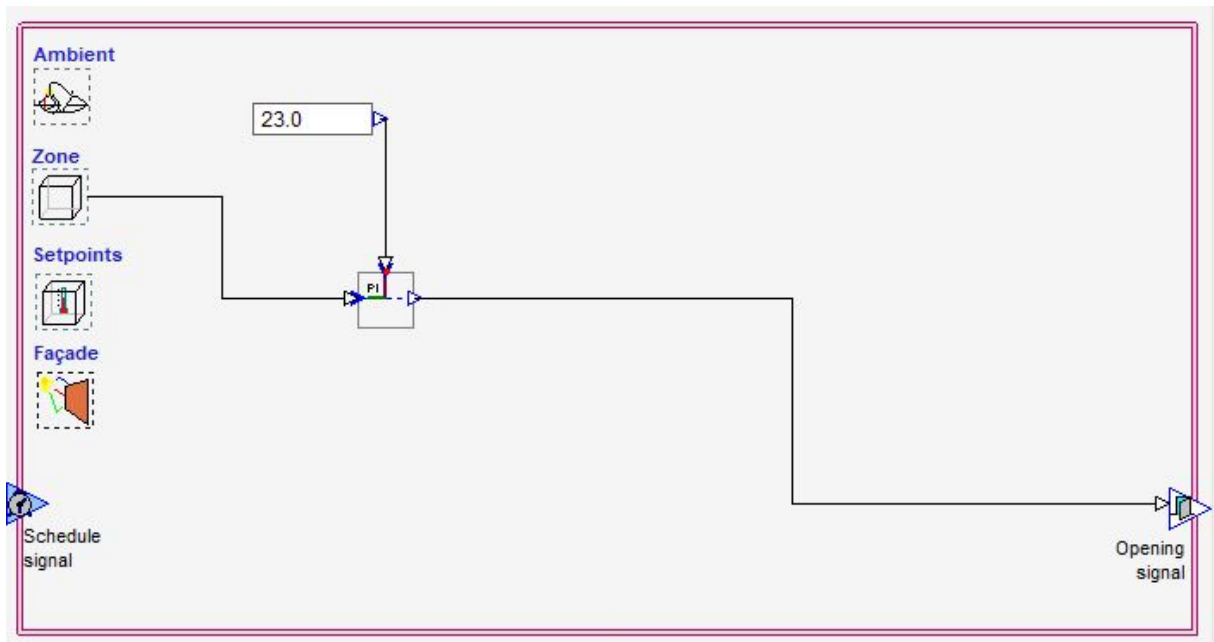


Timeplan for personbelastning soverom



Timeplan for personbelastning kjøkken og spisestue

Vedlegg 5 – Simulering for vindusutlufting



Koblingsdiagram for vinduslufting tv-stue

Name:

Rules:

```
from 1 May to 31 Aug Weekends & Holidays: 1
[no valid weekdays]: 1.0 [12-24], 0.0 otherwise
All days: 1.0 [17-23], 0.0 otherwise
```

Data for selected rule:

Daily schedule

Valid days

Mon Wed Fri Sun
 Tue Thu Sat

Holidays

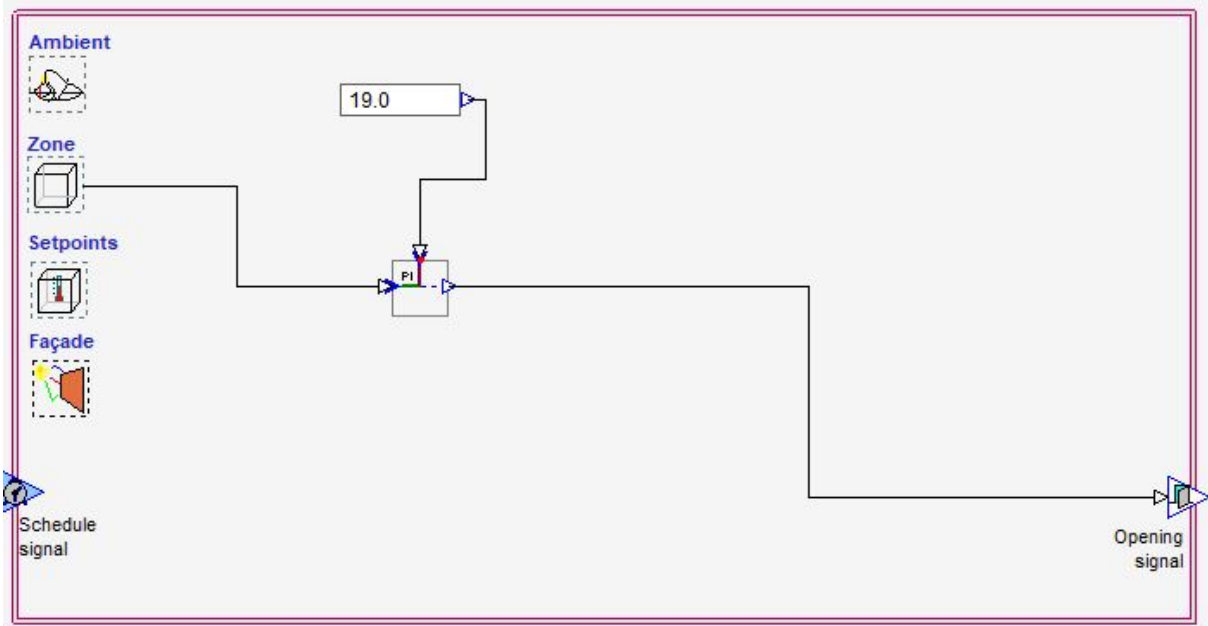
Start date:

End date:

Rule description:

Schedule description:

Tidsplan for vindusutlufting tv-stue



Koblingsdiagram for vinduslufting soverom

Name:

Rules:

```

from 1 May to 31 Aug Weekends & Holidays: 1.0 (rule-3)
from 1 May to 31 Aug Workdays: 0 [6-17], 1.0 otherwise (rule-2)
All days: 0
  
```

Data for selected rule:

Daily schedule

Valid days: Mon Wed Fri Sun Tue Thu Sat Holidays

Start date:

End date:

Rule description:

Schedule description:

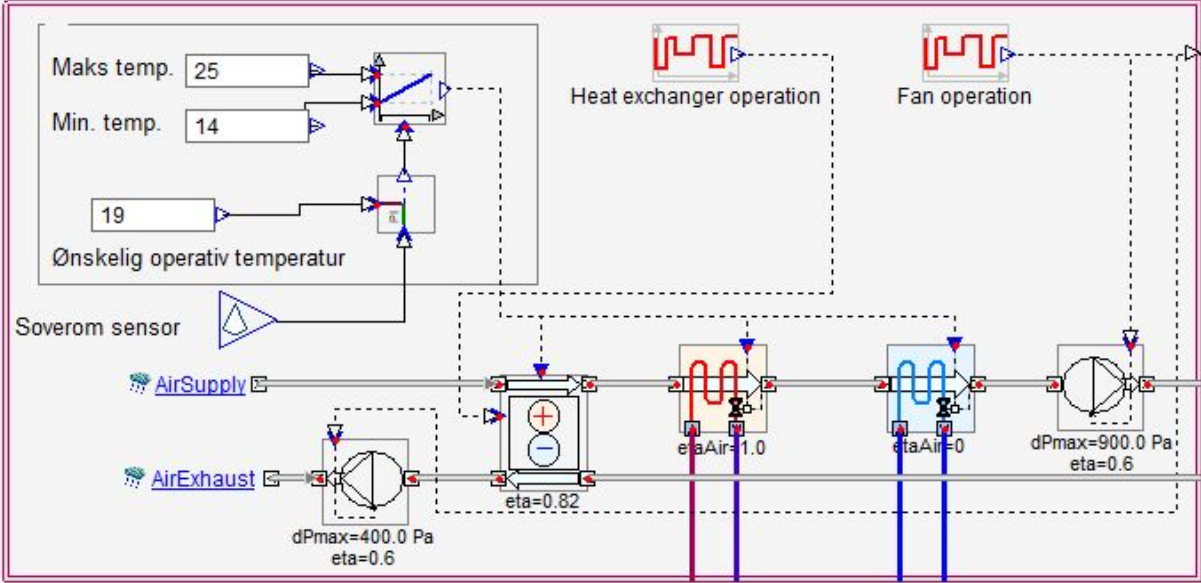
Tidsplan for vindusutlufting soverom

Vedlegg 6 – Illustrasjonsbilder IDA ICE

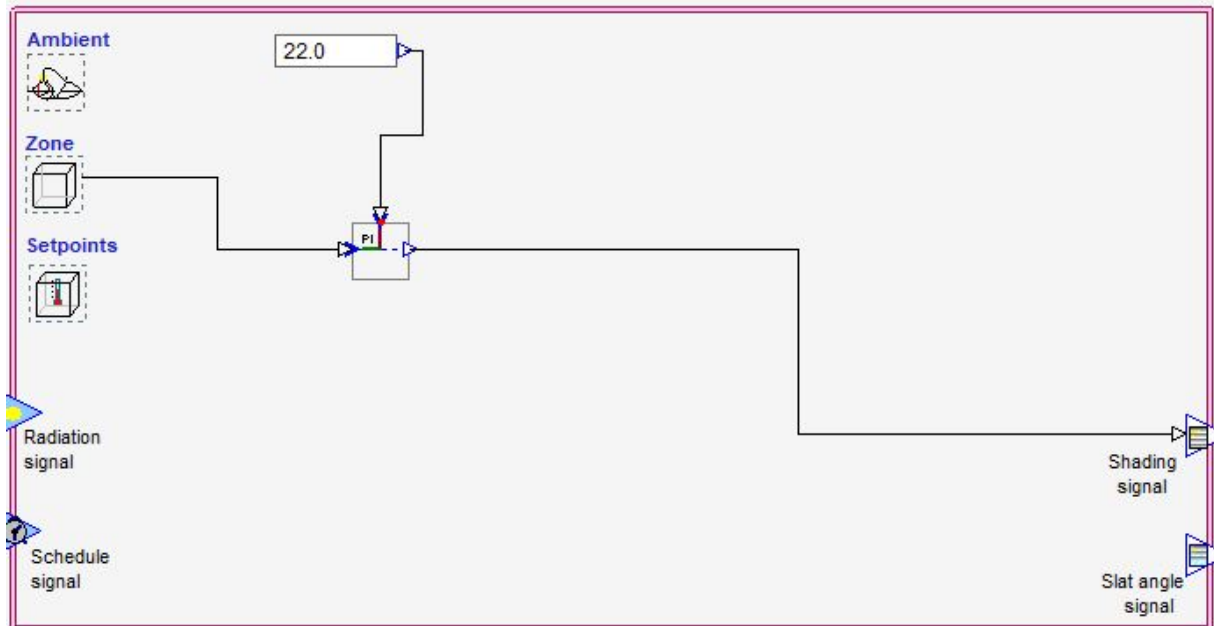


Illustrasjon av bolig i IDA ICE

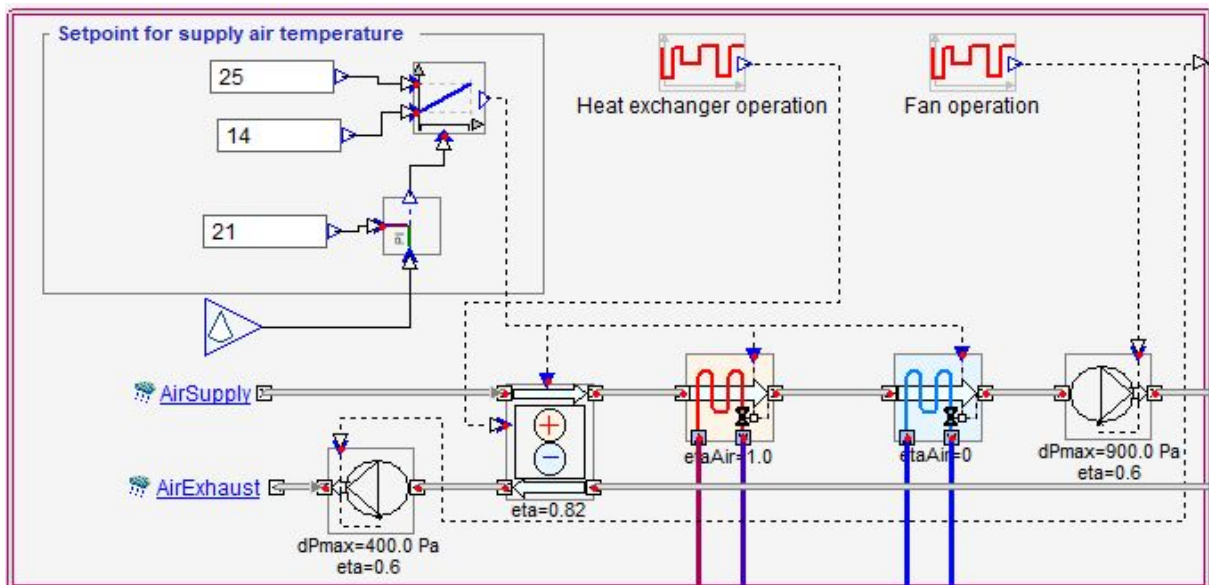
Vedlegg 7 – Koblingsdiagram for multi-sone ventilasjon



Vedlegg 8 – Kombinert tiltak med moderne vindusareal

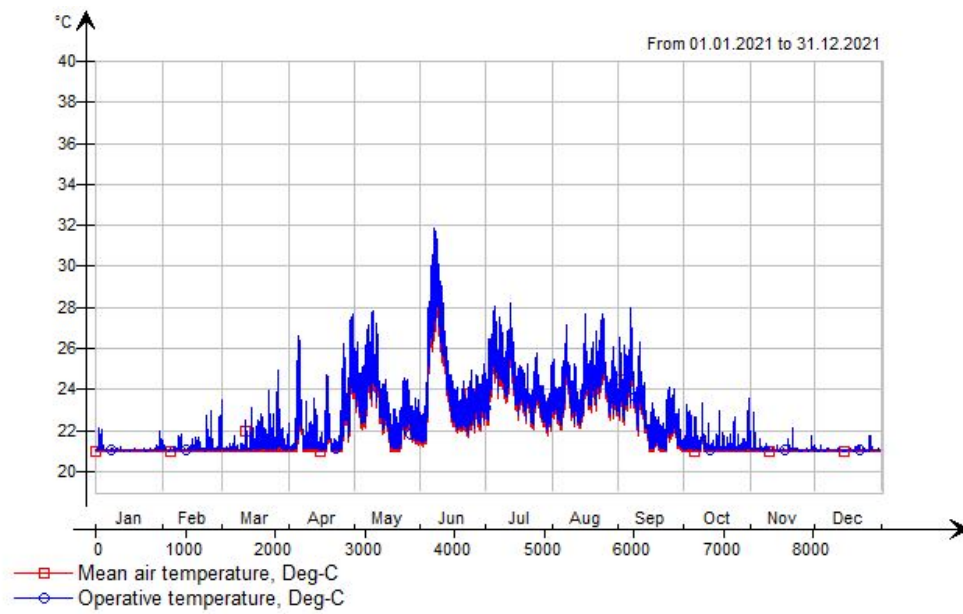


Koblingsdiagram for solskjerming

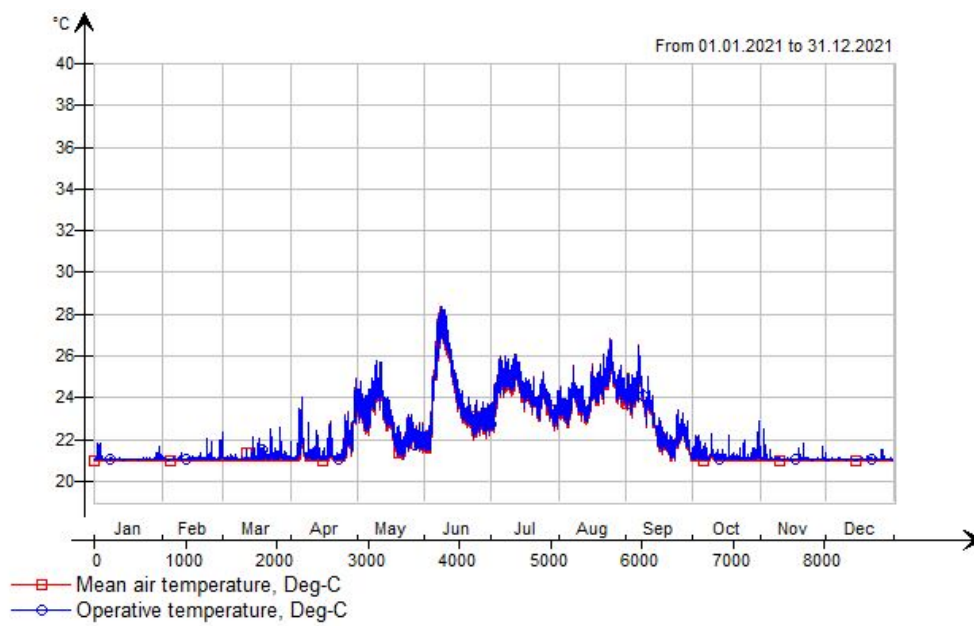


Koblingsdiagram for ventilasjon

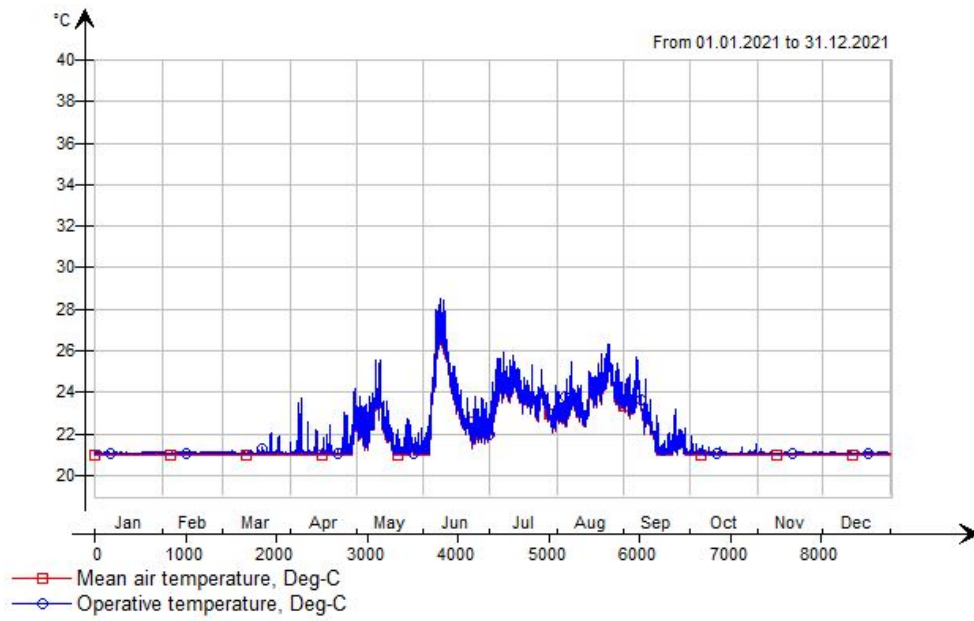
Vedlegg 9 – Resultat av simulering uten tiltak



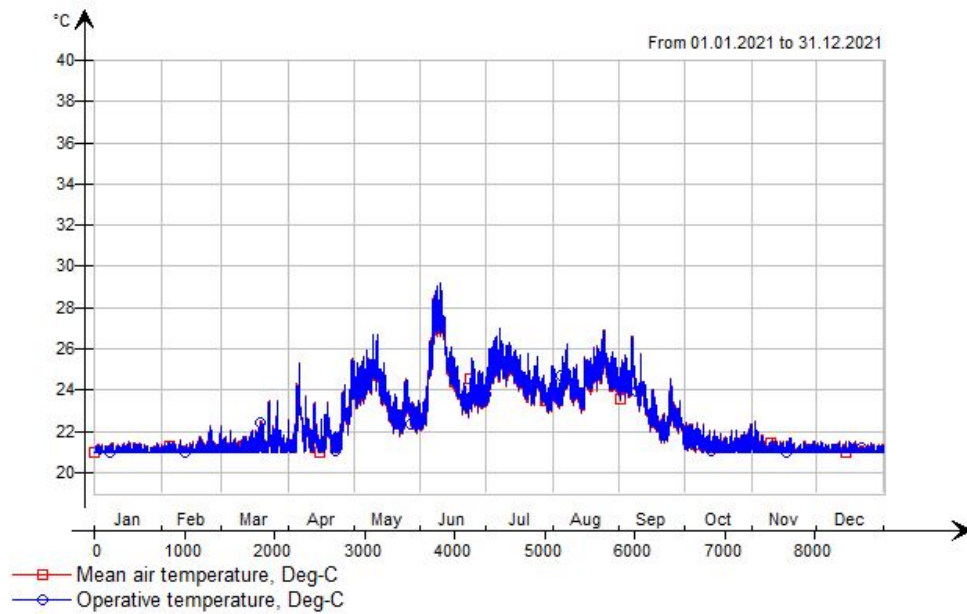
Årlig temperatur i tv stue



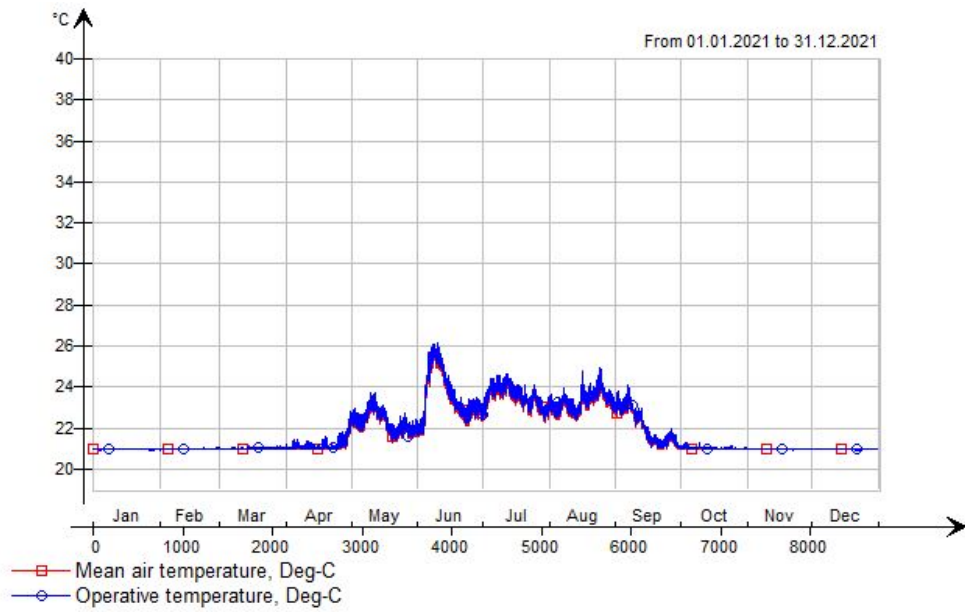
Årlig temperatur på kjøkken og spisestue



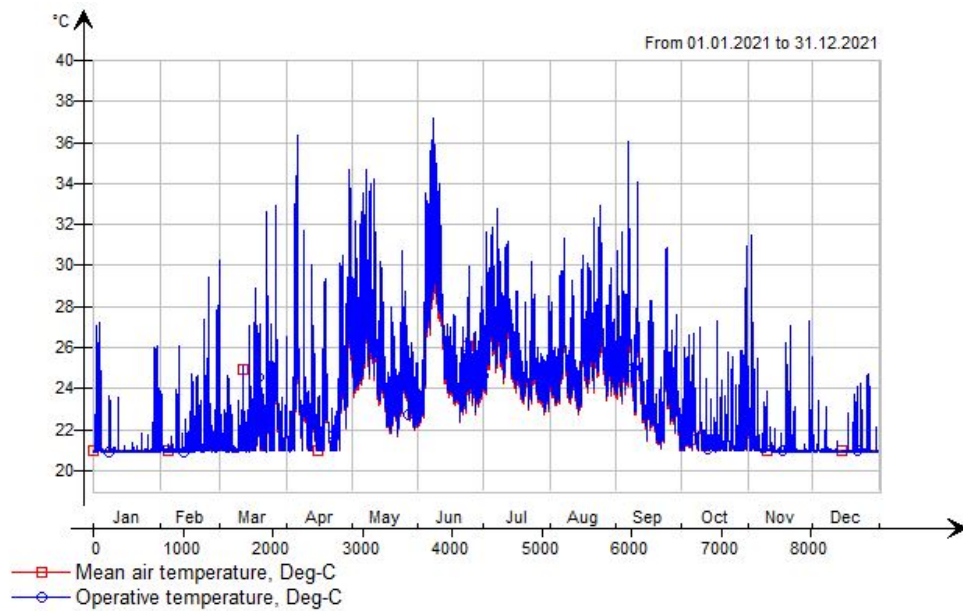
Årlig temperatur på bad nede



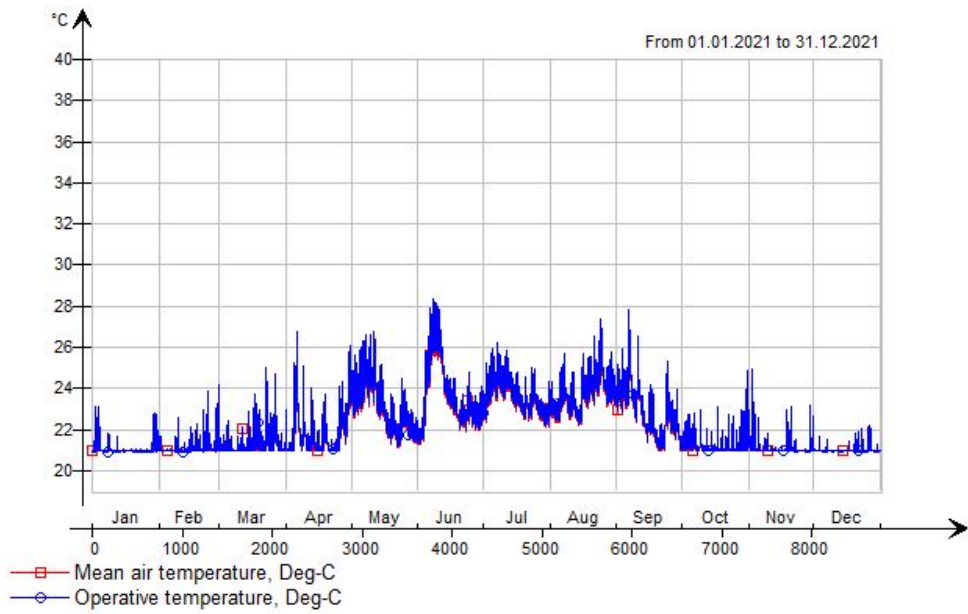
Årlig temperatur i loftstue



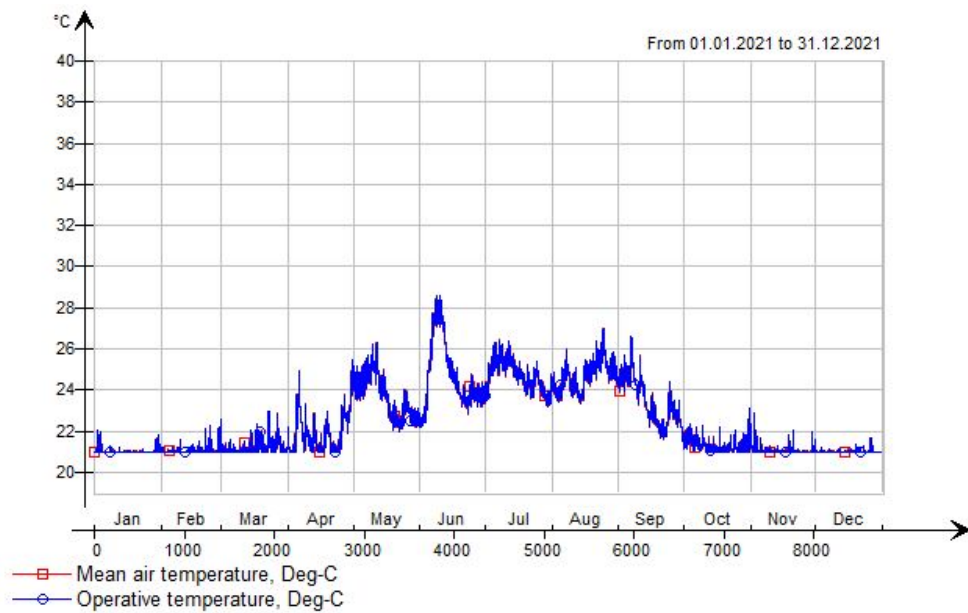
Årlig temperatur på soverom 1



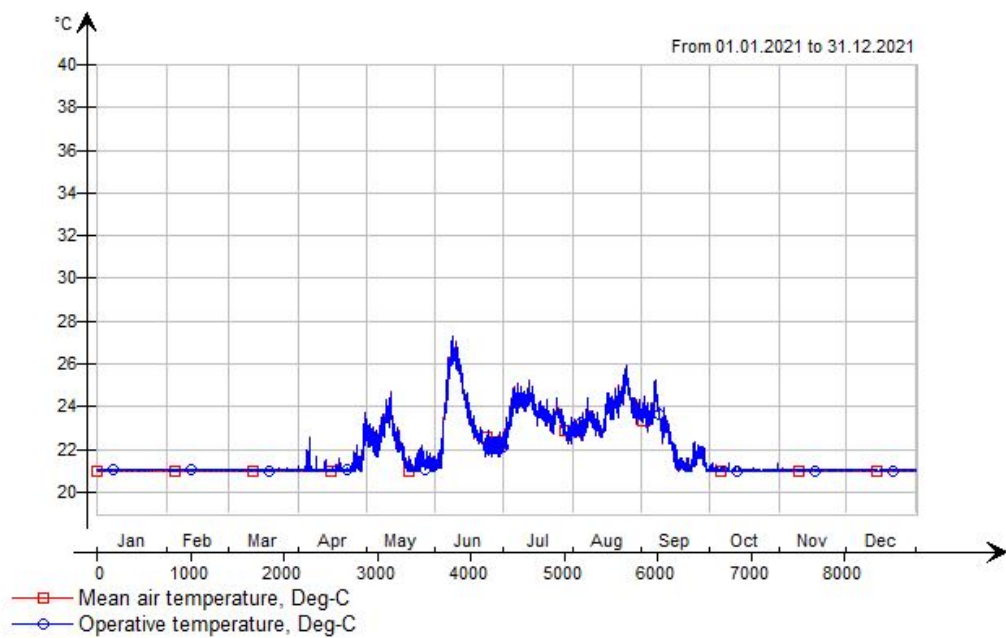
Årlig temperatur på soverom 2



Årlig temperatur på soverom 3



Årlig temperatur på bad oppe



Årlig temperatur på vaskerom