





# I Forord

Jeg har valgt å skrive min master oppgave om boliger Herat, en by i nordvestlige delen av Afghanistan. Grunnen til det er at jeg mener vi skal bygge flere bærekraftige bygg og gjøre oss mindre avhengig av fossilt energi. Uansett om vi er i Norge eller i Afghanistan, må vi alltid tenke på økonomisk gevinst, økologisk balanse og sosialt ansvar når vi bygger en bygning. I Norge lærer vi å bygge energieffektive bygg, fordi vi vil være miljøbevisst og bruke mindre fossilt energi. I Afghanistan derimot har spørsmålet om å være miljøbevisst, lite å si når innbyggernes hovedproblem er mangel på energi (antar at det er bare fossilt energi som man kan få levert). Så det å bygge energieffektive bygg er et felles mål for både Norge og Afghanistan.

I løpet av studietiden min her på NMBU, har jeg blant annet lært om hva som må til for at bygningen skal være energieffektive. Vi vet at fysikkens lover er det samme uansett hvor en befinner seg og det er bare klimapåkjenninger som varierer avhengig av den geografiske posisjonen. Derfor burde alle land ha en lik standard slik at vi får en globalisering av byggemåter. Hvis jeg kunne bruke det jeg har lært til å bidra til å gjøre boliger i Afghanistan mer energieffektive, bli jeg veldig stolt. Ikke bare fordi jeg er en afghaner, men fordi jeg har hjulpet andre å bygge mer bærekraftig og energieffektive bygg og dermed bidra til mindre bruk av fossilt energi og det at jeg velger Afghanistan er fordi Afghanistan et land som trenger mest hjelp til heve standarden til boliger og dermed øke levevilkåret til innbyggerne.

De fleste bygg i Norge har et eller annet form for isolasjon, og vi trenger å gjøre litt ekstra for å gjøre bygningene mer energieffektive, men i Afghanistan er det motsatt. Det vil si at de fleste bygg er uisolerte og bygget etter eldre standard. Krig og uro i Afghanistan har ført til at myndighetene ikke klarte opprettholde krav og holde oversikt over hva folk egentlig bygger og dermed har folk bygget uten å tenke på energieffektivitet og heller fokusere på kostnadseffektive bygg. Gjennom denne oppgaven skal jeg se muligheten vi har til å gjøre et murverksbygg bedre isolert og finne et forslag til endring av teknikken. Denne oppgaven kan brukes når en skal vurdere å rehabilitere sin murverksbygg.

Til slutt vil takke min veileder Tormod Aurlien for all hjelp med masteroppgaven.

Desember 2014 - Ås, Norge

## II Sammendrag

Det er to kriterier som har vært viktig for meg når jeg skulle skrive denne oppgaven. Det første er å klargjøre hvor godt murverksbygninger i Herat er beskyttet mot ytre klimapåkjenninger og hvordan termisk inneklima påvirkes av egenskapene til bygningens klimaskjerm.

For å finne hvor godt en bygning er beskyttet mot ytre klimapåkjenninger, kan vi se på energibehovet til oppvarming og nedkjøling gjennom et helt år. Dette energibehovet er avhengig av varmetap og varmetilskudd hhv. fra og til boligen.

Varmetapet til er avhengig av temperaturforskjellen mellom ute og inne, oppvarmet volum og motstandsevnen til konstruksjonsdelene. Varmetilskudd er også avhengig av disse faktorene, men i tillegg er det også avhengig av solforhold. Temperaturforskjellen mellom inne og ute er størst om de kaldeste dagene i vinter og det er derfor er det å ha varmt om vinter mye viktigere enn å ha det kald om sommer. Når vi dimensjonerer et bygg, er den største temperaturforskjellen som vi bruker. I tillegg er det viktig at vi bruker passive tiltak som f.eks. plassering av vindu og solskjerming.

Termisk inneklima er fysiske faktorer i inneklimaet som har innflytelse på vår termiske komfort. Disse faktorene er lufttemperatur, overflatetemperatur, lufthastighet og luftfuktighet. De to første faktorene er avhengig av hvordan klimaskjermen er oppbygd og hvor godt den isolerer mot ytre klimapåkjenninger, mens de to andre er avhengig av ventilasjonssystemet og aktivitet inne. Hvis en av disse faktorene er for dårlig kan vi føle ubehag og dermed være misfornøyd med inneklimaet.

Nå skal en bygge passivhus, er det energibruken til bygget og hvor denne energien kommer fra som er overordnede kriterier. Når det gjelder første kriteriet fins ikke bestemte krav til hvor stor dette energibehovet skal være i Afghanistan, men hvis vi klarer etterisolere et bygg og dermed redusere energibehovet til et nivå hvor både beboerne og myndighetene blir fornøyde, har vi kanskje funnet en øvre grense til energibehovet til et energieffektivt bygg. Denne grensen kan videre bearbeides og brukes til å definere krav til energibehov i et passivhus i Afghanistan. Første kriteriet er også avhengig temperaturforskjell mellom ute og inne. Denne temperaturforskjellen er større i Norge om vinter, mens den er større i Afghanistan om sommer. Andre kriteriet handler om sette krav til maksimalt mengde levert

elektrisk og fossil energi. Dette kan vi nå ved å bruke andre alternativer til elektriske og fossil energi som for eks. solenergi. Mengden solenergi som avhenger av breddegraden og gjennomsnittlig solskinnstid pr. dag for et sted. Oslo har breddegraden  $59,91^{\circ}$  N, mens Herat har en breddegrad på  $34,20^{\circ}$  N. Dette betyr at solstråling i Oslo har mindre energi pr. areal enn solstråling i Herat. Oslo har i gjennomsnitt kortere solskinnstid enn Herat p. g. a. luftfuktighet og høy mengde nedbør.

Hvis vi skal bygge to bygninger med lik oppvarmet areal, en i Oslo og en i Herat, ville øvre grense til total netto energibehov være forskjellige?

### **III Abstract**

There are two criteria that have been important to me when I was going to write this task. The first is to clarify how well masonry buildings in Herat are protected against external climate impacts and how thermal indoor climate is affected by the properties of the building's elements. In order to determine how well a building is protected against external climate impacts, we can look at the energy demand for heating and cooling through a whole year. This energy demand depends on the heat loss and heat gains. Amount of heat buildings lose, depends on the temperature difference between inside and outside and the R-value of the constructions elements. Amount of heat building gains depends on these factors, but in addition, it is also dependent on solar radiation rate. Temperature difference between inside and outside is bigger during the coldest days of the winter and that is why being warm in winter is more important than being cold in the summer. When we dimension a building, is the highest temperature difference that we use.

Thermal indoor climate includes physical factors which has influence on our thermal comfort. These factors are air temperature, surface temperature, air velocity and air humidity. The first two factors dependent on how building`s climate-screen are build and how well it isolates against external climate impacts, while the other two dependents on the ventilation system and the activity inside. If one of these factors is on not at an acceptable level, we can feel uncomfortable and dissatisfied with the indoor climate.

When we build a passive-house, it is the amount of energy the house needs and what is the source of energy which is the parent criteria. When it comes to the first criterion, there are no specific regulations in Afghanistan, but if we manage to insulate the building to a level that

both energy consumption and indoor climate are at acceptable levels, we have perhaps found a limit for energy consumption of an energy efficient building. This limit can be further processed and used to define the requirements for the energy-use of a passive-house in Afghanistan. The first criterion also depends on the temperature difference between outside and inside. This temperature difference is larger in Norway during winter, while it is greater in Afghanistan during the summer.

Second criterion is about set claim to a maximum of amount of delivered electric and fossil energy. This means that we should be less dependent of fossil energy and encourage us to use more renewable energy like solar energy. The amount of solar energy depends on the degree of latitude and average sunshine time per day for a place. Oslo has the degree of latitude 59, 91 ° N, while Herat has latitude of 34, 20 ° N. This means that the solar radiation in Oslo has less energy per area than solar radiation in Herat.

Oslo has, on average, less sunshine hour per day than Herat because of air humidity and the high precipitation rate. If we are to build two buildings with equal area, one in Oslo and one in Herat, what is the different in the total net energy demands of those two buildings?

## IV Innhold

I	Forord .....	3
II	Sammendrag .....	4
III	Abstract.....	5
IV	Innhold.....	7
1	Innledning .....	8
	1.1 Bakgrunn.....	8
	1.2 Problemstilling og beskrivelse av oppgaven.....	9
	1.3 Passivhustenkning.....	9
	1.4 Avgrensing .....	9
	1.5 Metoder .....	10
2	Boligbebyggelse i Herat .....	10
	2.1 Arkitektoniske egenskaper.....	12
	2.2 Fysiske egenskaper .....	14
	2.3 Energiforsyning.....	28
	2.4 Forventninger og krav .....	29
	2.5 Klimaforhold.....	29
3	Teori .....	29
	3.1 Termisk inneklime .....	30
	3.2 Energibehov til oppvarming og nedkjøling .....	37
	3.3 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggetekniske forskrift).....	43
	3.4 Passivhus.....	44
	3.5 Solenergi .....	46
	3.6 Solskjerming .....	47
4	Eksempelbygg .....	47
	4.1 Beliggenhet.....	49
	4.2 Fysiske egenskaper (eksisterende) .....	52
	4.6 Vurdering og tiltak .....	61
	4.7 Konklusjon.....	78
5	Vurdering og tiltak .....	79
	5.2 Rehabiliterer eksisterende bygninger.....	81

5.3	Endring av teknikk .....	81
6	Konklusjon .....	83
7	Figurer .....	84
7	Tabeller.....	86
8	Referanser.....	87

# **1 Innledning**

Afghanistan er et land som har vært lenge i krig og uro. Dette har ført til at byggeteknikken, som mange andre fag, ikke har utviklet seg noe særlig og trenger mer forskning. Mange av dagens boliger i Afghanistan har dårlige isoleringsegenskaper. Det folk klager mest på er de basiske problemer som kulde om vinter og varmen om sommer. Vanlig folk i Afghanistan tror at det er mangel på energikilder som gass og elektrisitet som skaper disse problemer. (Det ikke er nok energi til alle og siden denne energien er begrenset, er det bare de rike som får råd til det). Men det er nok andre løsninger enn import av energi som vil løse afghanernes problem.

Her i Norge lærer vi å bygge slik at man bruker minst mulig energi til oppvarming av boliger. Dette er på tross at Norge er et rikt land hvor nesten ingen har problemer med å betale strømregningen sin og det er mer nok energi til alle. Ut fra dette forstår jeg at mangel på fossilt energi og elektrisitet kan reduseres hvis behovet for denne energikilden reduseres eller man utnytter alternative energikilder som sol. Hvis vi bygger boliger med lav energiforbruk eller passivhus, vil både energibehovet reduseres, samt at folk spare penger som skulle eller blitt brukt til kjøp av fossilt energi og elektrisitet.

## **1.1 Bakgrunn**

Jeg har alltid vært interessert i å finne en måte å hjelpe andre på og siden jeg har begynt å studere byggeteknikk og arkitektur, tenkte jeg å bruke det jeg har lært her på universitet til å gjøre hverdagen til dem som trenger mest, bedre.

Første gang jeg hørte om passivhus, ble jeg veldig interessert og tenkte at denne teknikken kan være veldig aktuelt for Afghanistan. Geografisk sett er Afghanistan veldig likt Norge med



en stor forskjell at Afghanistan ligger nærmere ekvator og dermed bedre tilegnet til passivhus enn i Norge. Alt dette ble grunnen til at jeg valgte å skrive denne oppgaven.

## **1.2 Problemstilling og beskrivelse av oppgaven**

Hvordan kan endring av bygnings klimaskjerm føre til forbedret innemiljø i et murverksbygg? Og hvilket tiltak som passer best med tanke på lokale klimabelastninger og kulturelle tradisjoner? I tillegg til dette vurderer jeg muligheten å bygge passivhus i Herat, Afghanistan.

Jeg har delt oppgaven på 3 deler som består av følgende:

- Beskrive arkitektoniske og tekniske egenskaper til typiske bygg i Herat.
- Analysere eksisterende bygg og dets isolerende egenskaper og mangler ved hjelp av programvaren SIMIEN
- Foreslå egnede tekniske tiltak

Jeg har valgt en bolig i Herat som jeg vil bruke som referanseprosjekt i denne oppgaven.

Denne boligen har alle særegenskapene som et typisk murverksbygg i Herat.

## **1.3 Passivhustenkning**

Når vi bygger passivhus, er det to kriterier som viktigst for oss. Den ene er bruk av passiv tiltak som f. eks. ekstra isolasjon og det andre kriteriet handler energiforsyning til boligen. I Norge har vi en egnet standard for passivhus som gir oss kriterier for passivhus og lavenergibygninger. I Afghanistan har vi dessverre ikke en slik standard og derfor kan man per i dag ikke bygge en standard lokalt tilpasset passivhus. Det jeg kommer til å skrive i denne oppgaven vil være å tenke passivhus når vi bygger nytt eller rehabiliterer et bygg ved å bruke samme passive tiltak som f. eks. å bruke ekstra isolasjon, utnytte solenergi, etc.

## **1.4 Avgrensning**

Inneklima er fysiske faktorer som har innflytelse på vår komfort. Disse fysiske faktorer er termiske, atmosfæriske, akustiske, visuelt eller mekaniske faktorer i en bygning. Siden jeg skal skrive bare om murverk har jeg valgt å se bort fra mekaniske, visuelle og akustiske

faktorene og heller fokusere på termiske og atmosfæriske faktorene og anta at disse faktorene på et akseptabelt nivå. I tillegg har jeg fokusert på typiske bygninger, gjerne i to eller tre etasjer, i nordvestlige delen av Afghanistan. Jeg skiller mellom selveide bolig og utleiebolig og i denne oppgaven skal jeg bruke bare selveide boliger.

## **1.5 Metoder**

Jeg har selv reist nede til byen hvor boligprosjektet ligger og snakket med fagfolk om hva som var typiske utfordringer når det gjelder videreutviklingen av byggeteknikker i Herat. Dette ga meg en oversikt over problemer og utfordringer. Så har jeg besøkt flere boligstrøk for å finne en typisk murverksbygg slik at flere kunne benytte seg av resultatene mine. Etter å ha funnet prosjektboligen, målte jeg og analyserte boligen og snakket med beboerne og noterte hva de var misfornøyd med.

Jeg kommer til å vurdere muligheten å rehabilitere et bygg med å foreslå tiltak som vil resultere et forbedret inneklima og redusert energibehov. For å beregne det totale energibehovet til bygget og for å finne hvor godt inneklima i det aktuelle bygget er, benytter jeg meg av programvaren "SIMIEN" som bruker månedsstasjonær beregningsmetode etter 3031:2007 for å lage et energibudsjett for boligen. Verdiene til energi beregning har jeg hentet fra NS-3031:2007.

Jeg har også vurdert muligheten til å utnytte alternative til fossilt energi og elektrisitet.

Siden et passivhus også er et energieffektivt hus med godt inneklima, ser jeg på muligheten å bygge et passivhus i Afghanistan.

## **2 Boligbebyggelse i Herat**

Herat er en by med ca. 500 000 innbyggere. Byen ligger i nordvestlige delen av Afghanistan.



Figur 1 Kart Asia - Kilde google.no

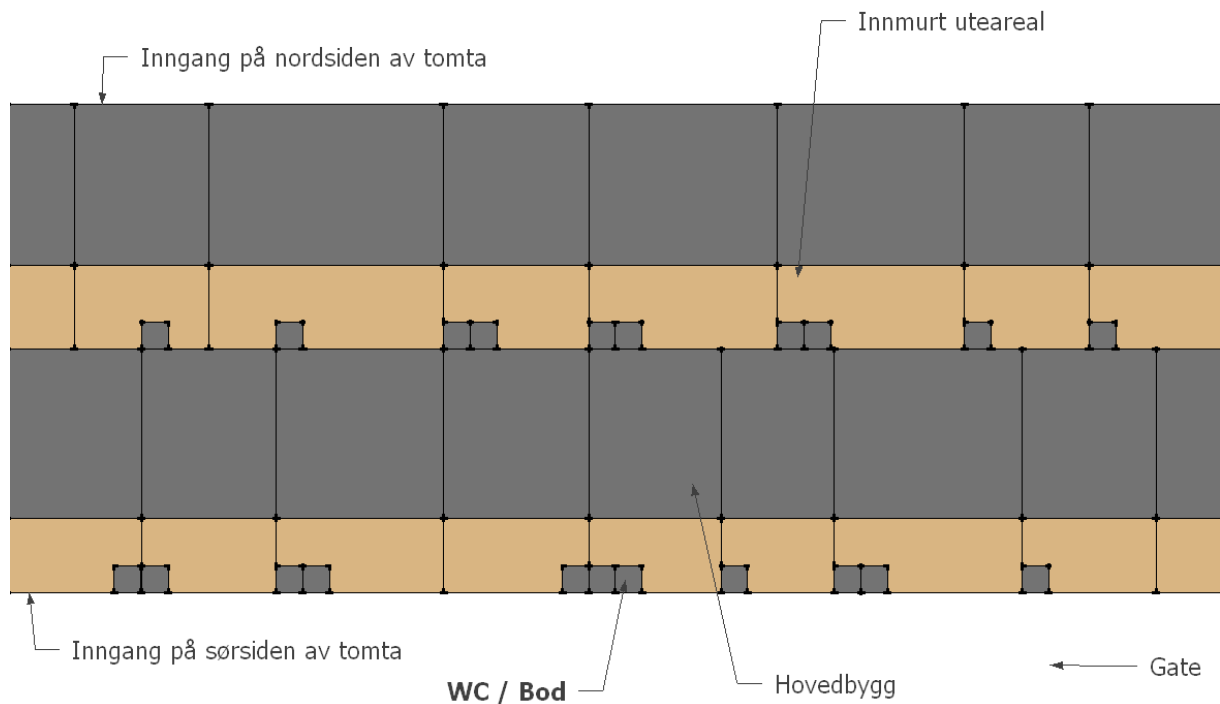
Byen ligger i en dal som elven Hari går gjennom. Nedbørsmengden er veldig lite og nesten bare om vinter. Byen er også kjent for sin 120 dagers vind som blåser kraftig fra mai til september. Vinteren er ofte kort og snøen smelter kort etter at den faller, mens sommeren er mye lengre og temperaturen blir veldig høy. Relativ fuktighet er veldig lav noe som gjør sommeren veldig varm og luften veldig tørr.



Figur 2 - Topografis kart Herat Afghanistan - kilde google.no

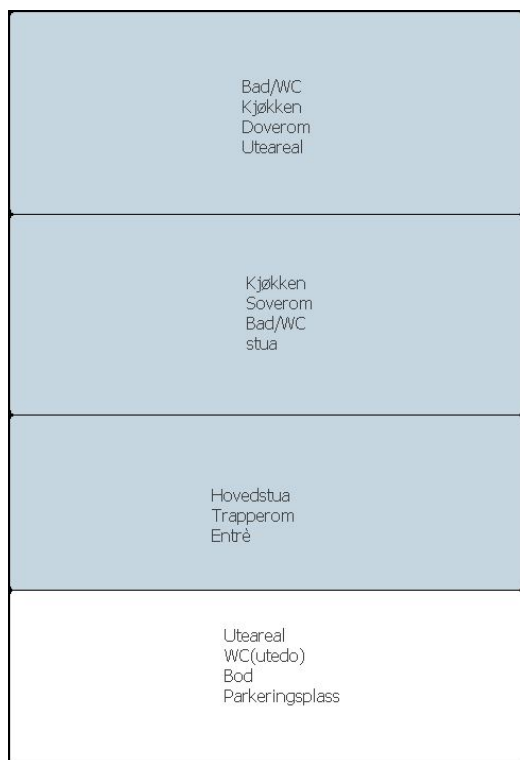
## 2.1 Arkitektoniske egenskaper

Typiske boliger i byer i Herat er ofte boliger i rekkehus. Boligene ligger tett til hverandre fra sidene og er ofte ikke mer enn to eller tre etasjer.

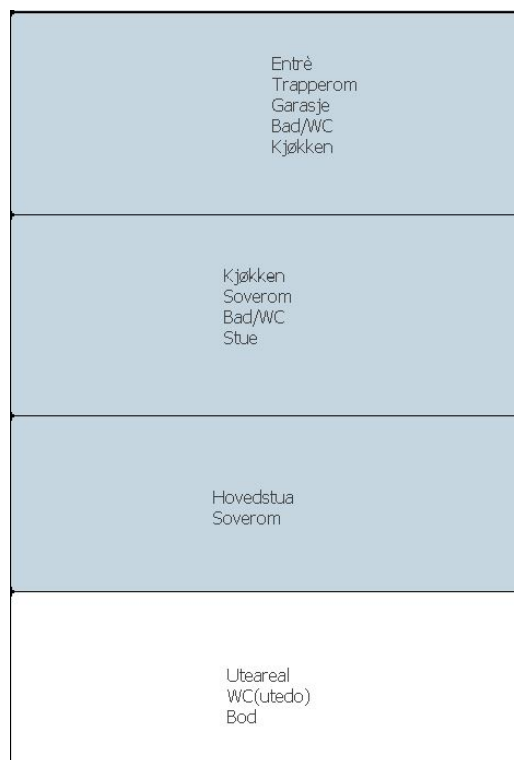


Figur 3 - Gateplan

Tomter er ofte delt i to deler, den sørlige delen og den nordlige delen. Hovedbygningen ligger ofte på nordlige delen av tomten, slik at sørfasaden til bygningen er mot uteareal. Uteareal er et sted hvor alt privat daglig utendørs aktivitet foregår. Dette arealet er alltid innmurt med 2,5 m murvegg. Denne veggen er både for å beskytte mot innbrudd og for å skjerme boligens uteareal mot andres innsyn. Sekundære bygg som utedo og bod ligger innenfor dette arealet som hovedsakelig i form av et eller to rom ved siden av hverandre. Boligene er enten sydvendte eller nordvendte avhengig av hvilken side av gata boligen ligger på.



Figur 4 - Nordvendte boliger



Figur 5 - Sydvendte boliger

For sydvendte boliger, hvor inngangen til boligen er via utearealet, kan dette arealet brukes også til bilparkering, mens nordvendte boliger, hvor inngangen til tomten er fra nordsiden, er man nødt til å omgjøre en del av primær areal til garasje.

Hovedrommet eller hovedstua (ofte det fineste og største rommet) pleier å ligge på den sørlige delen av bygget ofte med store vinduer mot utearealet. For sydvendte boliger er inngangen til boligen fra sørlige delen av bygget og dermed å entre og trapperom er ofte i sørfasaden.

Hverdagsstua, kjøkken, soverom, bad og toalett kan ligge i mellomsonen. Denne sonen kan ikke ha noe vindu siden det er naboer på begge sider. En bolig kan ha to toaletter. En inne i bygget og en ute. Hvis boligen ikke har et godt ventilasjonssystem og i tillegg er vi i varmesesongen, vil bruken av toalettet inne unngås og dermed bruke toalettet ute.

Sydvendte boliger kan ha et liten uteareal bakerst i bygget. og hvis utearealet er mulig, kan de også ha små vinduer på nordfasaden. Man må være veldig forsiktig med hva man bruker disse vinduene til. For igjen folk ønsker ikke at andre skal se inni boligen deres. Vinduene på nordfasaden eksisterer sjeldent og hvis de eksisterer er gardinene alltid trukket.

Nordvendte boliger har ofte garasje, entre og trapperom på nordsiden og hvis det er noe rom på nordlige delen av bygget i første etasje, altså mot veien, har de små eller ingen vinduer. Når det gjelder etasjene over, har rommene på nordfasaden store vinduer.

## 2.2 Fysiske egenskaper

Boligens fysiske egenskaper forteller oss hvor godt en bolig er beskyttet mot ytre klimabelastninger.

### 2.2.1 Materialer

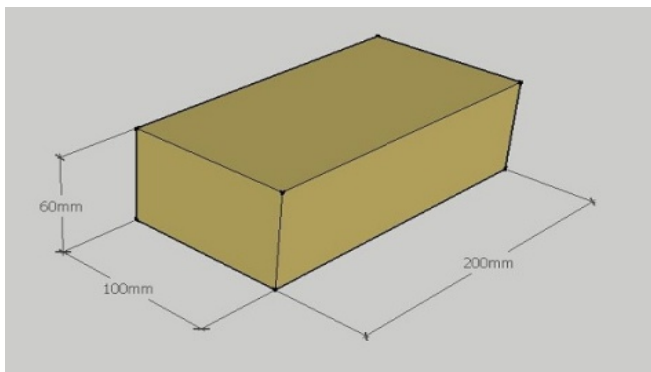
Nesten alle bygninger i Herat er bygget i murverk og de meste brukte materialer er tungmaterialer som betong, tegl, stål, gips, naturstein og halmleire. Jeg har prøvd å beskrive hvert av disse materialene og hva de blir mest brukt til.

#### Tegl

Afghanistan og særlig provinsen Herat i det nordvestlige delen av landet har lange tradisjoner med å lage tegl av leire, enten soltørket eller brent tegl. Ofte er det massiv tegl og lite hulltegl blir brukt. Fargen på teglstein er ofte gull eller grønn p.g.a. lite jerninnhold. Teglveggene er ofte massive og nesten ingen hulmurvegger blir bygd. Man ser på eldre bygg hvor teglveggene var veldig tykke og var en del av bæresystemet, men i nyere tid har betong eller stål tatt over rolle som bærende system. Dette har ført til reduksjon av tykkelsen til teglveggene. Som følge av denne reduksjonen er varmeegenskapene til teglvegger også redusert med tiden. Det er ikke noe standard dimensjon for tegl, men det fleste tegl har en dimensjon på 20x10x6 cm. Tegl er ikke særlig isolerende og med en varmekonduktivitet lik  $1,61 \text{ (W/mK)}^1$  bør ikke brukes uten isolasjon. Densitet til tegl har jeg funnet ved å måle og veie en teglstein fra Herat. Teglsteinens densitet er  $1497 \text{ kg/m}^3$ .



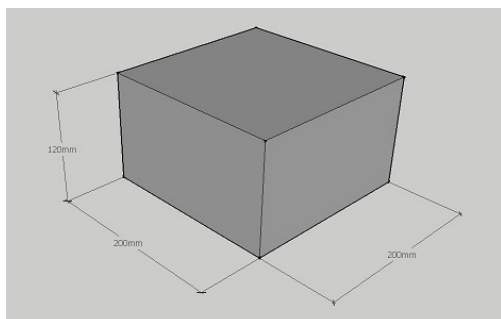
Figur 6 - Massive tegl



Figur 7 - Teglstein med vanlige dimensjoner

## Betongblokker

Akkurat som tegl, blir betongblokker brukt til og bygget utvendige vegger, men med en forskjell at betongblokkveggene er bærende. Vanlig dimensjon: 20x20x12cm. Betong har en varmekonduktivitet lik  $2,0 \text{ (W/mK)}^2$  og bør derfor ikke brukes uten isolasjon



Figur 8 - Vanlige dimensjoner for betongblokk



Figur 9 - Bærende vegg av betongblokker

## **Betong**

Betong armert med stål blir brukt både til å bygge fundamentet, golvet, søyler, etasjeskillere og taket. Varmekonduktiviteten til uarmert betong er lik 2,0 og 2,5 (W/mK)<sup>2</sup> for armert betong.





Figur 10 - Eksempel på byggemåte og kombinasjon av armert betong og tegl

## Halmleire

Tidligere har jeg sagt at jeg skal fokusere på å bruke lokal tilgjengelige materialer, slik at enhver kan bygge en energieffektiv bolig uten å måtte bekymre seg for materialtilgjengelighet. Det nærmeste isolasjonsmaterialet vi kommer bort i, i Herat er halmleire. Halmleire er en blanding av halm og leire. Opprinnelig ble leire brukt til å bygge hus med, og for styrke strekkegenskapene til leire, blandet man leire med halm. Etter hvert ble leire erstattet med tegl slik at leirhalmen fikk en annen oppgave, nemlig til å tette et murverksbygg og for å gi et grunnlag til gips som sparkles rett på halmleire. Halmleire har densitet<sup>3</sup> på  $(1450\text{kg/m}^3)$  og en varmekonduktivitet<sup>3</sup> på  $0,45$  (W/mK). Sammen lignet med en annen tilgjengelig materialet, for eksempel isopor, er dette ikke veldig lavt som man ønsker av isolasjonsmaterialer generelt.



**Figur 11 - Halmleire sparket**



**Figur 12 - Halmleire sparklet på alle innvendige overflater utenom gulvet**

Halmleire har ikke en veldig bra varmekonduktivitet, men sammenlignet med andre isolasjonsmaterialer, har den gode strekk- og trykkeegenskaper som kan utnyttes når vi skal dimensjonere en vegg. Hvis vi sammenligner en 400mm teglvegg med en 400mm vegg bygget av halmleire, ville u-verdien til veggen bygget av halmleire være lavere enn teglveggen pga. lavere halmleirens lavere varmekonduktivitet. Så hvis bæresystemet er av betong, eller stål, kan halmleire brukes istedenfor tegl. Det er både billigere og har bedre varmeegenskaper.

## Gips

Gips blir brukt for å gi innvendige overflate et bedre utseende. Alle vegger og tak blir dekket av en gips lag på ca. 1 cm. Etter at gipset er sparklet kan veggen males med ønsket maling. Varmekonduktivitet til gips er  $0,20 \text{ (W/mK)}^2$ .



Figur 13 - 10mm gipsslag sparkles på halmleire-overbehandlede overflater

## Stål

Stål blir brukt enten som armering i betong eller som bærende skjellet til bygget.

## Naturstein

Naturstein blir brukt til å bygge fundamentet. Dette er en dyr alternativ til betong og blir sjelden brukt. Stein, spesielt marmor blir også brukt på utvendige overflater for å gi et arkitektonisk preg i form av farge, planhet eller struktur.

## Puss

Utvendige overflater blir ofte behandlet med kalksement puss for å gi fasaden en beskyttelse mot klima påkjenninger og samtidig gi et arkitektonisk preg i form av farge, planhet eller struktur. Puss har en varmekonduktivitet lik  $1,0 \text{ (W/mK)}^2$ .

## 2.2.2 Konstruksjonsdeler og deres egenskaper

Jeg har prøvd å regne ut et tilnærmet u-verdi vegger, tak, golvet, vinduer og dører. Når det gjelder isolasjon, er dessverre bruken av isolasjonsmaterialer veldig lite og kunnskapen om dette også veldig lite. Det nærmeste vi kommer et material som kan kalles isolasjonsmaterialet er leirhalmen. Leirhalmen er et billig material som nesten all kan benytte seg i Afghanistan. i Tillegg er det noen bygg som har brukt isopur som isolasjonsmaterialet. Men disse bygningene er det veldig få av og ofte offentlige bygg som er utført av utalandske ingeniører.

### Vegger

Jeg har fokusert på murvegger av tegl og betongblokker fordi etter min observasjon, var disse to mest brukt i bygging av boliger. Utvendig behandlet med puss eller dekorativ stein. Innvendig behandlet med halmleire og gips som sparkles på veggen etter utførelse. Jeg har prøvd å finne en tilnærmet u-verdi til slike vegger.

#### Vegg 1 - Murverk av 200mm tegl

Den er en yttervegg bygget av tegl, utvendig behandlet med kalksement puss og innvendig med 30mm halmleire og 10mm gips.

Tabell 1 - Varmeegenskapene til murverk av 200mm tegl

Sjikt	Tykkelse, d (m)	varmekonduktivitet, $\lambda$ (W/mK))	Varmemotstand R ( $m^2K/W$ )	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi ( $W/(m^2K)$ )
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13 <sup>4</sup>	
total	0,25		0,38	2,63

#### Vegg 2 – Murverk av 200mm tegl – utvendig ikke behandlet

Den er en yttervegg bygget av tegl, innvendig med 30mm halmleire og 10mm gips.

**Tabell 2 - Varmeegenskapene til murverk av tegl - utvendig ikke behandlet**

Sjikt	Tykkelse, d (m)	varmekonduktivitet, $\lambda$ (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U (W/(m <sup>2</sup> K))
Teglstein	0,2	1,61	0,12	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13 <sup>4</sup>	
<b>total</b>	<b>0,24</b>		<b>0,37</b>	<b>2,7</b>

### Vegg 3 - Murverk av 100mm tegl

Den er en innervegg bygget av tegl, utvendig og innvendig med 30mm halmleire og 10mm gips.

**Tabell 3 - varmeegenskapene til murverk av 100mm tegl**

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Teglstein	0,1	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>total</b>	<b>0,18</b>		<b>0,43</b>	<b>2,32</b>

### Vegg 4 – Murverk av 250mm betongblokk

Den er en yttervegg bygget av betongblokker med høy densitet, utvendig behandlet med kalksement puss og innvendig med 30mm halmleire og 10mm gips.

**Tabell 4 – Varmeegenskapene til murverk av 250mm betongblokk**

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Betongblokk med høy densitet	0,25	2,0	0,125	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>total</b>	<b>0,30</b>		<b>0,39</b>	<b>2,6</b>

## Vegg 5 - Murverk av 250mm betongblokk – utvendig ikke behandlet

Den er en yttervegg bygget av betongblokker med høy densitet, innvendig med 30mm halmleire og 10mm gips.

Tabell 5 - - Varmeegenskapene til murverk av 250mm betongblokk - utvendig ikke behandlet

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Betongblokk med høy densitet	0,25	2,0	0,125	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,30		0,375	2,67

## Tak

Det er to typer tak som blir mest brukt. Enten består taket av plasstøpt betong som bæres av søyler av armert betong eller kompositt tak bestående av stålbjelker med en senteravstand på 70-120 cm og tegl som blir murt inn mellom bjelkene. Denne teknikken er veldig brukt hvor bæresystem er stål eller bærende murverk. Innvendig blir begge typene behandlet med halmleire og gips og utvendig behandlet med asfaltbelegg som skal gi et tettere tak som kan tåle klimapåkjenninger.

## Tak 1 - 200mm betongtak

Tabell 6 - varmeegenskapene til 200mm betongtak

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Asfaltbelegg	0,01		0,03	
Betongdekke	0,2	2,0	0,1	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,25		0,38	2,63

## Tak 2 - 100mm kompositt tak

Tabell 7 - Varmeegenskapene til 100mm kompositt tak

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Asfaltbelegg	0,01		0,03	
Tegldekke	0,1	1,61	0,06	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,15		0,34	2,94

## Etasjeskillere

Akkurat som tak er de to mest brukte typer etasjeskillere plasstøpt betong som bæres av søyler av armert betong og kompositt tak bygget av stålbjelker og med en senteravstand på 70-120 cm og tegl som blir murt inn mellom bjelkene. Denne teknikken er veldig brukt hvor bæresystem er stål eller bærende teglvegger. I begge tilfellene blir undersiden behandlet akkurat som tak med halmleire og gips, mens oversiden ikke blir behandlet, mens det blir belagt med 1 cm teppe.

## Etasjeskiller 1 - 200mm armert betong

Tabell 8 - Varmeegenskapene til 200mm etasjeskiller av betong

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Teppe	0,01	0,06	0,17	
Betongdekke	0,20	2,50	0,10	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,20	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,25		0,52	1,9

## Etasjeskiller 2 - 100mm kompositt etasjeskiller

Tabell 9 - Varmeegenskapene til 100mm kompositt etasjeskiller

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Teppe	0,01	0,06	0,17	
Tegl	0,10	1,61	0,06	

Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,20	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,15		0,52	2,1

## Golvet



Figur 14 - Dekke på grunn med armering, uten isolasjon

Golvet er av plasstøpt betong som ligger direkte på grunnen. Overflaten blir ikke behandlet, mens det blir belagt 10mm teppe over hele primær areal. Man bruker ikke sko inne og derfor er hele primær areal som stue, soverom, kjøkken og gang alltid teppebelagt.

Tabell 10 - Varmegenskapene til gulvet av støpt betong uten armering

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	Varmegjennomgangskoeffisient; U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Dekke av betong	0,20	2,00	0,10	
Teppe	0,01	0,06	0,17	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total			0,40	2,5

## Fundamentet

Fundamentet kan bestå av 200-300mm betong eller naturstein.



## Vinduer

Vinduer består av en stålramme som tilsvarer 35 % av hele vindusarealet. Glassrutene består av 4 med mer vanlig glass. Jeg kunne ikke finne U-verdi til slike vinduer. For å ha en veiledende verdi for slike vinduer bruker jeg  $U = 4,5$  ( $W/(m^2K)$ ). Solfaktor til slike glass settes lik 0,88 og en solskjermingen avhenger fra vindu til vindu. Vinduene på sørfasaden har en overhengedybde i 30 cm. På vindu nord i 2. etasje er overheng med dybde 50cm. Alle vinduer bruker innvendig gardiner i tillegg til evt. annen solskjerming utvendig.



Figur 15 - Vindu med stålandel lik 0,35 og resten vanlig 4mm glass.

## Dører

Utvendige dører er ofte av stål med glassruter, mens innvendige dører har en stål ramme med bladene av tre. Innvendige dører har ofte et overvindu som skal bidra til mer lys inne i rommene. U-verdi til utvendige dører setter jeg til  $4,5$  ( $W/(m^2K)$ ) siden de har stålramme og ettlags glass akkurat som vinduer. Innvendige dører har jeg heller ikke noe data for, men en grov tilnærming ville være ca.  $3,0$  ( $W/(m^2K)$ ) for slike dører.



Figur 16 - innvendig dør stål/tre/glass

På figurene nede ser vi noen eksempler på hvordan byggene ser utvendig før og etter overflatebehandling.



Figur 17 - murverksbygg med armert betong som bæresystem



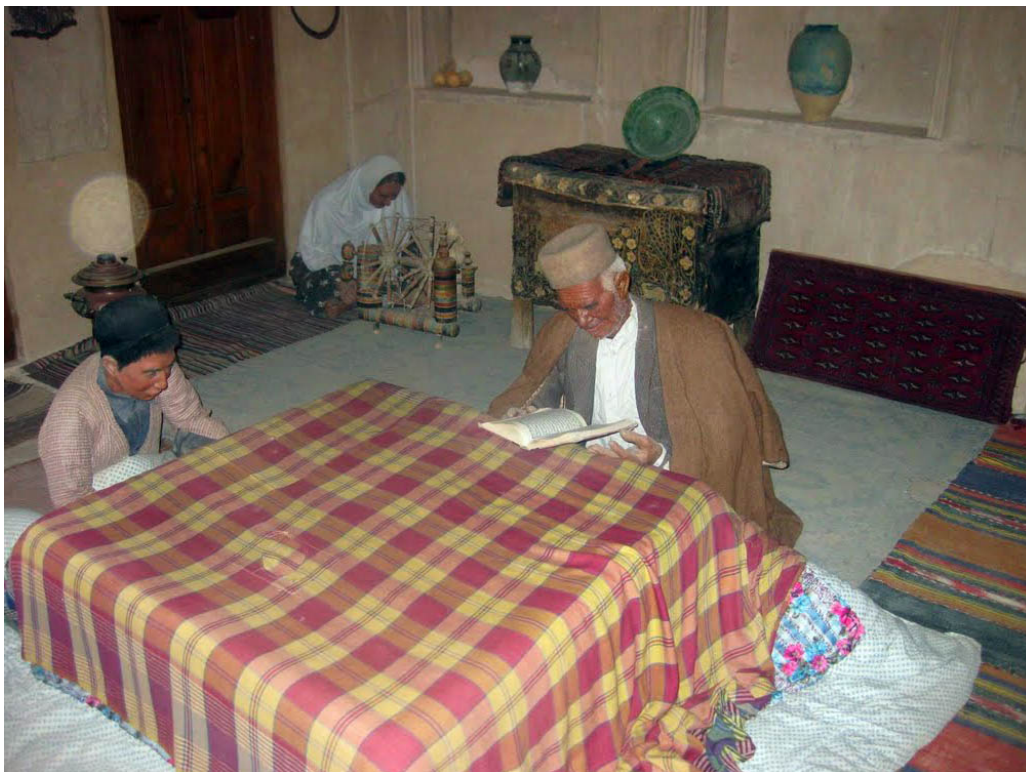
Figur 18 - Boligbygg av murverk



Figur 19 - Boligbygg av murverk med fasade av behandlet marmorstein

## 2.3 Energiforsyning

Tilgjengelig brensel i Herat er biobrensel som ved eller flis, fossilt brensel som kull, nafta og gass og strøm som kommer fra utlandet. Om sommer er det bare elektrisitet som brukes for nedkjøling av rom. Derfor er de fleste veldig avhengig av strøm og siden isolasjonsevne til bygningsdelene er veldig lav, vil energiforbruket bli enda høyere. Dette vil føre at det blir ikke nok strøm til alle og de fleste vil ha kalde vinter, selv inne i boligen sin. Hvis vi hadde bedre isolerte boligbygg og samtidig utnyttet solenergi ville de fleste ha en varmere vinter i fremtiden. Ved å bruke energi fra sola til elektriske utstyr og varmtvann, sparer vi mye kjøpt elektrisitet. Nesten 90 % av befolkningen i Herat bruker "Korsi" til oppvarming i tillegg til vanlige varmeovner som brenner med gass, ved, kull eller sagflis og elektriske ovner. Korsi er et bord som man setter mitt i rommet, legger varmeovnen under bordet og dekker med et stort teppe. Alle beboerne sitter rundt dette bordet med føttene under teppe. Dette oppvarmingssystemet er brukt i mange år og det er blitt en tradisjon som mange gleder seg om vinter.



Figur 20 - Korsi, et tradisjonelt varmesystem - kilde <http://en.wikipedia.org/wiki/Korsi>

## 2.4 Forventninger og krav

Vi kan dele mellom to type krav, direkte og indirekte krav. Direkte krav er ofte krav som settes av myndigheten slik vi har byggeforskrifter i Norge, men indirekte krav er ofte hva brukerne eller samfunnet krever. Siden myndighetene ikke har makt til å sette noe krav, blir nesten alt kravet indirekte og opptil hver enkelt eller samfunnet. (Myndighetene i Herat har begrenset kontroll over måten folk bygger på. Det som er viktigst for lokale myndigheten er byggegrenser og kotehøyder. Krav til andre viktig ting som u-verdi, varmetap eller energibehov er et indirekte krav som settes av hver enkelt og har ingen vitenskapelig grunn).

Grunnleggende forventninger av en bolig er at den skal skjerme oss mot ytre klimapåkjenninger som kulde, varme, regn, vind eller snø. I tillegg krever folk i Herat store vinduer og en himlingshøyde på 2,7 meter. Folk forbinder lav himling eller små vinduer med eldre bygg som før ble bygget i Herat og derfor tror de fleste, det å ha store vinduer og høy himling, vil gjør boligen moderne og dermed øke i verdi. Det finnes også boliger som ligner på et slott med en himlingshøyde på 3 meter, store dør og vinduer og gjerne utvendig dekorert i romersk eller renessanse stil. Så det er en utfordring å overtale brukerne til å prioritere inneklimate og energieffektivitet fremfor vindustørrelse og himlingshøyde.

## 2.5 Klimaforhold

Nedbørsmengden i herat er veldig lite og fra mai til september kan være helt uten nedbør. Herat er veldig kjent for sine 120dagers vind. Fra mai til august blåser det med kraftig styrke. Denne vinden kommer på samme tidspunkt som varmen, og det er mange som bruker vindkraften til å ventilere boligen naturlig. Denne metoden blir fortsatt brukt selv etter folk fikk tilgang til elektrisitet og "luftkjølere". Ulempen med denne metoden er at vinden tar med seg mye uønskede materialer inn i rommet.

Himmelen er nesten alltid skyfrie, uansett årstid. Dette betyr at vi må ta hensyn til varmetilskudd fra sola og studere hva slags virkning har dette på innetemperatur.

## 3 Teori

I dette punktet skal jeg skrive litt om universelle fysiske lover som gjelder for å få et godt inneklimate og redusert energi behov. Sammenhengen mellom disse to er veldig viktig å huske når man skal prosjektere et nytt bygg eller rehabilitere et gammelt bygg.

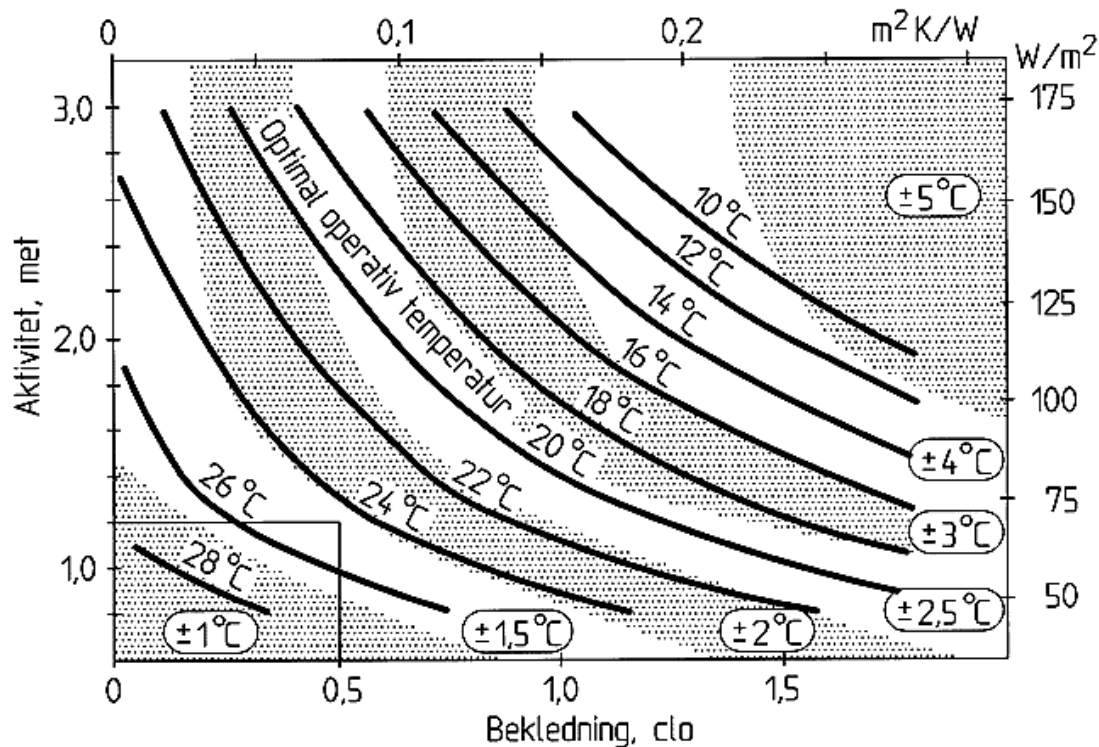
### 3.1 Termisk inneklima

Inneklima er fysiske faktorer som har innflytelse på vår komfort. Disse fysiske faktorer er termiske, atmosfæriske, akustiske, visuelt eller mekaniske faktorer i en bygning. Siden jeg skal skrive bare om murverk, har jeg valgt å se bort fra mekaniske, visuelle og akustiske faktorene og anta at disse faktorene er på et på akseptabelt nivå. Selv om for eksempel utskifting av vindu kan forbedre den akustiske faktoren og dermed bidra til bedre inneklima.

For at en bygning skal være termisk og atmosfærisk komfortable ser vi på følgende faktorer:

- Overflatetemperatur er temperatur på omgivende flater som tak, vegger (inkludert vindu) og golvet. Denne temperaturen kalles også for strålingstemperatur fra omgivende flater.
- Lufttemperatur er temperaturen til lufta i rommet.
- Lufthastighet er hastigheten til lufta, enten tilluft fra ventilasjonsanlegg eller fra luftlekkasjer i bygningen
- Luftfuktighet forteller oss hvor mye vann inneholder lufta.

I tillegg til disse faktorene, er termisk komfort avhengig av hvordan vi har kledd oss og hvor aktive vi er.



Figur 21 - Optimal operativ temperatur, avhengig av temperatur, bekledning og aktivitetsnivå - kilde Byggforskserien

### 3.1.1 Overflatetemperatur (strålingstemperatur)

Det er mange årsaker til lav overflatetemperatur om vinter eller høy overflatetemperatur om sommer. De viktigste er kuldebroer, høy U-verdi og lav romtemperatur om vinter eller høy romtemperatur om sommer. Forskjellen mellom plan strålingstemperatur på de motstående sidene av en liten, plan flate må ikke være stor.

Overflatetemperaturen,  $T_o$  er avhengig av konstruksjonsdelens varmegjennomgangsmotstand, temperatur ute og temperatur inne.

$$T_o = t_i - (t_i - t_u) \times R_i / R$$

Hvor:

- $t_i$  = innvendig temperatur
- $t_u$  = utvendig temperatur
- $R_i$  = innvendig overgangsmotstand = 0,13 ( $m^2K/W$ ) fra bks. 471.008
- $R$  = konstruksjonsdelens varmegjennomgangsmotstand

Varmeutvekslingen mellom føtter og golv er avhengig av golvtemperatur, gulvmaterialer og fottøy. Vi skiller mellom to soner i boliger når det gjelder golvtemperatur:

- Oppholdsrom. Hvis man har fottøy har gulvmaterialer lite å si og en gulvtemperatur på 23 °C vil være komfortable, men med nakne føtter kan gulvmaterialer bety mye for hva den komfortable gulvtemperaturen blir. Se tabell 3.2.1
- Badet: Når det gjelder badet er ideell overflatetemperatur litt høyere enn resten av boligen og en overflatetemperatur på 30-32 °C ansees til å være komfortable nok. Derfor er ofte badetomsgulvet utstyrt med gulvvarmeanlegg.

Tabell 11 - komforttemperatur for forskjellige gulvmaterialer for mennesker med nakne føtter - kilde: Byggforskserien<sup>5</sup>

Golvbelegg	Komfortabelt temperatur-intervall °C
Fliser, Betong	27-30
Linoleum, PVC	25-29
Tre, Kork	23-28
Tekstil, teppe	21-28

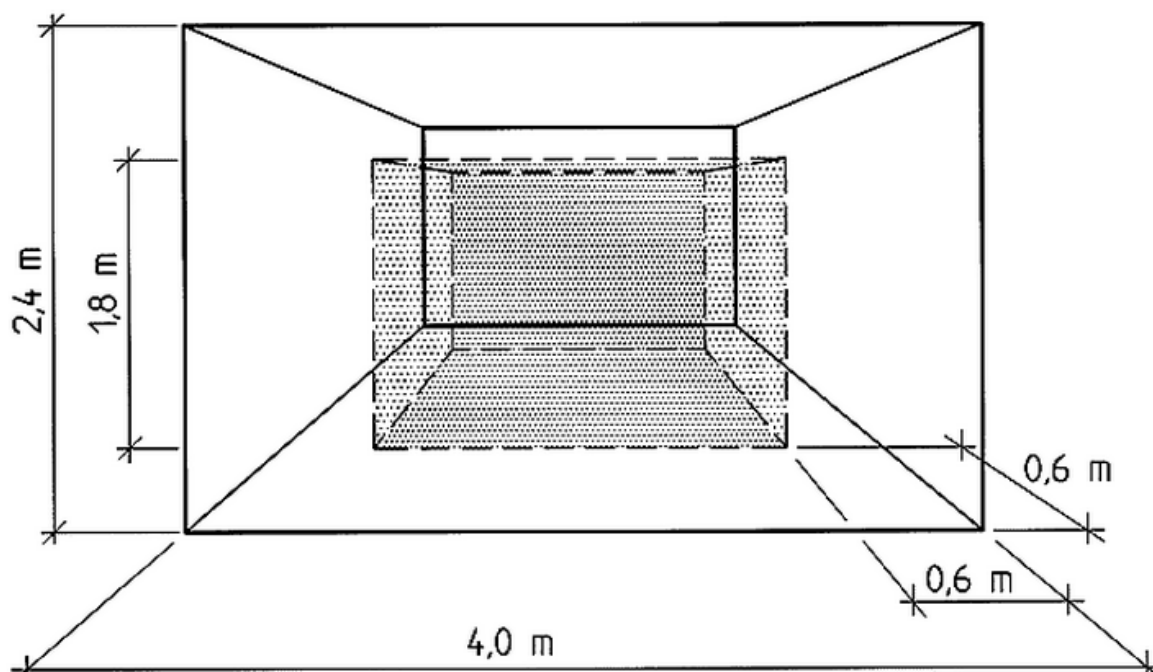
Konsekvensene av lav overflatetemperatur kan være mange. Disse er de viktigste:

- Strålingsutveksling med omgivende flater i rommet står for en stor del av varmetapet fra kroppen. Overflatetemperaturen på omgivende flater bestemmer dette varmetapet.
- I kombinasjon med høy luftfuktighet kan lav overflatetemperatur gi kondens som kan blant annet skade overflatematerialer eller forårsaker muggvekst.

### 3.1.2 Lufttemperatur

Lufttemperatur er det viktigste målet for termisk inn klima. Det er viktig at lufttemperaturen registreres midt i rommet eller på steder i oppholdssonen der man erfaringsmessig finner de høyeste eller laveste temperaturene. Det er viktig at temperaturforskjeller mellom ankelnivå og hodenivå er minst mulig. For ellers vil dette føre til ubehag.





Figur 22 - Oppholdssone - kilde: Byggforskserien

Figuren viser oppholdssone hvor det er vanlig å måle lufttemperatur. For å finne den temperaturen som vi faktisk opplever når vi er i et rom, trenger vi å integrere både Overflatetemperaturen (strålingstemperaturen),  $t_r$  og lufttemperaturen,  $t_a$  i det vi kaller operativ temperatur,

$$t_{op} = 0,5 \times (t_r + t_a)$$

### 3.1.3 Lufthastighet og luftmengde

Lufthastighet, ofte i form av trekk gir en uønsket, lokal kjøling av kroppen. Dette gjelder nakne deler av kroppen som ansikt, nakke, hender og bena. Trekk skyldes ofte høy lufthastighet fra ventilasjonsanlegg, luftnedfall (kaldras) eller luftlekkasjer i bygningskroppen. En høy turbulent luftstrøm kan være ubehagelig for noen.

Alle boliger har behov for tilførsel av uteluft og avtrekk av inneluft. For å sikre tilfredsstillende luftkvalitet for brukerne med hensyn til komfort og helse er det viktig med ventilasjonssystem. Det er vanlig å skille mellom fire typer ventilasjonssystemer i boliger:

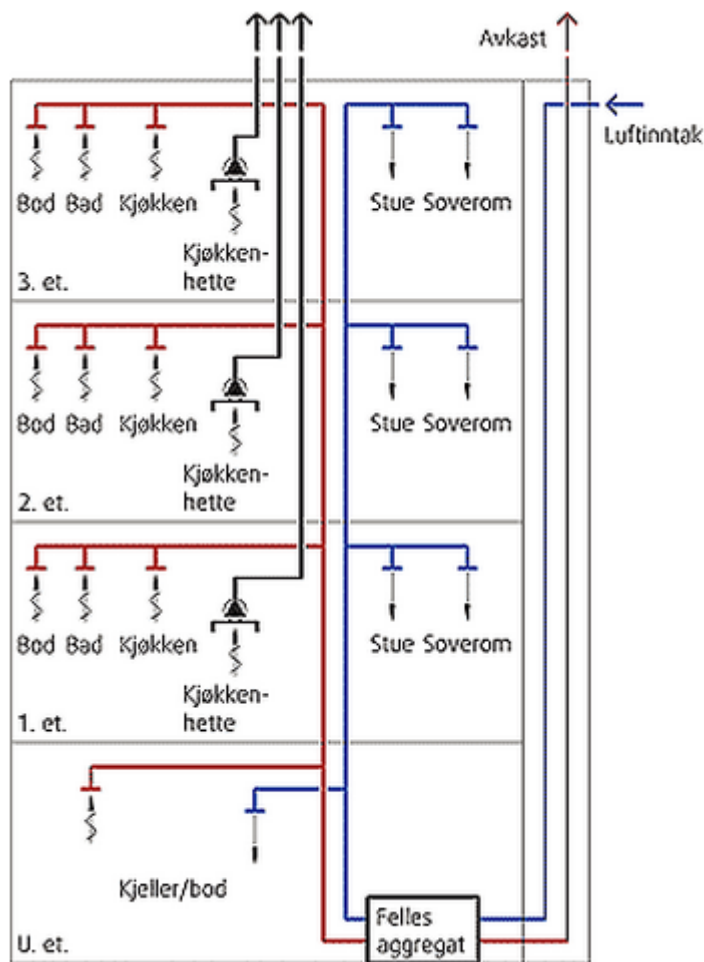
- Naturlig avtrekksventilasjon: De eneste drivende kreftene er termisk oppdrift og vindsug ved munningen av ventilasjonskanalen.
- Mekanisk avtrekksventilasjon: Vifter suger avtrekksluften ut av rommene. Friskluft tilføres gjennom ventiler og utettheter i bygningskonstruksjonen.

- Balansert ventilasjon: Vifter sørger for like mye tilførsel og avtrekk av ventilasjonsluften. Innvendige kanaler fordeler friskluften rundt i bygningen.
- Balansert ventilasjon med varmegjenvinning: Vifter sørger for like mye tilførsel og avtrekk av ventilasjonsluften. Varmen fra inneluft gjenvinnes i aggregatet slik at oppvarmet luft føres inn i oppholdsrommene.

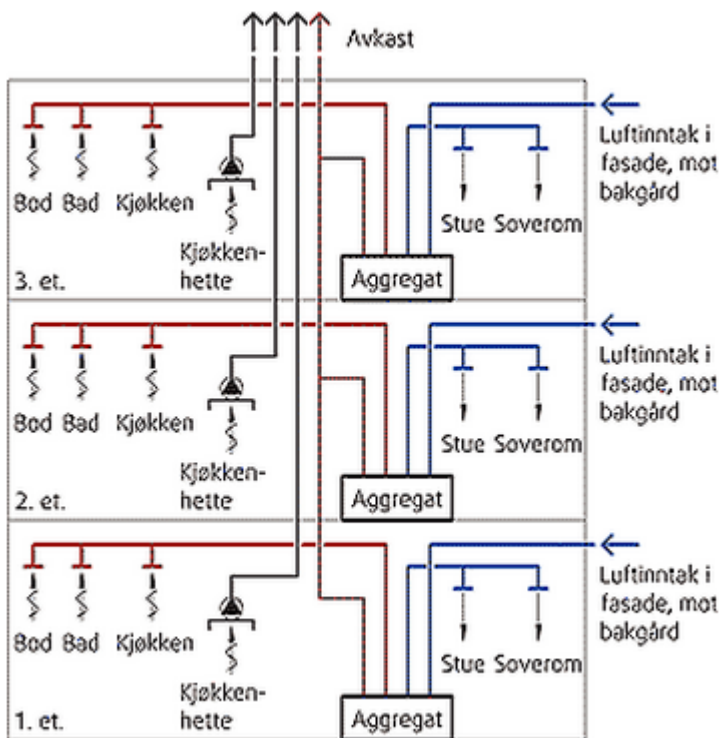
Hvis muligheten er der, anbefales balansert ventilasjon både til småhus og større boligblokk.

Balansert ventilasjon i en boligblokk kan være sentralt eller individuelt anlegg.

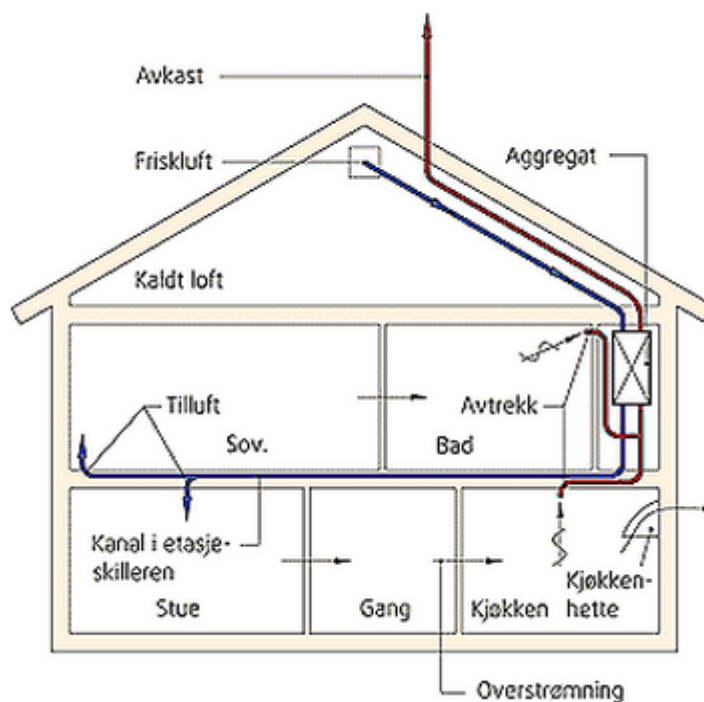
Nedenfor har jeg lagt noe eksempel på forskjellige typer balansert ventilasjon. Bildene er hentet fra Byggforskserien<sup>6</sup>, 552.305 Balansert ventilasjon av leiligheter.



Figur 23 - Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon, sentralt anlegg eget avkast tilkjøkkenhetter – kilde: Byggforskserien



Figur 24 - Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon og individuelle ventilasjonsanlegg (ett anlegg i hver leilighet) med eget avkast til kjøkkenhetter. kilde: Byggforskserien



Figur 25 - Hus med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Avtrekk fra kjøkkenhette går utenom ventilasjonsanlegget. kilde: Byggforskserien

Nødvendig avtrekksbehov avhenger direkte av produksjon av CO<sub>2</sub> i rommet, noe som igjen avhenger av antall personer og aktivitet i rommet. Tabellen under viser hvor stor avtrekksbehovet er ved boliger. Avtrekk fra kjøkken og badet er veldig viktig på grunn av høy fuktproduksjon i disse rommene.

**Tabell 12 - Avtrekksbehov i boliger - kilde: Byggforskserien**

Rom	Avtrekk (l/s) Naturlig/Fosert
Kjøkken	10/30
Bad med WC	15/30
Dusjrom med eller uten WC	15/20
Vaskerom/tørkerom	10/20
Separat WC	10

Nødvendig tilluft er avhengig av arealet til rommet og antall personer i rommet. Anbefalt dimensjonerende ventilasjonsbehov,  $q_v$ , totalt for hele boligen under normal bruk.

$$q_v = 0,35 + 3,5 \cdot n \text{ (l/s pr. m}^2\text{)}$$

0,35 = bygningsbestemt behov (l/s pr. m<sup>2</sup> gulvareal)

n = personbelastning oppgitt som antall personer pr. m<sup>2</sup>

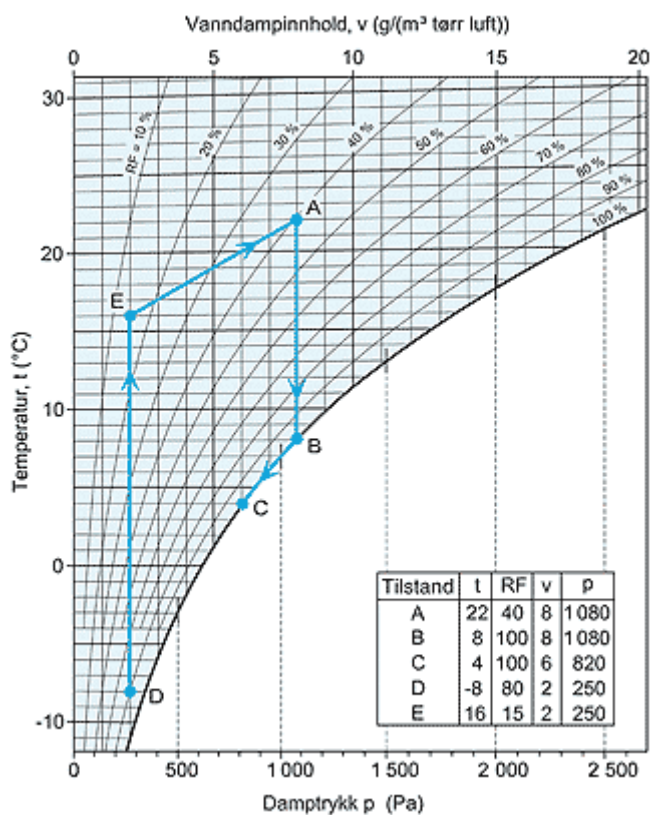
Vi må huske at både mekanisk og balansert ventilasjon avhenger av strøm. I et land som Afghanistan, hvor det er mye strømbrydd er dette et problem. Men med tanke på stor mengde sol i Afghanistan, både om sommer og vinter, kan dette problemet løses f. eks. ved å bruke solenergi til driv av ventilasjonsanlegget.

### 3.1.4 Luftfuktighet

Lufta inneholder alltid mer eller mindre fuktighet i form av vanndamp og angis som vanndampinnhold. Dette vanndampinnholdet er oppgitt ofte i % RF (relativ fuktighet). Øvre grense for hvor fuktig lufta skal være er avhengig av årstid og utetemperatur. Alle forhold tatt i betraktning bør luftfuktigheten være mindre enn

- 40 % relativ fuktighet under de tre kaldeste vintermånedene.
- 70 % relativ fuktighet i de varmeste månedene om sommer.

Ekstrem lav luftfuktighet bør unngås av hensyn til problemer med uttørking av huden. Hovedårsaken til høy RF er dårlig eller manglende ventilasjon i tillegg til fuktproduksjon inne. Øvre grense på hvor mye vann lufta kan inneholde kalles metningsinnhold. Denne påvirkes av lufttemperatur slik høyere temperatur gir høyere metningsinnhold og lav temperatur kombinert med høy RF vil gi kondens på overflater. Kondens på overflater vil medføre til muggvekst og støvkondens som er både estetisk skjermende og nedbrytende på overflatematerialet.



Figur 26 - Luftfuktighetsdiagram som viser sammenheng mellom temperatur, RF, vandampinnhold og damptrykk

### 3.2 Energibehov til oppvarming og nedkjøling

I dag er det slik at nesten alle trenger tilført energi til å holde boligen varm om vinter og kjølig om sommer. Men hvor stor er dette energibehovet avhenger av klimaskjermen til boligen og utetemperatur. Enkelt sagt kan klimaskjermen bestå av golvet, veggene og taket til en bolig. En klimaskjermes oppgave er å beskytte mot ytre klimapåkjenninger og samtidig sørge for at varmetapet gjennom konstruksjonsdelene er lavest mulig. Varmetapet gjennom klimaskjerm

skjer fra oppvarmet areal til friluft eller til ikke-oppvarmet areal, og avhenger av bygningsdelenes isolasjonsevne, kuldebroer, ventilasjonssystem og lufttetthet. Et balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning vil før til mindre energibehov enn et balansert ventilasjonssystem uten varmegjenvinning. En lufttett bygning vil ha mindre energi behov enn en ikke lufttett bygning.

Dette energibehovet er lik varmetap gjennom konstruksjonsdeler, infiltrasjonsvarmetap og ventilasjonsvarmetap minus varmetilskudd som f. eks. solvarme.

### 3.2.1 U-verdi

Om vinter når utetemperatur er lavere enn innetemperatur, vil varmen slippes ut fra varme siden, til den kalde siden av vegg. Samme mekanisme skjer om sommer, men denne gangen vil varmen slippes inn. U-verdi (varmegjennomgangskoeffisient) er et mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. U-verdi er lik den inverse av konstruksjonens totale varme motstand,  $R_T [m^2K/W]$ . Når en skal beregne u-verdien til en konstruksjon, må først finne varmemotstanden R for hvert sjikt og summere disse til en total varmemotstand  $R_T$  som er lik tykkelse til sjiktet, d, delt på varmekonduktivitet til materialet,  $\lambda$ .

$$U = 1/(R_{si} + R_T + R_{se})$$

Hvor:

$$R_{si} = \text{Innvendig overgangsmotstand} = 0,13(m^2K/W) \quad (\text{NS3031})$$

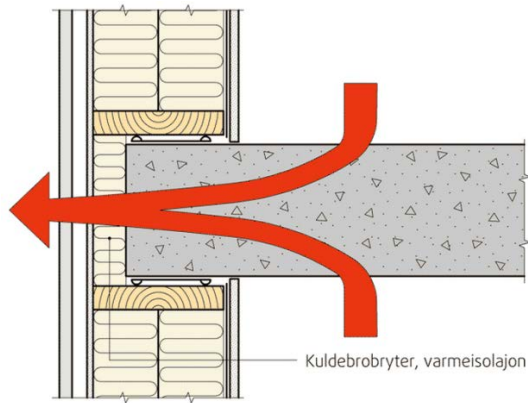
$$R_T = \text{Total varmemotstand til det aktuelle sjiktet} = \frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} \quad (m^2K/W)$$

$$R_{se} = \text{Utvendig overgangsmotstand} = 0,04 (m^2K/W) \quad (\text{NS3031})$$

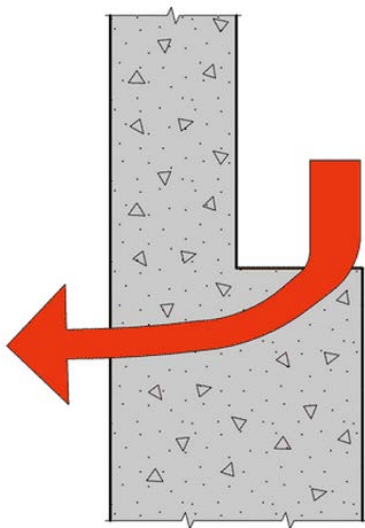
### 3.2.2 Kuldebroer (termiske broer)

Kuldebroer er ved tilslutning mellom bygningsdeler. Denne broen er en del av klimaskjermen der varmemotstanden endres betydelig av en eller flere av følgende forhold:

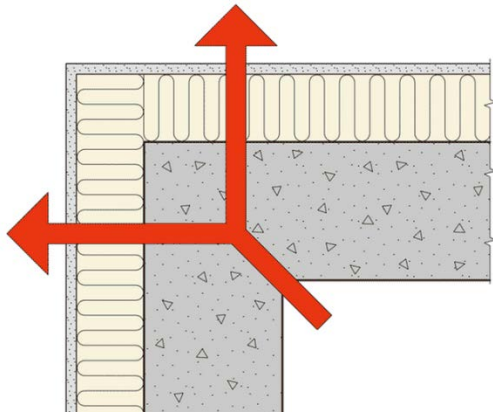
- Klimaskjermen gjennomtrenges der varmemotstanden endres betydelig av en eller flere varmekonduktivitet. Se Figur 27 - eks. kuldebro 1
- Det er forskjeller i materialtykkelse. Se Figur 28 - eks. kuldebro 2
- Forskjell mellom innvendige og utvendige overflater. Se Figur 29. eks kuldebro 3



Figur 27 - eks. kuldebro 1 – kilde: Byggforskserien



Figur 28 - eks. kuldebro 2 – Kilde: Byggforskserien



Figur 29. eks kuldebro 3 – Kilde: Byggeforskserien

Konsekvenser av kuldebroer kan være følgende:

- Om vinter:
  - Økt varmetap
  - Lave overflatetemperaturer
  - Redusert komfort som følge av lav overflatetemperatur
  - Overflatekondens ved kombinasjon av lav overflatetemperatur og høy luftfuktighet
  - Sverting (støvkondens) ved kombinasjon av lav overflatetemperatur og høy luftfuktighet
  - Temperatur spenninger pga. dårlig strålingsassymetri
- Sommer:
  - Økt kjølebehov
  - Høye overflatetemperaturer
  - Temperaturspenninger p. g. a. dårlig strålingsassymetri

For å redusere varmetapet gjennom kuldebroer benytter vi oss av *Kuldebryter*.

Kuldebryter er et sjikt av varmeisolerende materiale som er lagt inn i en konstruksjon for å redusere virkningen av kuldebroen: Se Figur 27 - eks. kuldebro 1. Kuldebroer kan samlet utgjøre i området 10-15 % av det totale transmisjonstapet for et bygg.

Normalisert kuldebroverdi,  $\Psi''$ , er summen av varmetapet fra alle kuldebroer, dividert med oppvarmet bruksareal,  $A_{fl}$ .

$$\Psi'' = \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k + \sum_j X_j}{A_{fl}} \quad (W/(m^2K))$$



hvor:

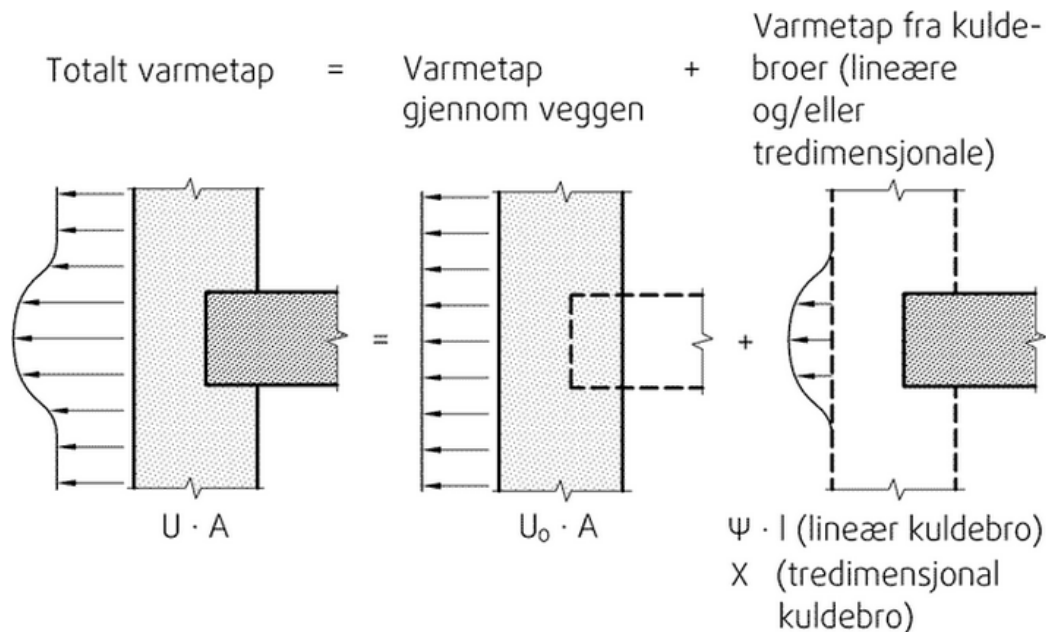
- $\Psi_k$  er kuldebroverdi (lineær varmegjennomgangskoeffisient) (W/(mK))
- $l_k$  er lengden på lineær kuldebro  $k$  (m)
- $A_{fl}$  er oppvarmet del av bruksareal (BRA).
- $X_j$  er kuldebroverdi for tredimensjonale kuldebroer, (W/K)

Effektiv  $U$ -verdi er  $U$ -verdien som inkluderer kuldebro-verdien

$$U = U_0 + U_{\Delta} = U_0 + \frac{\sum_k \Psi_k \cdot l_k}{A} + \frac{\sum_j X_j}{A} \quad (\text{W}/(\text{m}^2\text{K}))$$

hvor:

- $U_0$  er konstruksjonens  $U$ -verdi uten kuldebrobidraget (W/(m<sup>2</sup>K))
- $U_{\Delta}$  er kuldebroenes samlede bidrag til konstruksjonens  $U$ -verdi (W/(m<sup>2</sup>K))

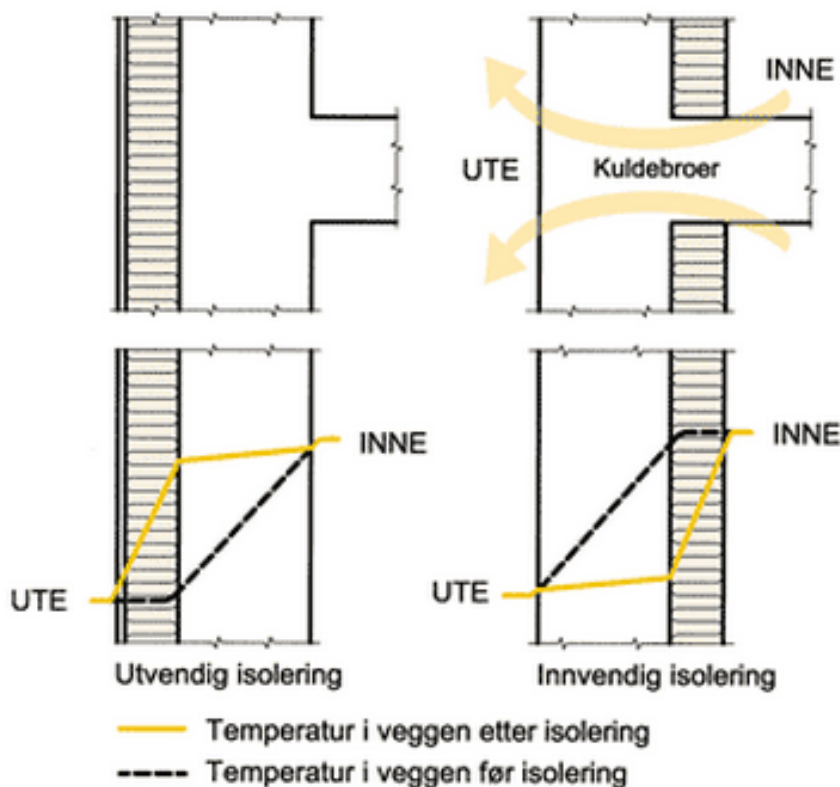


Figur 30 - Total varmetap - kilde: Byggforskserien

### 3.2.3 Vurdering av tiltak mot kuldebroer

Det er veldig viktig å vite hva slags muligheter man har når det gjelder tiltak som kan bidra til et bedre inn klima i murverk. Man kan etterisolere vegger, golv og taket, forbedre eller utskifte vinduer og tilpasse varme- og ventilasjonsanlegg.

Vegger, tak og golv med dårlig varmeisolerings (høy U-verdi) kan føre til kaldere overflater og økt varmetap om vinter. Hvilke metoder man bruker for etterisolering avhenger av bygningens utforming og omgivelse. I hovedsak er det to metoder man kan bruke: Utvendig etterisolering og Innvendig etterisolering.



Figur 31 - Effekt av utvendig og innvendig isolasjon – Kilde: Byggforskserien

Begge disse metodene følges av fordeler og ulemper som er listet i Tabell 13 - Innvendig og utvendig isolering

Tabell 13 - Innvendig og utvendig isolering

Innvendig etterisolering	Utvendig etterisolering
Fordeler	
- Hvor utvendig etterisolering ikke mulig	- Man unngår kuldebroer ved etasjeskillere

-isolere enkelte vegger	og tilstøtende innvegen - Kan utføres uten alvorlig sjeanse for beboere - Kan utføres uten tap av innvendig bruksareal
<b>Ulemper</b>	
- Økte kuldebroproblemer - Tap av innvendig bruksareal - Oppvarmingssystem med radiator og stigeledninger - Får lavere minimumstemperatur, med dårlig uttøringsmuligheter - Teglsteinens frostbestandighet bør undersøkes først	- Omliggende bygningsmiljø og arkitektoniske forhold - Overgangen tak og vegg må bygges om fordi vegglivet blir flyttet utover - Vinduene må flyttes ut - Utvendig etterisolering uten at vinduene flyttes ut gir ofte kuldebroer ved vinduskarmene og beslagdetaljene for å unngå lekkasje er krevende
<b>Utførelsesmetode</b>	
1. Påføring med bindingsverk og kledning. Hovedkomponenter: - Bindingsverk - Varveisolasjon - Kledning 2. Pastaisolasjon med puss eller murt forblending Hovedkomponenter: - Plastisolasjon - Puss eller murt forblending	1. Det mures en utvendig forblending med mineral-isolasjon mellom den nye vangen og eksisterende vegg Hovedkomponenter: - Varveisolasjon - Forblending 2. Puss direkte på isolasjon med hovedkomponenter: - Varveisolasjon - Armert hovedpuss - Sluttpuss/overflatebehandling

### 3.3 Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggetekniske forskrift)

I Norge er det de byggetekniske forskrifter som gjelder når man skal dimensjonere bygninger.

Grunnen til at jeg tar med disse i denne oppgaven er en sammenligning og for å ha oversikt over hva myndighetene i Norge krever når det gjelder byggetekniske tiltak.

#### § 13-4. Termisk inneklima

Termisk inneklima i rom for varig opphold skal tilrettelegges ut fra hensyn til helse og tilfredsstillende komfort ved forutsatt bruk

#### § 14-3 Energiltak

Bygning skal ha følgende energikvaliteter vist i Tabell 14 - Energikvaliteter

Tabell 14 - Energikvaliteter

Beskrivelse	Verdi	Enhet
Andel Vindus- og dørareal	$\leq 20$	%
U-verdi <sup>(1)</sup> yttervegg	$\leq 0,18$	W/(m <sup>2</sup> K)
U-verdi tak	$\leq 0,13$	W/(m <sup>2</sup> K)
U-verdi gulv	$\leq 0,15$	W/(m <sup>2</sup> K)
U-verdi glass/vindu/dør Inkl. ert karm/ramme	$\leq 1,2$	W/(m <sup>2</sup> K)

(1) U-verdi = Varmegjennomgangskoeffisient =  $1/\Sigma R + \Delta U_g$  Hvor  $\Delta U_g$  er 0,008 W/(m<sup>2</sup>K)

#### § 14-4. Energirammer

Totalt netto energibehov for boligblokk skal ikke overstige 115 kWh/m<sup>2</sup> oppvarmet BRA pr. år

Men i Afghanistan er disse forskriftene ikke ferdig bearbeidet ennå og når jeg kontaktet Afghanistans "Department Of Norm and Standards", sa de at på grunn av lite ressurser går prosessen veldig sakte. Og på grunn av manglende kontroll fra myndighetene, bygger folk uten å ta hensyn til inneklima eller energieffektivisering.

### 3.4 Passivhus

Passivhus er opprinnelig et konsept utviklet i Tyskland for å bygge på en mer ansvarlig måte slik at energibehovet blir redusert til minst mulig ved å anvende passive tiltak. Disse passive tiltakene kan være:

- Bygge kompakt med godt isolert klimaskjerm, få kuldebroer og god lufttetthet
- Beskjedent vindusareal, vinduer og dører med lav U-verdi og effektiv solavskjerming

- Utnytte bygningens varmelagringskapasitet
- Ventilasjonssystem med effektiv varme gjenvinner
- lavenergi belysning og behovsstyrt ventilasjons og lys
- Benytte solenergi

Tyskland har et varmere klima, mer sol og mindre ekstrem vær enn Norge. Men tross dette har også nordmenn klart å bygge mange gode passivhus og det finnes også standard for passivhus i Norge. Et av kriteriene for passivhus er hvor mye energi man bruker til oppvarming eller nedkjøling gjennom et helt år. Dette er avhengig av hvordan bygget er utført, geografisk beliggenhet og mengde solenergi man har til disposisjon. Derfor vil årlige energiforbruket variere mellom for eksempel Norge og Afghanistan. Afghanistan har ikke kaldere vintre som Norge og derfor vil oppvarmingsbehovet være mindre, men Afghanistan har mye varmere å summere som gjør at nedkjølingsbehovet er mye større enn i Norge. Fordelen i Afghanistan er flere soldager og en solfluks som er mye større enn solfluksen her i Norge. Siden solenergi er den eneste energi som tas i beregningen av energibehov i et passivhus, vil økning av denne energien bidra til redusere netto energibehov i en bygning. Dermed vil et passivhus i Afghanistan kreve mindre levert energi per kvadratmeter enn et passivhus i Norge. Men hvorfor skal man bygge passivhus og hvis man bygger hva er fordeler og ulempene med passivhus:

Fordeler med passivhus kan være:

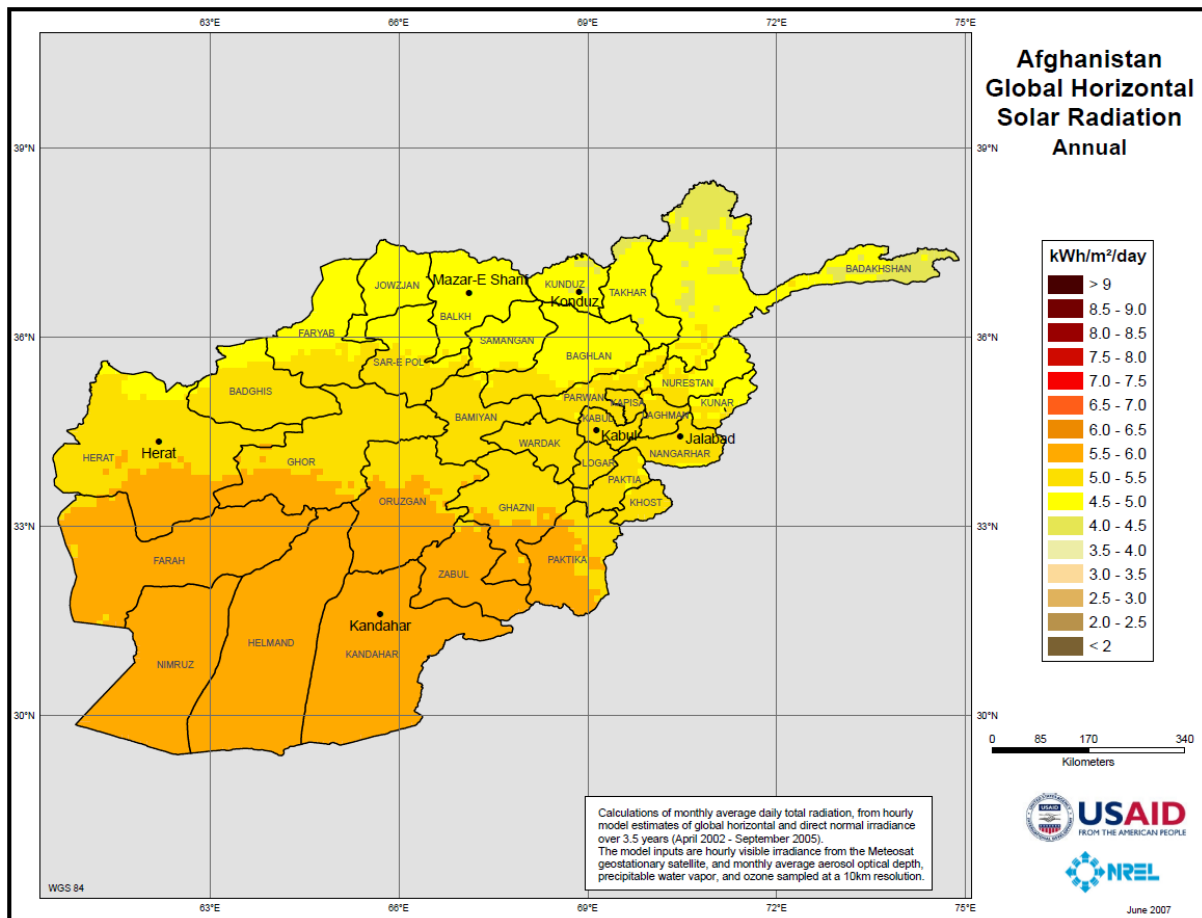
- lavere driftsutgifter
- bedre inneklima
- boligens verdiøkning
- samfunnsmessig gevinst av lavt energiforbruk

Ulempene med passivhus kan være:

- Arkitektoniske rammebetingelser f.eks. plassering og størrelse av vinduer
- areal og volumtap på grunn av tykkere konstruksjoner
- ekstra kostnader som følge av bedre varmeisolerende materialer til isolasjon

### 3.5 Solenergi

Solenergi er den energien som sola produserer og avgir i form av stråling. Denne energien kan benyttes passivt som solvarme som overføres gjennom et vindu inn i rommet eller aktivt som solcellepanel som samler denne energien og bruker den til å lage strøm som kan brukes til andre formål enn oppvarming. Sammenlignet med Norge er total levert solenergi per kvadratmeter dobbelte i Afghanistan.



Figur 32 -Solstrålingsenergi i Afghanistan - kilde: [www.nrel.gov/](http://www.nrel.gov/)

I Herat er solenergien ca. 5,0 kW/m<sup>2</sup>dag. I tillegg er antall soldager, altså klar himmel mye mer i Afghanistan enn i Norge. Dette viser at solenergi er mye større i Afghanistan enn i Norge.

Totalt energitilskudd gjennom et vindu kan beregnes på følgende måte:

$$Q_s = Q_\alpha \cdot S \cdot A_g \cdot a \text{ (kWh)}$$

Her er:

$Q_\alpha$ = strålingsenergi på utsiden av vinduet (uskjernet flate) (kW/m<sup>2</sup>)

S = solfaktor for glasset

$A_g$  = vinduets glassareal (m<sup>2</sup>)

a = avskjermingsfaktor

### 3.6 Solskjerming

For å sikre at uønsket solvarmen om sommer skal ikke komme inn, bruker man gjerne solskjerming. Denne solskjermingen har stor betydning for overoppheting av rommet og kjølebehov. Solskjermingen kan være:

- manuelle utvendig eller innvendig
- permanent utvendig
- automatiske eller behovsstyrt

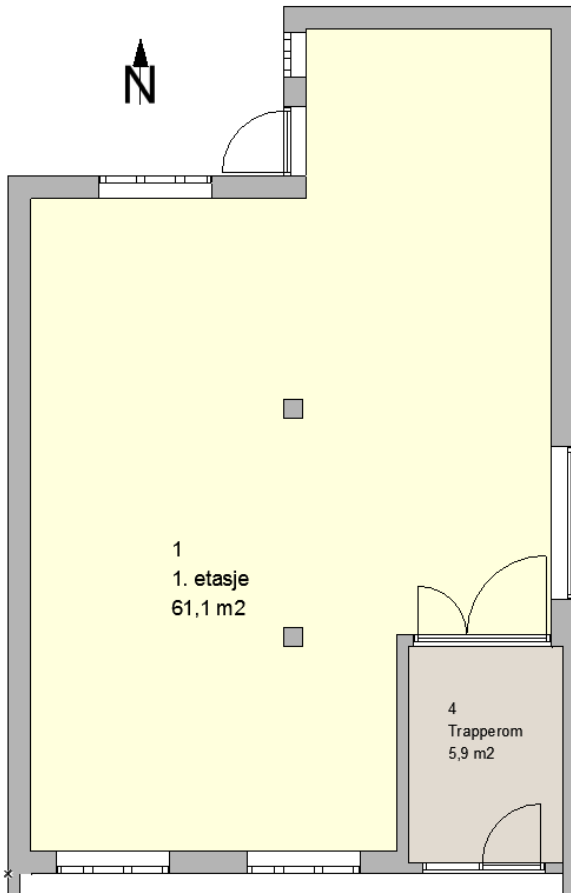
Solskjermingsfaktorene kan regnes etter NS-3021:2007 pkt. E2.

$$FS = F_{hor} F_{ov} F_{fin}$$

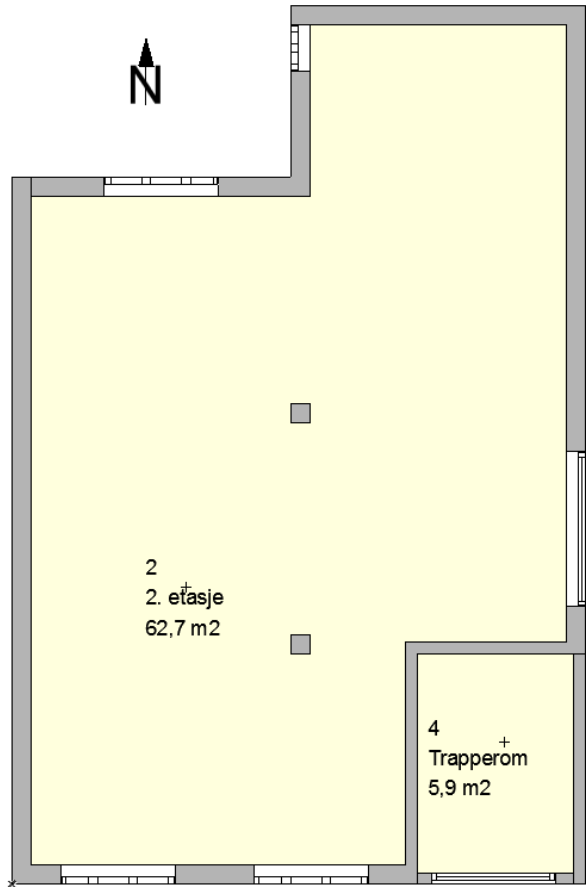
Hvor  $F_{hor}$  Solskjermingsfaktor for horisonten,  $F_{ov}$  er solskjermingsfaktor for overheng og  $F_{fin}$  solskjermingsfaktor for finner ved siden av vindu. Verdiene bestemmer man etter NS-EN ISO 13790

## 4 Eksempelbygg

Bygget jeg bruker i denne oppgaven er en bolig bygget i murverk i 2005. Hvis vi ser boligen fra sør, er det en tre etasje bolig bygg, men når vi ser på boligen fra øst, ser vi av at tredje etasje er bare et rom med bredde lik fasaden i sør. Boligen består av to boenheter og rommet i tredje etasje er et soverom/arbeidsrom som hører til boenheten i andre etasje.

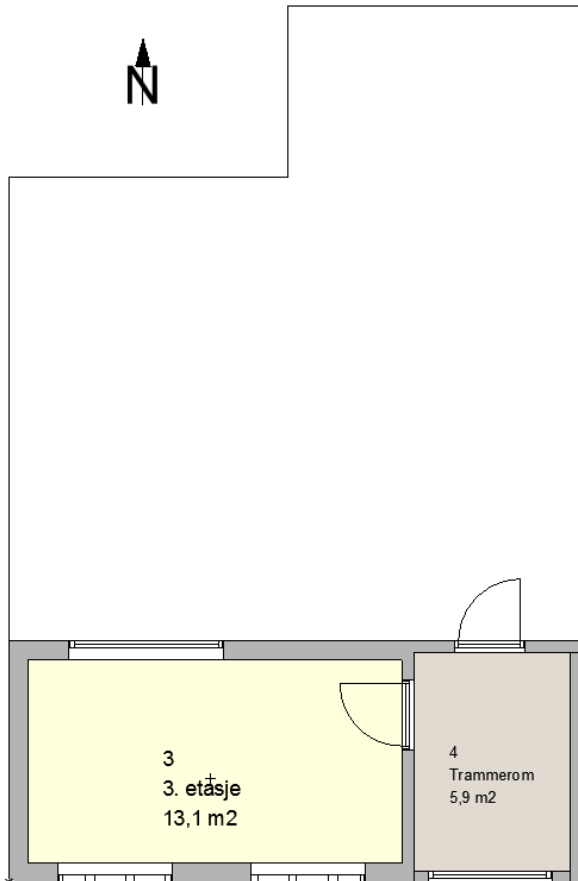


Figur 33 - 1.etasje



Figur 34 - 2. etasje





Figur 35 - 3.etasje

Boligens samlede bruksareal er  $143\text{m}^2$  hvor  $137\text{m}^2$  er oppvarmet areal. Med en takhøyde på  $2,7\text{m}$  blir oppvarmet volum =  $370\text{m}^3$ . Antall personer som bor i boligen er 9. Boligen har naturlig ventilasjon og anses å være lufttett. Siden boligen er lufttett blir varmetap pga. infiltrasjon lik null.. Arealet til dette rommet er  $5,9\text{m}^2$ , mens volumet er på hele  $50\text{m}^3$ . Dette rommet har store uisolerte vinduer som resten av bygget og kan fort bli kald eller varm. Trappen er bygget av støpt betong og boligen har flere tunge innervegger og derfor anser vi boligen tungt møblert.

#### 4.1 Beliggenhet

Området ligger litt utenfor sentrum med tilgang til strøm, vann og telekommunikasjon. Ikke alle tomtene i nabolaget er bebygget av forskjellige grunner, resten av bygningen i området er også murverksbygg med to eller tre etasjer.

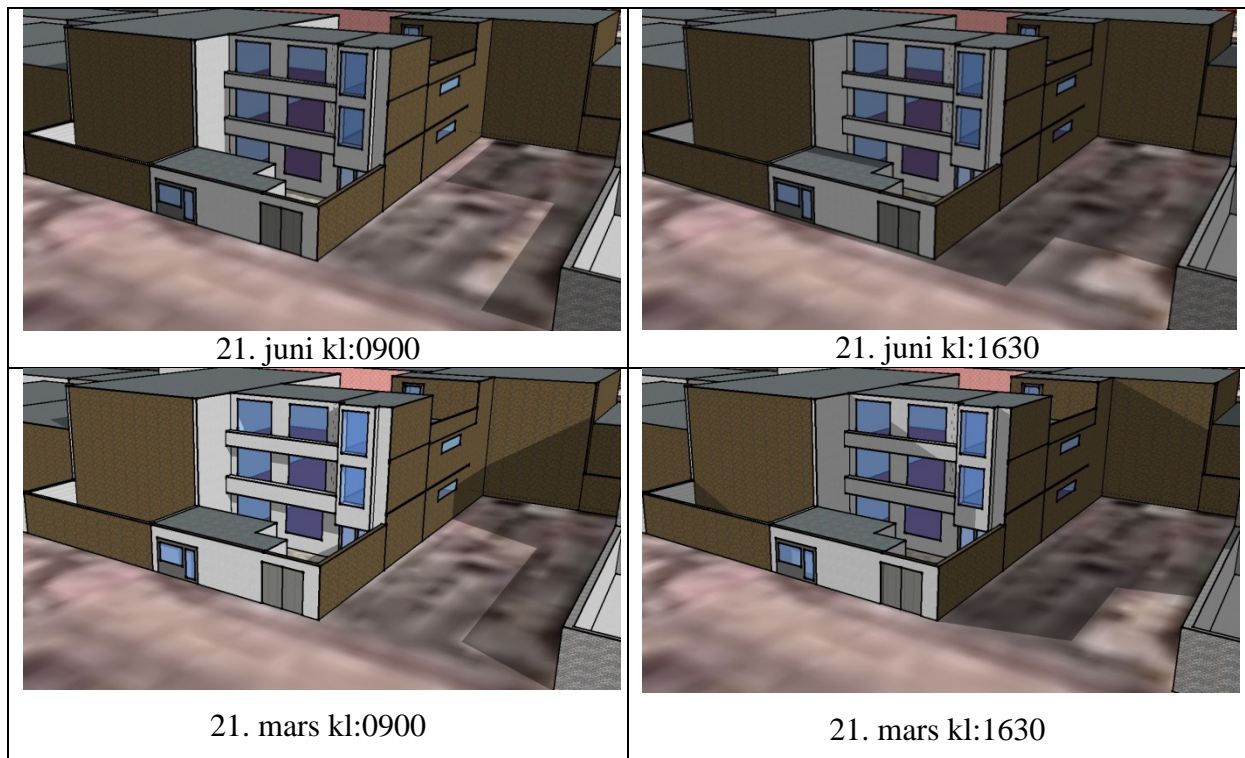


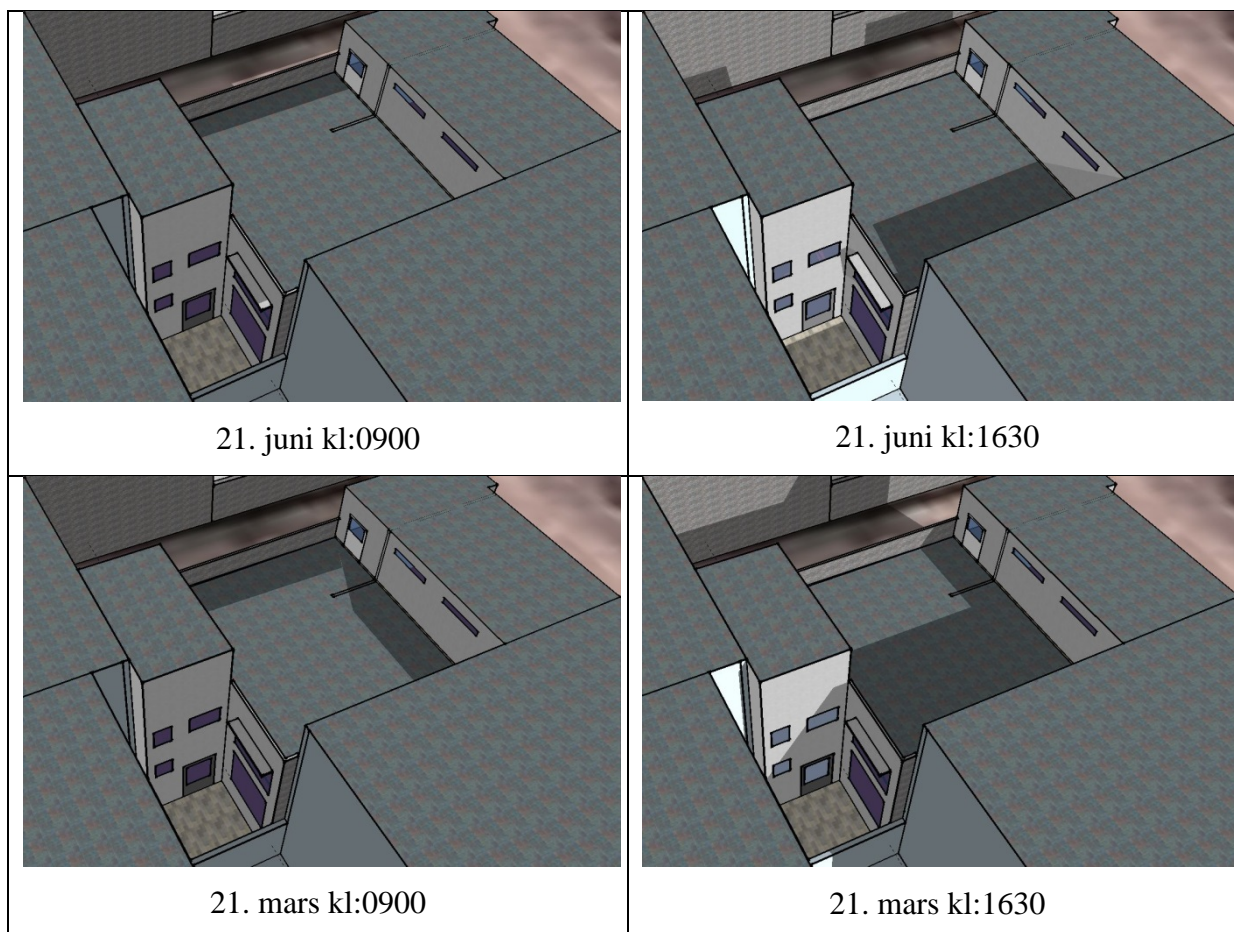
Figur 36 - Perspektiv utsikt fra sørøst

## Klimaforhold

Boligen 66 % av fasaden er utsatt for ytre klimapåkjenninger. På de neste åtte figurene har jeg laget et skyggediagram av solutsatt fasadene er i første dag i vår og første dag i sommer.

Tabell 15 - Skyggediagram





Tabell 16 - utsatte fasader

Fasade	Solforhold
Sør	Denne fasaden er veldig utsatt for sol med litt skygge fra bygget i vest
Øst	Denne fasaden er veldig utsatt for sol
Nord	Denne fasaden er delt i to. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fasaden i 1. og 2. etasje er lite utsatt for sol og nabobebyggelsen skygger på store deler av overflate arealet</li> <li>• Fasaden i 3. etasje er veldig utsatt for sol og med litt skygge fra nabo bebyggelse i vest</li> </ul>
Vest	Denne fasaden er også delt i to: <ul style="list-style-type: none"> <li>• En stor del av fasaden er delt fasade og dermed ikke utsatt for sol</li> <li>• En liten del av fasaden er utsatt for sol</li> </ul>

## 4.2 Fysiske egenskaper (eksisterende)

Tabell 17 - Dokumentasjon av sentrale inndata (1)

Dokumentasjon av sentrale inndata (1)		
Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	119	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	63	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	63	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	26	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	139	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	367	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	2,64	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	2,94	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,47	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	4,36	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	18,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,15	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	175	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,02	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	

### Fundament og gulv

Boligens fundament er 250mm betong og boligens gulv er 200mm plasstøpt betong (se side 24).

### Yttervegger

Ytterveggene i 1. etasje er murverk bygget av 250x250mm betongblokker. ( se Tabell 4).

Ytterveggene i 2. og 3. etasje er bygget med 200mm murverk av tegl (Se Tabell 1) Ytterveggene i fasadene sør, vest og nord er utvendig behandlet med kalksement puss, mens østfasaden er ikke utvendig behandlet. Alle yttervegger er bærende og ingen av dem har isolasjon.

### Innervegger

Innervegger er bygget av 100mm murverk av tegl (se Tabell 3). Begge sider behandlet med halmleire og gips.

## Taket

Taket er kompositt tak (se Tabell 7)

## Etasjeskillere

Etasjeskillere er akkurat som tak bygget av stålbjelker og teglstein (se Tabell 9)

## Vinduer og dører

Alle vinduer og ytterdør har ramme av stål og ettlags glass. Glassareal til dørene er veldig lite.

Vinduene har en u-verdi 4,5 (W/(m<sup>2</sup>K)) og dørene har u-verdi 3,0 (W/(m<sup>2</sup>K))

Solskjermingsfaktor for hvert vindu anslår vi ved å bruke orienterende faktorer<sup>7</sup>.

## Installasjoner

Boligen har naturlig ventilasjon.

Tabell 18 - Dokumentasjon av sentrale inndata (1)

Beskrivelse	Verdi	Dokumentasjon
Areal yttervegger [m <sup>2</sup> ]:	119	
Areal tak [m <sup>2</sup> ]:	63	
Areal gulv [m <sup>2</sup> ]:	63	
Areal vinduer og ytterdører [m <sup>2</sup> ]:	26	
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m <sup>2</sup> ]:	139	
Oppvarmet luftvolum [m <sup>3</sup> ]:	367	
U-verdi yttervegger [W/m <sup>2</sup> K]	2,64	
U-verdi tak [W/m <sup>2</sup> K]	2,94	
U-verdi gulv [W/m <sup>2</sup> K]	0,47	
U-verdi vinduer og ytterdører [W/m <sup>2</sup> K]	4,36	
Areal vinduer og dører delt på bruksareal [%]	18,7	
Normalisert kuldebroverdi [W/m <sup>2</sup> K]:	0,15	
Normalisert varmekapasitet [Wh/m <sup>2</sup> K]	175	
Lekkasjetall (n50) [1/h]:	0,02	
Temperaturvirkningsgr. varmegjenvinner [%]:	0	

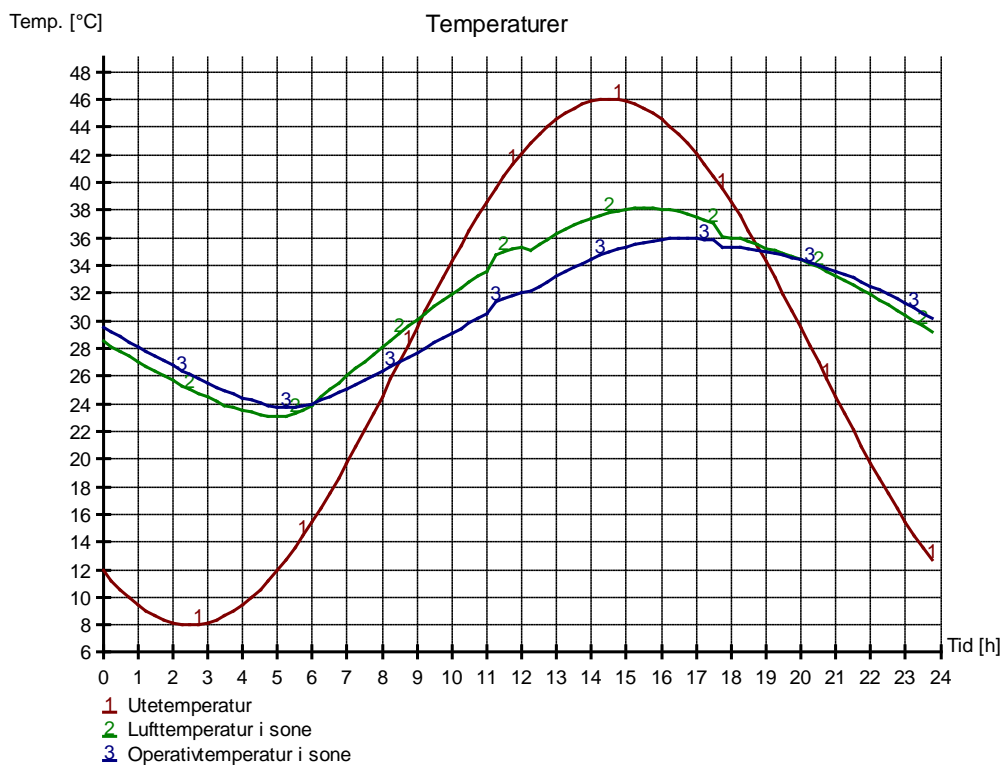
Jeg har valgt å dele bygget i tre soner for å kunne simulere energibehovet. Hver etasje representerer en sone. Både 1. og 2. etasje har innervegger som jeg valgte å tegne ikke inn i plantegningen. Grunnen er at hver etasje har kun et varmeanlegg og innvendige dørene anses å være åpne på det meste.

## Simuleringer

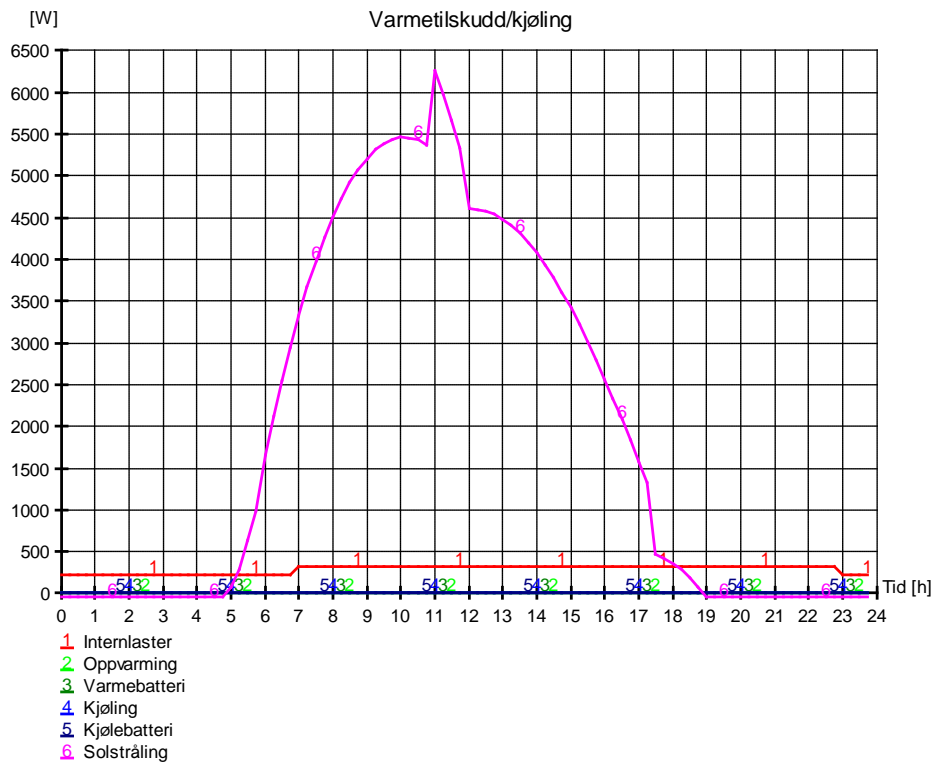
For å simulere boligen i programvaren SIMIEN, som bruker månedsstasjonær beregningsmetode etter 3031:2007 for å lage et energibudsjett for boligen. Jeg har delt boligen i fire soner som kobles til hverandre via dører. Hver etasje representerer en sone i tillegg til trapperommet i sørøst fasaden som representerer et uoppvarmet areal. Jeg velger 2. etasje som eksempel for å vise effekten av simuleringen, men i resultatet er energibudsjett for hele bygget som er viktigste kriteriet.

Jeg bruker 21. juni som en sommerdag og 21. desember som en vinterdag når jeg skal simulere energibehovet og inneklima.

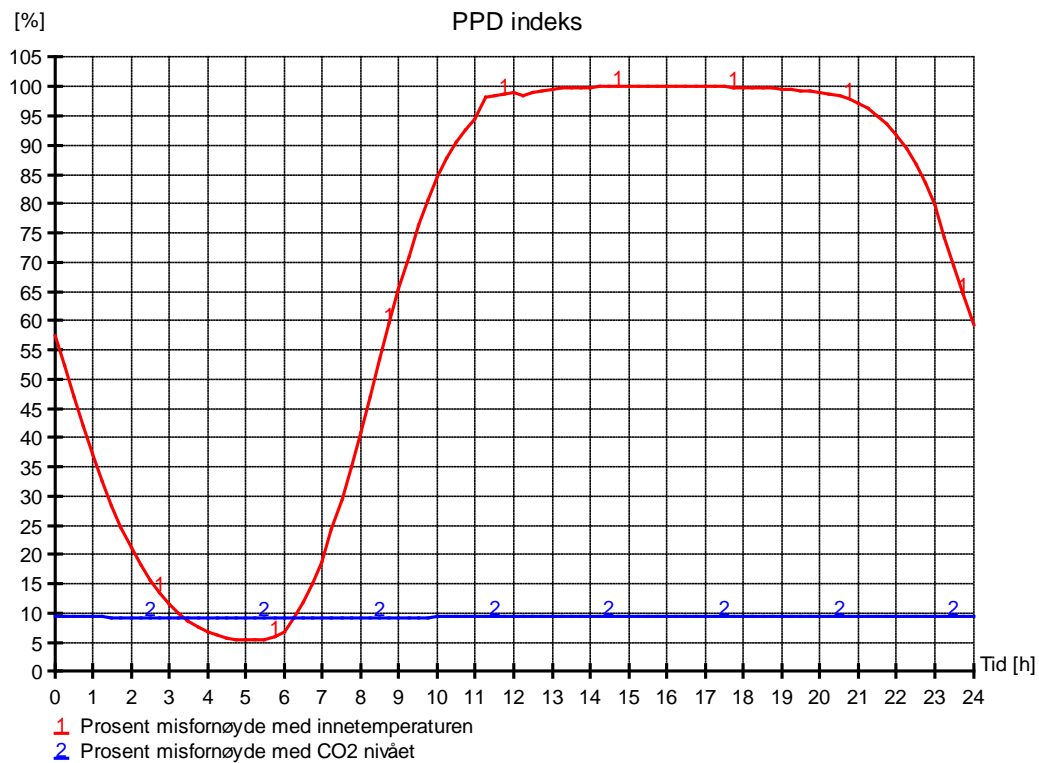
### Sommersimulering



Figur 37 - Temperaturer om sommer for 2. etasje, eksisterende bygg



Figur 38 - Varmetilskudd om sommer for 2. etasje, eksisterende bygg

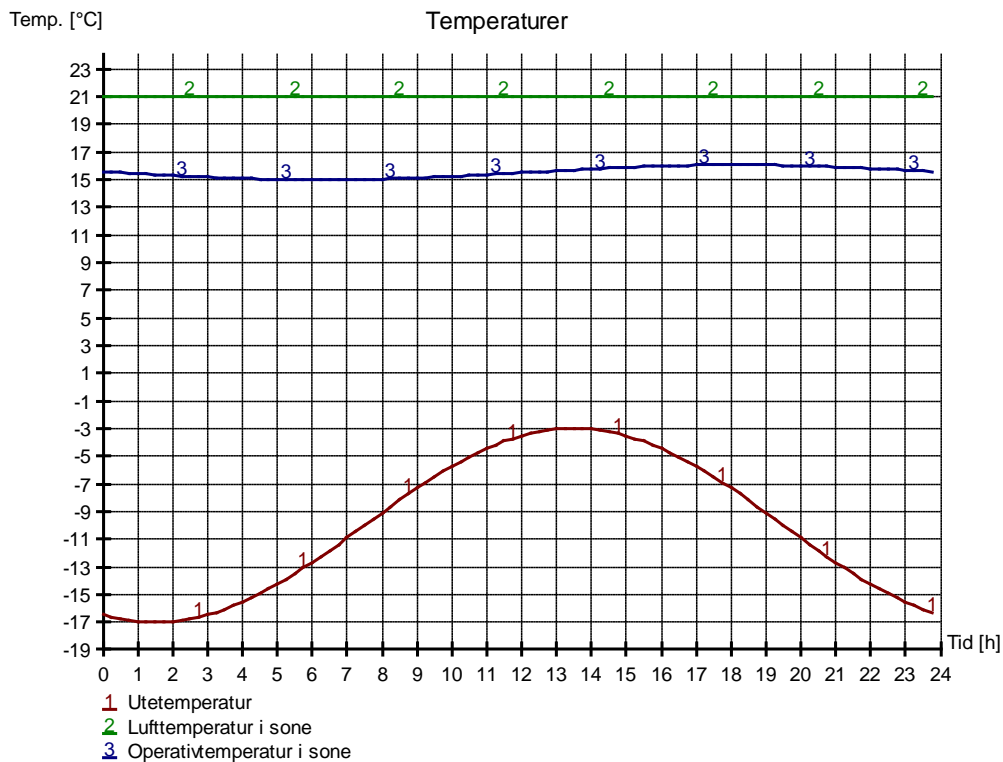


Figur 39 - Andel misfornøyde som følge av CO2-konsentrasjon og innnetemperatur, eksisterende bygg

## Vintersimulering

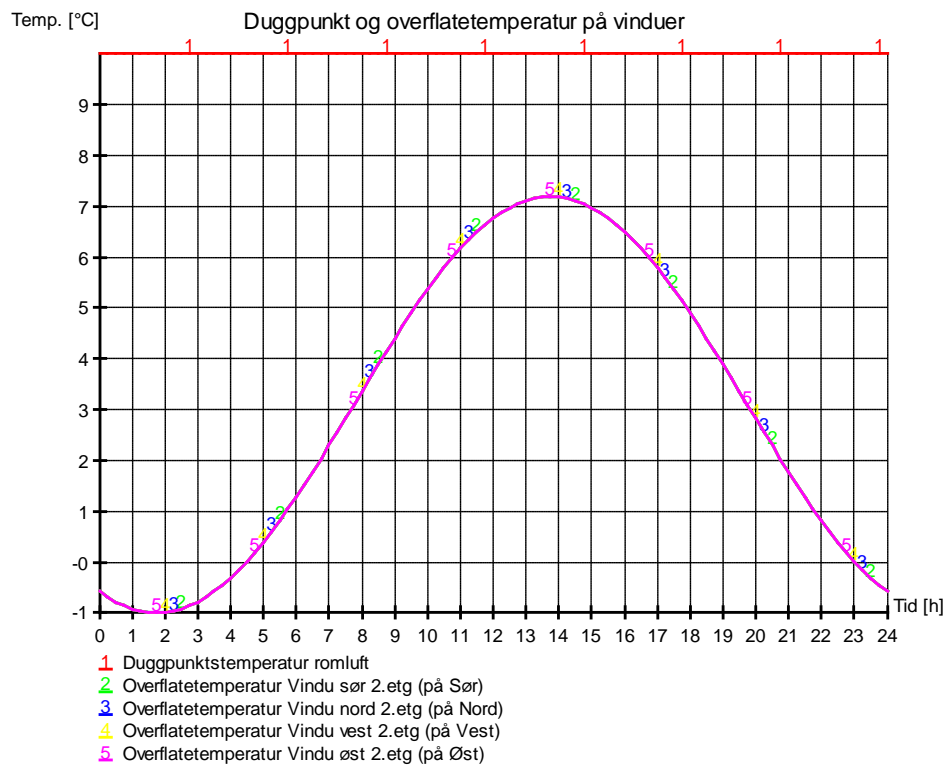
Tabell 19 -Sammendrag av nøkkelverdier for 2. etasje, eksisterende bygg

Sammendrag av nøkkelverdier for 2. etasje		
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt
Min. innelufttemperatur	21,0 °C	00:45
Min. operativ temperatur	15,0 °C	06:15
Maks. CO2 konsentrasjon	380 PPM	00:00
Maks. effekt forvarmebatteri varmegjenvinner	0 W / 0,0 W/m <sup>2</sup>	00:00
Maksimal effekt oppvarmingsanlegg:	13,3 kW / 213,4 W/m <sup>2</sup>	03:45
Installert effekt romoppvarming	6220 W / 100,0 W/m <sup>2</sup>	03:45



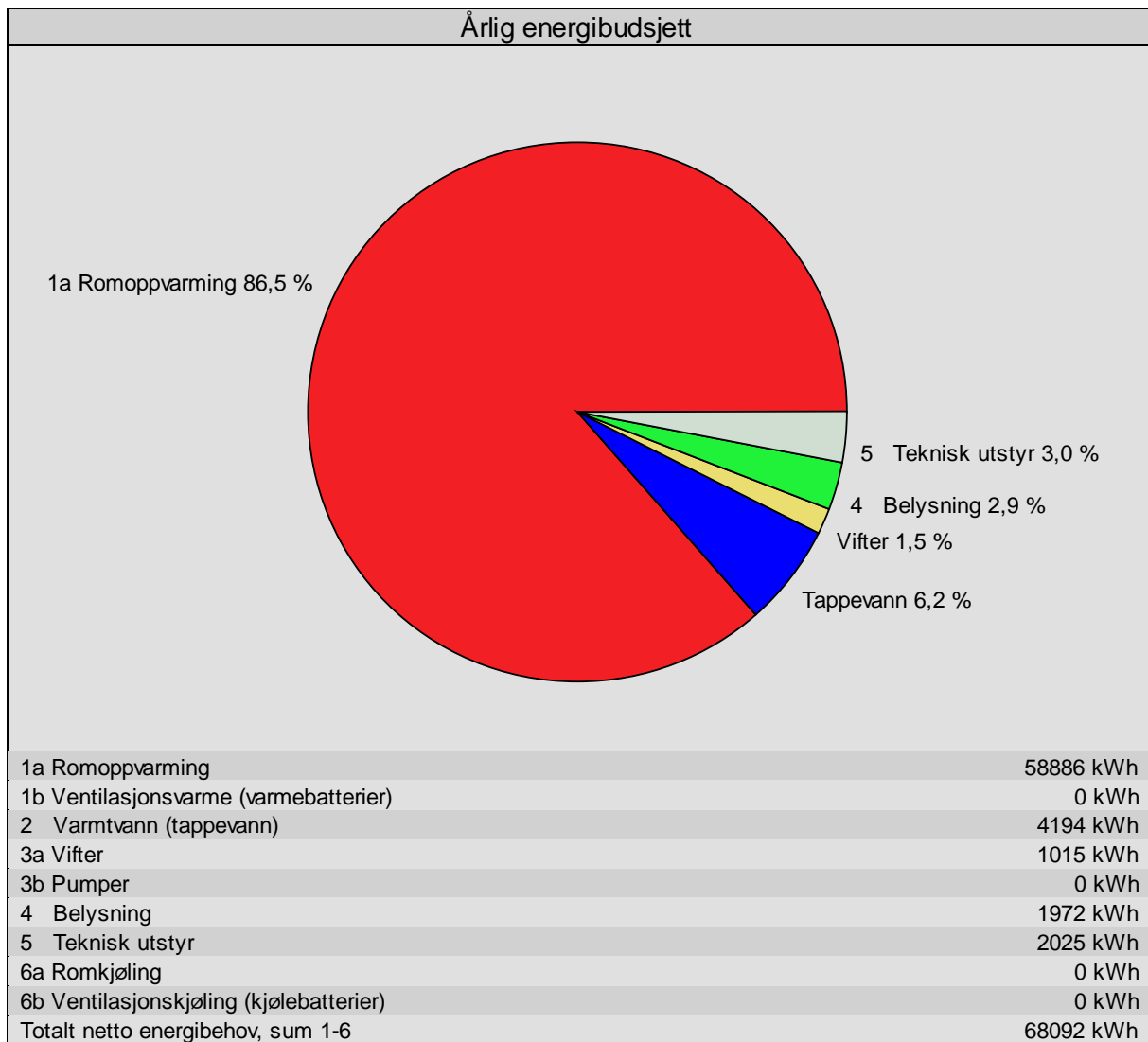
Figur 40 - Temperaturer om vinter for 2. etasje, eksisterende bygg



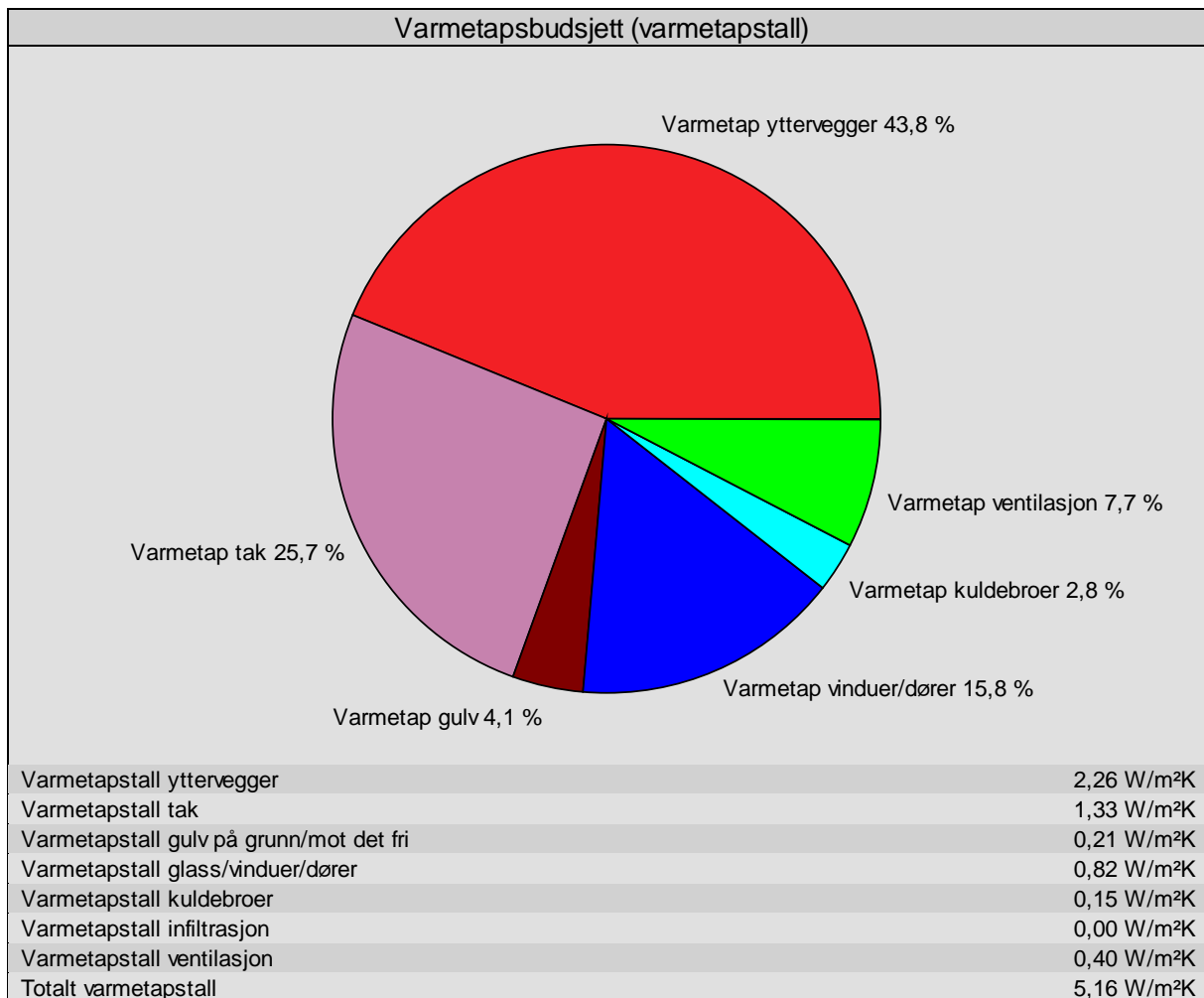


Figur 41 - Duggpunkt og overflatetemperatur på vinduer i 2. etasje, eksisterende bygg

## Energibudsjett



Figur 42 - Årlig energibudsjett til eksisterende bygg



Figur 43 - Varmetapbudsjett til eksisterende bygg

## Konklusjon

I Herat er sommeren veldig langt og temperaturen ute kan bli opptil 46 °C. Derfor er det veldig viktig for at boligen skal kunne tåle varmen, d. v. s. at varmen ikke slippes inn gjennom konstruksjonsdelene. Når vi simulerer et rom om sommeren i en bolig er det viktig å se på den operative temperaturen, samt CO<sub>2</sub> konsentrasjon i innelufta. Disse to punktene bestemmer nemlig hvor stor andel av beboerne som er misfornøyde med innelufta. Jo lavere andel misfornøyde, desto bedre er inneklimate. Figur 39 viser hvordan temperaturen endrer seg i løpet av et døgn. Den maksimale operative temperaturen er på 36 °C om sommer, på ettermiddagen. Boligen har naturlig ventilasjon. Det betyr boligen får ikke tilluft og avtrekkene brukes bare etter behov. For utskifting av innelufta er man nødt å åpne dører og vinduer manuelt med lav frekvens. Dette fører til at innelufta blir varmere og varmere pga. varmetilskudd fra sola. Som følge av dette blir andel misfornøyde opptil 100 %. Se Figur 41.

Hovedårsaken til dette er varmetilskudd fra sola som vi ser i Figur 40. I tillegg til dette vil størrelse på vinduer, vinduenes varmeegenskaper, solskjerming, u-verdi til vegger og tak, og varmetilskudd fra lys, utstyr og personer spille en viktig rolle. For å redusere denne temperaturen kan vi i første omgang forbedre egenskapene til konstruksjonsdelene. Deretter må vi bruke solskjerming, enten passiv eller aktiv, hvis temperaturen er fortsatt høyt blir vi nødt til å bruke kjøleanlegg.

Vinteren i Herat er i motsetning til sommer veldig kort, men pga. dårlig isolerte boliger, vil en liten klimaendring ute kjennes stor inne i huset. I Figur 42 ser vi at boligen bruker veldig mye energi til å holde lufttemperaturen oppe ( $13,3 \text{ kW/m}^2$ ), tross dette er den operative temperaturen veldig lav ( $15 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Den operative temperaturen er, i tillegg til lufttemperatur, avhengig av temperaturen til boligens indre overflater, og overflatetemperaturen er avhengig av u-verdi og temperaturforskjell mellom ute og inne. Se pkt. 3.1.1 Overflatetemperatur (strålingstemperatur).

En annen årsak til lave operative temperaturen er vinduenes overflatetemperatur. Vinduenes overflate vil alltid være de kaldeste overflatene siden vinduene generelt har lavere u-verdi enn andre konstruksjonsdelene ellers. Ved en temperatur hvor relativ fuktighet i rommet er høyt, vil lufta bli mettet med vann og overskuddet vil felle ut som kondens på overflater. Derfor er det viktig med lav u-verdi til vinduene slik at duggpunktet blir alltid lavere enn vinduenes min. overflatetemperatur. Figur 43 viser at det vil alltid være dugg på alle vindusoverflatene.

Korte vinter har gjort at folk bruker veldig mye energi i de kaldeste månedene. Dette bekreftes i Figur 44. Beboerne i boligen bruker elektrisitet, gass og ved til oppvarming om vinter og elektrisitet til nedkjøling om sommer. Tross boligens høye energibruk, er beboerne fortsatt misfornøyd i de verste månedene i sommer og vinter.

Boligen bruker  $68092 \text{ kWh}$  i løpet av et år som tilsvarer  $490 \text{ kWh/m}^2$ . Dette er simuleringsresultat som forteller at varmeanlegget ville bruke så mye energi dersom vi ønsket en lufttemperatur på  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  hele tiden i rommet. I virkeligheten betyr dette at beboerne må ekstra bekleddning inne i rommet.

Grunnen til det er klimaskjermen som prøver å holde på varmen, men pga. konstruksjonsdeler med høy varmetapstall, klarer ikke og dermed en del av varmen som produseres inne går tapt. Figur 45 viser at varmetapstallet blir opptil  $5,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  med største andel gjennom yttervegger.

Med dette konkluderer jeg at bygningens klimaskjerm er ikke i stand til å motstå ytre klimapåkjenninger og bør rehabiliteres til en mer bærekraftig stand.

## 4.6 Vurdering og tiltak

Etter å ha analysert boligen kan vi se at boligen har ikke godt inneklima, bruker mye energi til oppvarming og utnytter ikke solenergi. I analysen har jeg satt settpunkttemperaturen lik 21C om vinter. Dette betyr i praksis at varmeinstallasjoner gir større effekt for å heve innnetemperaturen til 21C og siden det meste av denne oppvarmingsenergien går tapt, vil boligens total netto energibehov påvirkes direkte av dette. Vi blir nødt til å ha tiltak som reduserer dette tapet. Tiltakene kan være etterisolering av vegger tak og golv, utskifting av vinduer og dører og installere ventilasjonsanlegg med varmegjenvinnere. Hvordan en velger å etterisolere kan variere. Derfor vil jeg bruke tiltak som er bærekraftig med tanke på miljø, økonomi og samfunnet.

## Vegger

### Mot det frie i sør, vest og nord 1. etasje

Disse veggene har en u-verdi lik 2,6 W/(m<sup>2</sup>K). For å redusere dette kan veggene isoleres utvendig eller innvendig. Siden veggene allerede har er veldig tykke, er vi nødt til å benytte av et isolasjonsmateriale med lavest mulig varmekonduktivitet. Det meste tilgjengelige materiale i herat er isopor og mineralull. Av disse to er isopor billigst og lettest å skaffe. Derfor prøver jeg i første omgang isopor til etterisolering av eksisterende bygg.

### Alternativ 1: Murverk av betong, utvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 20 – Varmeegenskapene til murverk av betong, utvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43	

Puss (sement, sand)	0,01	1,00	0,01	
Betongblokk	0,25	2,0	0,13	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	0,48		2,02	0,50

### Alternativ 2: Murverk av betong, utvendig isolert med 100mm EPS.

Tabell 21 - Varmegenskapene til murverk av betong, utvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86	
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Betongblokk	0,25	2,0	0,13	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	0,53		3,45	0,29

### Alternativ 3: Murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 22 - Varmegenskapene til murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Betongblokk	0,25	2,0	0,13	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43	

Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	<b>0,51</b>		<b>2,12</b>	<b>0,47</b>

### Mot det frie i sør, vest og nord 2. etasje og 3. etasje

Disse veggene har en u-verdi lik 2,63 W/(m<sup>2</sup>K).

### Alternativ 1: Murverk av tegl, utvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 23 - varmeegenskapene til murverk av tegl, utvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43	
Puss (sement, sand)	0,01	1,00	0,01	
Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	<b>0,43</b>		<b>2,02</b>	<b>0,50</b>

### Alternativ 2: Murverk av tegl, utvendig isolert med 100mm EPS

Tabell 24 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, utvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86	
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	

Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	0,48		3,45	0,29

### Alternativ 3: Murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 25 - Varmegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Ventilert hulrom	0,02		0,13	
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	0,46		2,12	0,47

### Mot det frie i øst 1. etasje

På østsiden av bygget ligger en ledig tomt som eieren ikke har bygget ennå og derfor er østfasaden ikke utvendig behandlet. Denne veggen er en del av klimaskjermen og inngår i energibudsjettet vårt og derfor er det viktig at denne veggen også blir rehabilitert. I motsetning til yttervegger i mot det frie i sør, vest og nord, kan denne veggen ikke etterisoleres utvendig og derfor blir vårt eneste alternativ å isolere den innvendig. I tillegg til innvendig etterisolering, er det viktig at vi overflatebehandler denne fasaden for å beskytte den mot ytre klimapåkjenninger som regn og snø. Man kan velge mellom 5cm eller 10cm isopor. Isopor legges direkte på gipslaget og etter det kan nye vangen mures og evt. festes med bindere. Den nye veggen blir behandlet på samme måte som de gamle med halmleire og gips.



## Alternativ 1: Murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 26 - Varmeegenskapene til murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK))	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))	Bruksareal tapt, m <sup>2</sup>
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01		
Betongblokk	0,25	2,0	0,13		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Ventilert hulrom	0,02		0,13		
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43		
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Innvendig overgangsmotstand			0,13		
<b>Total</b>	<b>0,46</b>		<b>2,12</b>	<b>0,48</b>	<b>3,4</b>

## Alternativ 2: Murverk av betong, innvendig isolert med 100mm EPS

Tabell 27 - Varmeegenskapene til murverk av betong innvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK))	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))	Bruksareal tapt, m <sup>2</sup>
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01		
Betongblokk	0,25	2,0	0,13		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Ventilert hulrom	0,02		0,13		
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86		
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Innvendig overgangsmotstand			0,13		
<b>Total</b>	<b>0,56</b>		<b>3,55</b>	<b>0,28</b>	<b>4,2</b>

## Mot det frie i øst 2. etasje og 3. etasje

På østsiden av bygget ligger en ledig tomt som eieren ikke har bygget ennå og derfor er østfasaden ikke utvendig behandlet. Denne veggen er en del av klimaskjermen og inngår i energibudsjettet vårt og derfor er det viktig at denne veggen også blir rehabilitert. I motsetning til yttervegger i mot det frie i sør, vest og nord, kan denne veggen ikke etterisolerers utvendig og derfor blir vårt eneste alternativ å isolere den innvendig. I tillegg til innvendig etterisolering, er det viktig at vi overflatebehandler denne fasaden for å beskytte den mot ytre klimapåkjenninger som regn og snø. Man kan velge mellom 5cm eller 10cm isopor. Isopor legges direkte på gipslaget og etter det kan nye vangen mures og evt. festes med bindere. Den nye veggen blir behandlet på samme måte som de gamle med halmleire og gips.

### Alternativ 1: Murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 28 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK))	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))	Bruksareal tapt, m <sup>2</sup>
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01		
Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Ventilert hulrom	0,02		0,13		
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43		
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Innvendig overgangsmotstand			0,13		
<b>Total</b>	<b>0,46</b>		<b>2,12</b>	<b>0,48</b>	<b>3,4</b>

### Alternativ 2: Murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS

Tabell 29 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK))	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))	Bruksareal tapt, m <sup>2</sup>
Puss (sement, sand)	0,01	1,0	0,01		

Murverk av tegl	0,20	1,61	0,12		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Ventilert hulrom	0,02		0,13		
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86		
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06		
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07		
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05		
Innvendig overgangsmotstand			0,13		
<b>Total</b>	<b>0,51</b>		<b>3,55</b>	<b>0,28</b>	<b>4,2</b>

### Mot uoppvarmet areal i sør og øst (trapperom)

Disse veggene har en u-verdi lik 2,32 (W/m<sup>2</sup>K). For å gi veggene en bedre u-verdi, kan vi etterisolere enten på innsiden eller på utsiden av veggene. Utvendig kan ikke isolere fordi arealet av trapperom kan ikke reduseres.

Derfor må vi etterisolere innvendig, som andre vegger mot det frie i øst, med 5 cm eller 10cm isolasjon og murverk av tegl.

### Alternativ 1: Murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS

Tabell 30 - Varmegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS (innervegg).

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Isopor EPS	0,05	0,035	1,43	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	<b>0,37</b>		<b>2,04</b>	<b>0,49</b>

## Alternativ 2: Murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS

Tabell 31 - Varmegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS (innervegg).

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86	
Murverk av tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire (sparklet)	0,03	0,45	0,07	
Gips (sparklet)	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
<b>Total</b>	0,42		3,47	0,29

## Taket

Taker er den konstruksjonsdelen som er mest utsatt for sommervarme og med en u-verdi tilsvarende 2,63 (W/m<sup>2</sup>K), vil slippe veldig mye av varme til sola gjennom taket. Takhøyden til boliger i Afghanistan er ofte 2,7 m. Det er høyt nok slik at man kan etterisolere taket innvendig.

## Alternativ 1: kompositt tak, innvendig isolert med 100mm EPS

Det legges 10cm med isopor og festes med bindere. Deretter settes takplater, gjerne med lav vekt, av tre som festes til det eksisterende taket med bindere. Den nye takhøyden blir 11 cm kortere. Dette vil beboerne knapt merke og 2,59 m takhøyde er fortsatt mer enn nok. Hele taket/himling til 2.etasje blir isolert i tillegg taket i tredje etasje.

Tabell 32 - Varmegenskapene til kompositt tak, innvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Asfaltbelegg	0,01		0,03	

Tegldekke	0,1	1,61	0,06	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86	
Takplate	0,006		0,04	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,26		3,24	0,31

### Alternativ 2: Kompositt tak, innvendig isolert med 200mm EPS

Det legges 10cm med isopor og festes med bindere. Deretter settes takplater, gjerne med lav vekt, av tre som festes til det eksisterende taket med bindere. Den nye takhøyden blir 2,49 m og er fortsatt nok. Hele taket/himling til 2.etasje blir isolert i tillegg taket i tredje etasje.

Tabell 33 - Varmeegenskapene til kompositt tak, innvendig isolert med 200mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Asfaltbelegg	0,01		0,03	
Tegldekke	0,1	1,61	0,06	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Isopor EPS	0,20	0,035	5,7	
Takplate	0,006		0,04	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,36		6,08	0,16

## Etasjeskillere

Etasjeskillere mellom 1. og 2. etasjen blir uendret, mens etasjeskillere mellom 2. og 3. etasje blir etterisolert sammen med taket til 2. etasje.

### Alternativ 1: Kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 100mm EPS

Tabell 34 - Varmeegenskapene til kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 100mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Teppe	0,01	0,06	0,17	
Tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,20	0,05	
Isopor EPS	0,10	0,035	2,86	
Takplate	0,006		0,04	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,26		3,38	0,30

### Alternativ 2: Kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 200mm EPS.

Tabell 35 - Varmeegenskapene til kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 200mm EPS

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, (W/mK)	Varmemotstand (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Teppe	0,01	0,06	0,17	
Tegl	0,10	1,61	0,06	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,20	0,05	
Isopor EPS	0,20	0,035	5,7	
Takplate	0,006		0,04	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
total	0,36		6,22	0,16

## Gulvet

Selv om gulvkonstruksjonen får en u-verdi lik 2,5 (W/m<sup>2</sup>K), er det ekvivalente u-verdien til gulvet lik 0,47(W/m<sup>2</sup>K). Derfor trenger vi ikke å etterisolere gulvet. Ekvivalente u-verdien ble regnet i SIMIEN.

## Dør og vinduer

Vinduer og dører har altfor høye u-verdier. Det anbefales vindu med minst tolags glass og en u-verdi på høyest 2,0 (W/m<sup>2</sup>K). Andel vinduer er på 19,3 % noe som er ikke mye, men hvis man ønsker ytterlige energisparing, anbefales å ha mindre vinduer. Vi bytter ut åtte vinduer på sør og nordfasaden til vinduer med størrelse 1,2x1,2 vinduer og en u-verdi lik 2,0(W/m<sup>2</sup>K). Tilsvarende u-verdi lik 2,0 (W/m<sup>2</sup>K) for ytterdører er også nødvendig. For å skjerme vinduene mot solstråling om sommer bruker vi overheng på 0,5 m på seks store vinduer i sørfasaden.

Tabell 4.6.5.1 solskjermingsfaktor

Tabell 36 - Varmeegenskapene til vinduene etter solskjerming

Vindu/dør	Skjermingsfaktor glass <sup>8</sup>	Skjermingsfaktor (Fast utspring 500mm dybde) <sup>9</sup>	Skjermingsfaktor gardiner <sup>7</sup>	Ny skjermingsfaktor
Sør	0,88	0,52	0,65	0,27
Nord, vest og sør	0,88	0	0,65	0,52

## Kuldebroer

Siden veggene mot det frie i nord, vest og sør blir utvendig behandlet, vil dette føre til reduisering av varmetap gjennom kuldebroer. Det nye kuldebroverdien for 1. og 2. etasje anslår jeg til å bli 0,05 W/m<sup>2</sup>K på grunn av utvendig isolering mens for 3. etasje, med et areal mye mindre, sette jeg normalisert kuldebroverdien lik 0,12 W/m<sup>2</sup>K.

## Installasjoner

Boligen naturlig ventilasjon i tillegg er det installert avtrekk fra kjøkken og bad i hver etasje. Disse driftes etter behov. For å installere et balansert ventilasjonssystem kreves det mye arbeid, men hvis vi ville øke energieffektiviteten til boligen ytterlige, er det absolutt utførbar. I vår tilfelle velger jeg å beholde avtrekk fra kjøkken og bad.

## Valg av tiltak

Følgende tiltak skal gjøres for at boligen kan være energieffektiv og ha bedre inneklima.

Tabell 37 - Aktuelle tiltak til prosjekt bolig

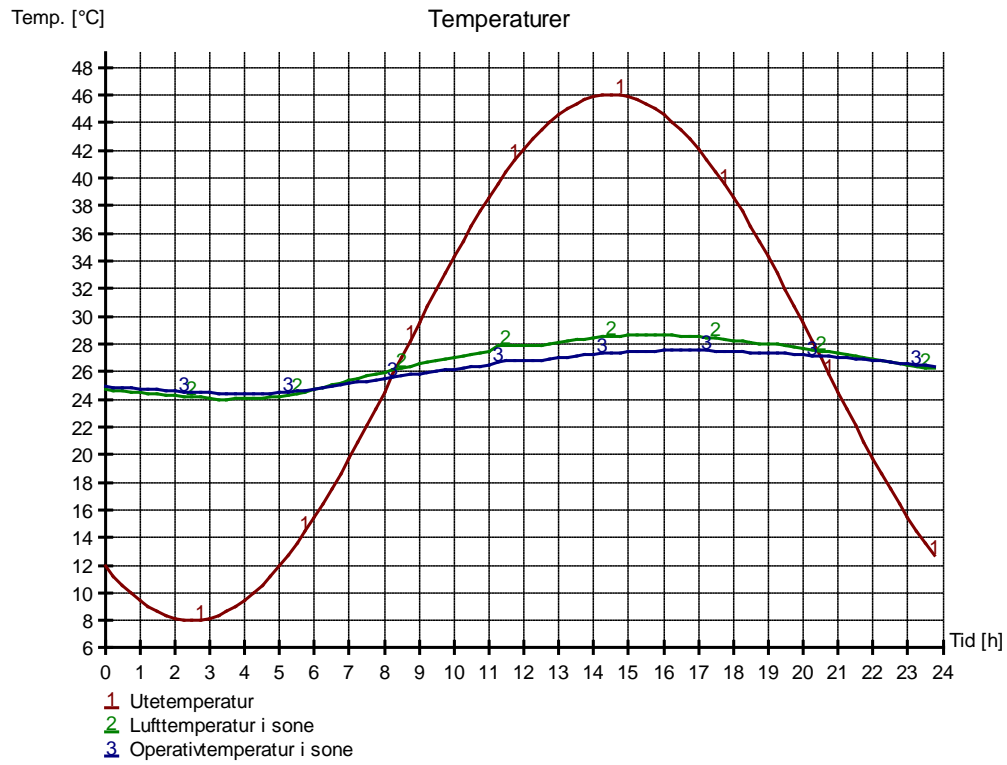
Konstruksjonsdel	Tiltak	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Vegger mot det frie i sør, vest og nord 1. etasje	Veggene kan etterisolerers utvendig med 10cm EPS og 10 cm murverk	0,29 Se Tabell 21
Veggen mot det fire i øst	Veggene etterisolerers innvendig med 5cm EPS og 10cm murverk. Utvendig overflatebehandling nødvendig.	0,28 Se Tabell 27
Veggene mot uoppvarmet trapperommet	Veggene etterisolerers innvendig med 10 cm isolasjon og 10 cm murverk	0,29 Se Tabell 31
Taket	Taket i 2. og 3 etasje blir innvendig etterisolert med 20cm EPS og takplater.	0,16 Se Tabell 33
Vinduer	Store vinduene i sør- og nordfasaden blir byttet ut med 1,2x1,2x0,05m tolags glass. Andre vinduer blir byttet ut bare.	2,0 Se pkt. 4.6.5
Dører	Ytterdøren i overgangen mellom trapperom og 1. og 2. etasje blir bittet ut med 1,2x2,1m dører av tre. Ytterdør mot utearealet blir byttet ut med en 0,9x2,1m dør. Ytterdøren i overgangen mellom 3. etasje og trapperom blir byttet ut med en 0,9x2,1 dør.	2,0

Total tap av bruksareal, som følge av etterisolering, er 10 m<sup>2</sup>. Disse tiltakene gir følgende resultater:

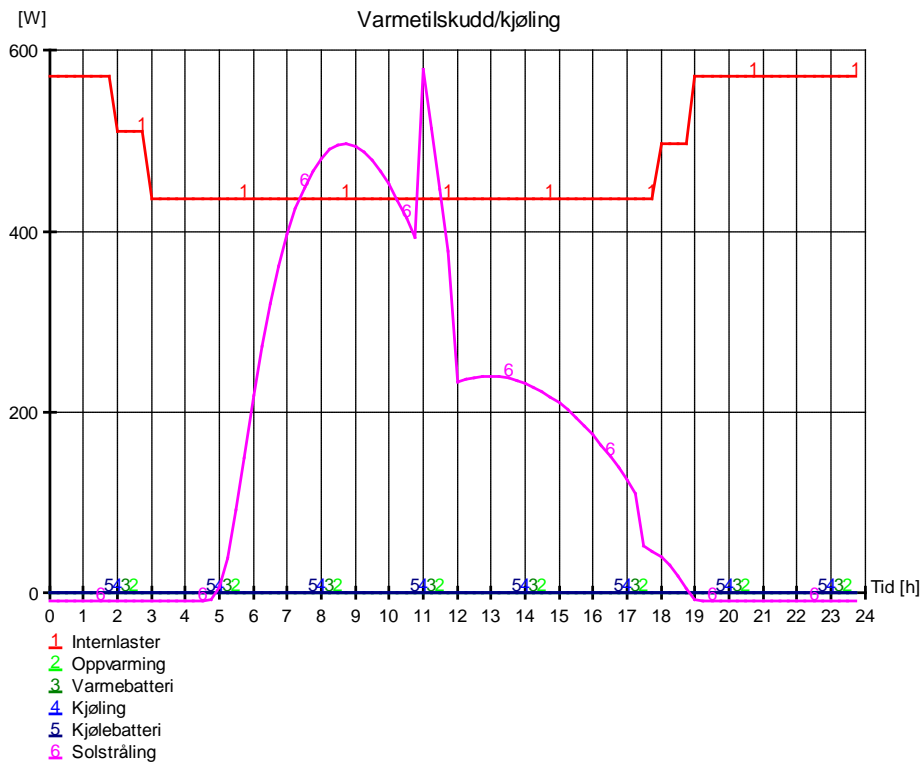


# Simuleringer

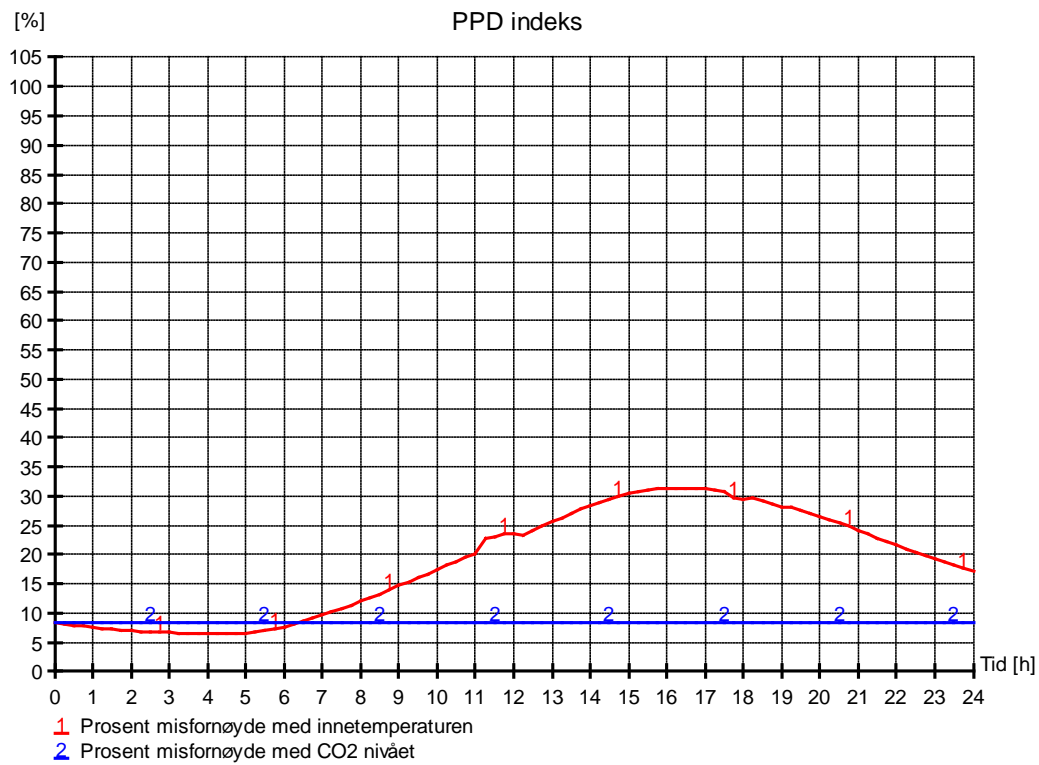
## Sommersimulering (21. juni)



Figur 44 - Temperaturer om sommer for 2. etasje



Figur 45 - Varmetilskudd om sommer for 2. etasje

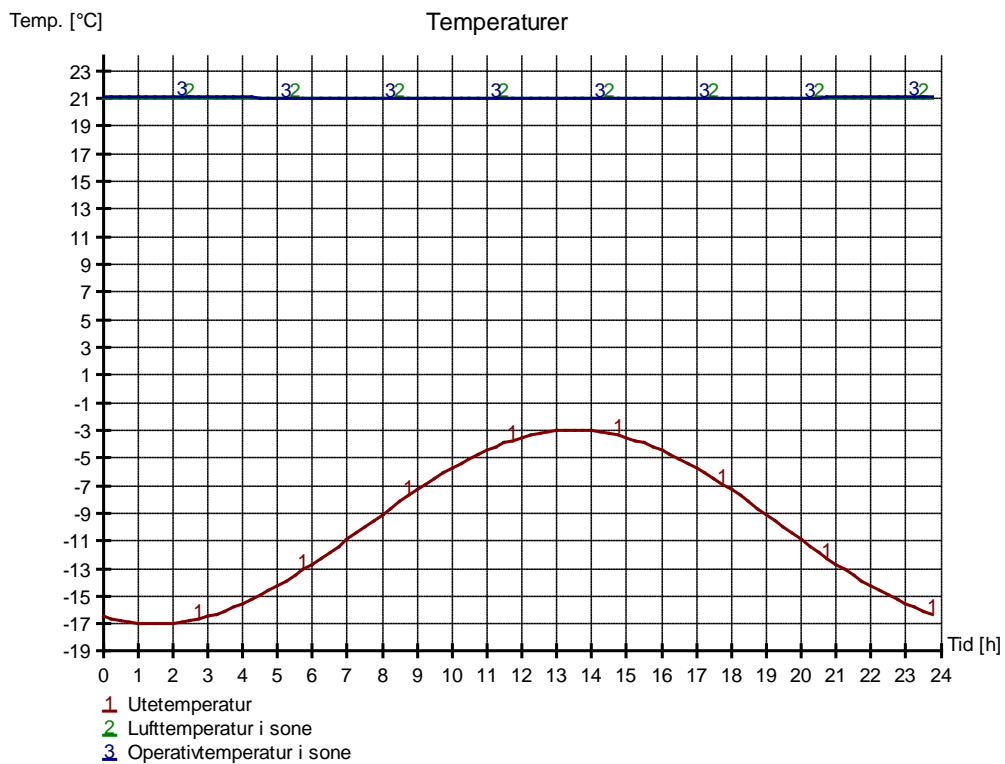


Figur 46 - andel misfornøye om sommer for 2. etasje

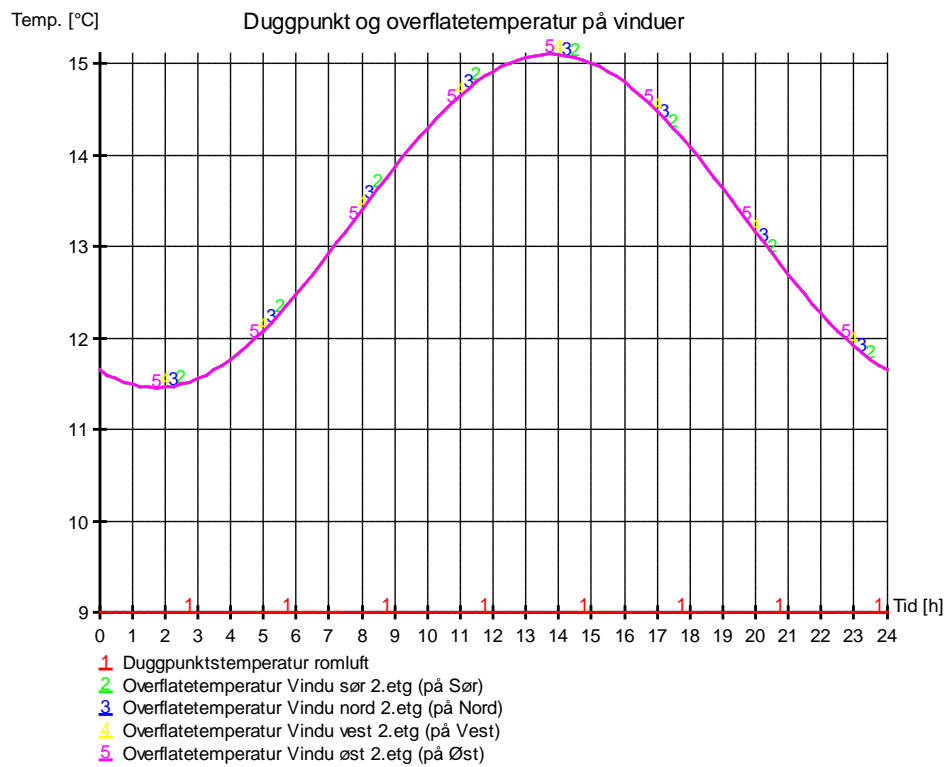
## Vintersimulering (21. des.)

Tabell 38 - Sammendrag nøkkelverdier for 2. etasje

Sammendrag av nøkkelverdier for 2. etasje		
Beskrivelse	Verdi	Tidspunkt
Min. innelufttemperatur	21,0 °C	00:30
Min. operativ temperatur	21,1 °C	13:45
Maks. CO2 konsentrasjon	380 PPM	00:00
Maks. effekt forvarmebatteri varmegjenvinner	0 W / 0,0 W/m <sup>2</sup>	00:00
Maksimal effekt oppvarmingsanlegg:	2076 W / 34,0 W/m <sup>2</sup>	01:30
Installert effekt romoppvarming	6110 W / 100,0 W/m <sup>2</sup>	01:30



Figur 47 -Temperaturer om vinter for 2. etasje

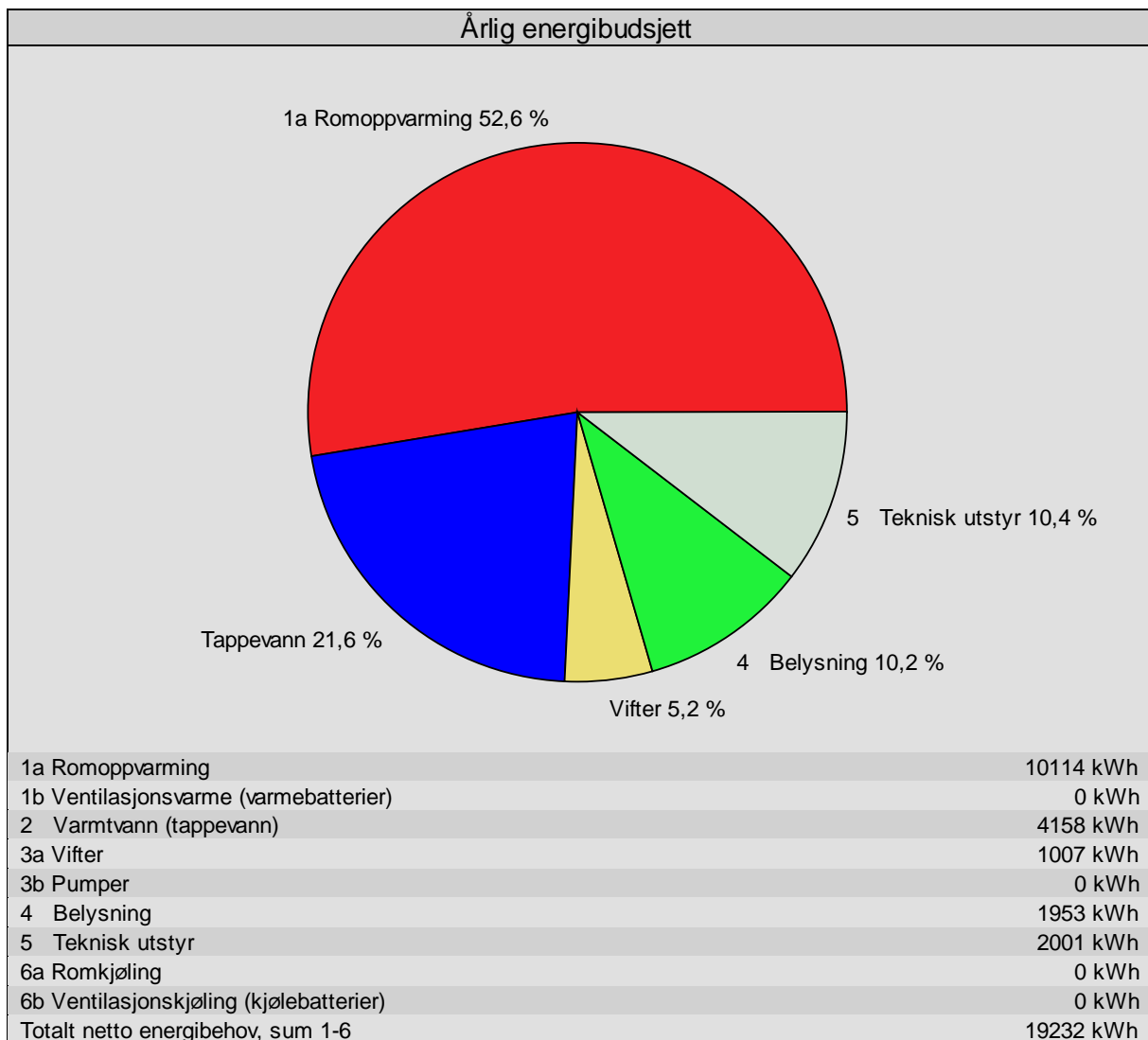


Figur 48 - Duggpunkt og overflatetemperatur om vinter for 2. etasje

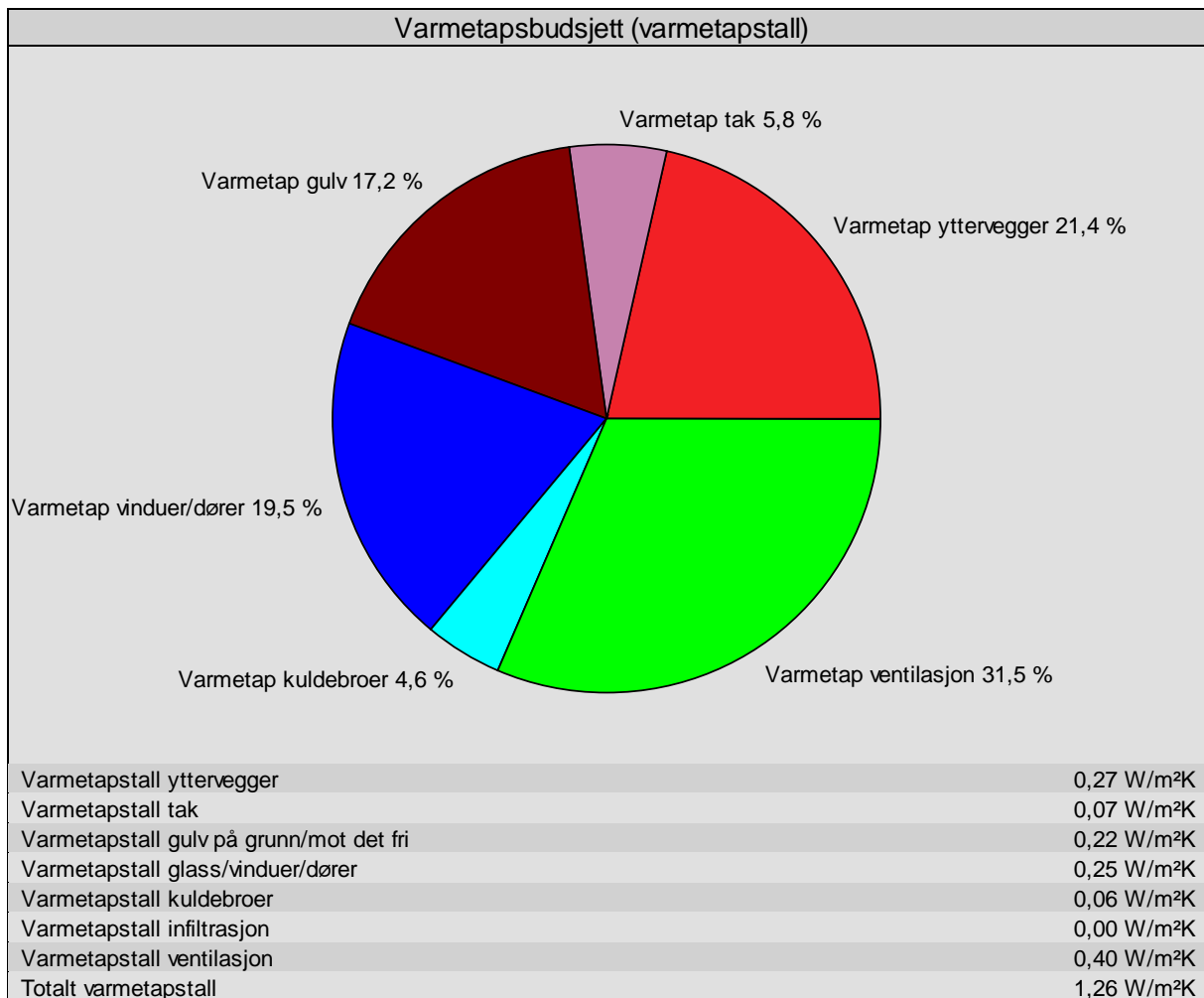
## Energibudsjett

Tabell 39 - Energibudsjett

Energibudsjett		
Energipost	Energibehov	Spesifikt energibehov
1a Romoppvarming	10114 kWh	73,3 kWh/m <sup>2</sup>
1b Ventilasjonsvarme (varmebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
2 Varmtvann (tappevann)	4158 kWh	30,2 kWh/m <sup>2</sup>
3a Vifter	1007 kWh	7,3 kWh/m <sup>2</sup>
3b Pumper	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
4 Belysning	1953 kWh	14,2 kWh/m <sup>2</sup>
5 Teknisk utstyr	2001 kWh	14,5 kWh/m <sup>2</sup>
6a Romkjøling	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
6b Ventilasjonskjøling (kjølebatterier)	0 kWh	0,0 kWh/m <sup>2</sup>
Totalt netto energibehov, sum 1-6	19232 kWh	139,5 kWh/m <sup>2</sup>



Figur 49 - Årlig energibudsjett



**Figur 50 - Varmetapsbudsjett**

## 4.7 Konklusjon

Av Figur 49 leser vi at den operative temperaturen vil holde seg konstant. Det betyr at vi får ikke kalde overflater som vil dra den operative temperaturen med seg ned. Figur 50 viser at overflatetemperaturen på vinduene er høyt nok og vi vil ikke ha kondensering på vindu overflatene. Dette forteller oss 2. etasje har et godt termisk inneklima om vinter.

Sommerdager i Herat er veldig varme selv om de er kortere enn dagene i Oslo. Dette skyldes mengde solstråling pr. areal overflate som er mye større i Herat. Dette høres som en ulempe for beboerne, men hvis folk i Herat utnytter denne varmen til andre formål som krever energi, er det kanskje en fordel å ha varmere sommerdager. Et eksempel på dette å ha ventilasjonsanlegg med strømbatterier som lades av solceller.

På Figur 46 leser vi at den operative temperaturen om sommer blir redusert fra 46 °C til 27 °C. Dette er en stor nedgang. Hvis vi sammenligner Figur 40 og Figur 47, ser vi at arealet, varmeegenskapene og solskjermingsfaktoren til vinduer har stor betydning for reduisering av varmetilskuddet om sommer. På Figur 48 ser vi at det blir 70 % færre andel misfornøyde som følge av rehabiliteringen. Tross stor nedgang er den operative temperaturen og andel misfornøyde fortsatt høyt og 2. etasje har ikke et godt inneklima om sommer.

I Norge har vi energirammer som vi holder oss innenfor, men dette har vi ikke i Afghanistan. Derfor vil min beslutning være basert på resultatene av simuleringen og minn eget vurdering av gjennomførbarheten til rehabiliteringen.

Når vi sammen ligger årlig energibudsjett til begge bygningen, ser vi det total netto energibehov blitt redusert fra 68 092 til 19 232 kWh/år eller fra 490 til 140 kWh/m<sup>2</sup>. Dette er en reduisering på over 200 %. Varmetapet er blitt redusert 5,16 W/m<sup>2</sup>K til 1,35 W/m<sup>2</sup>K. Som vi ser på Figur 50 er ventilasjonsvarmetap er størst siden boligen fortsatt bruker naturlig ventilasjon. Ved å installere balansert ventilasjon, ville det totale varmetapet vært mindre.

Effekten av rehabiliteringen er stor nok til å konkludere at boligen er i en bra tilstand. Boligen må benytte seg av kjøleanlegg om sommer og varmeovner om vinter. Boligen har muligheten å installere solcellepaneler på taket og utnytte energi fra sola. Etterisoleringen vil være bærekraftig dersom besparelsen av energi, over en lange periode, tas i betraktning.

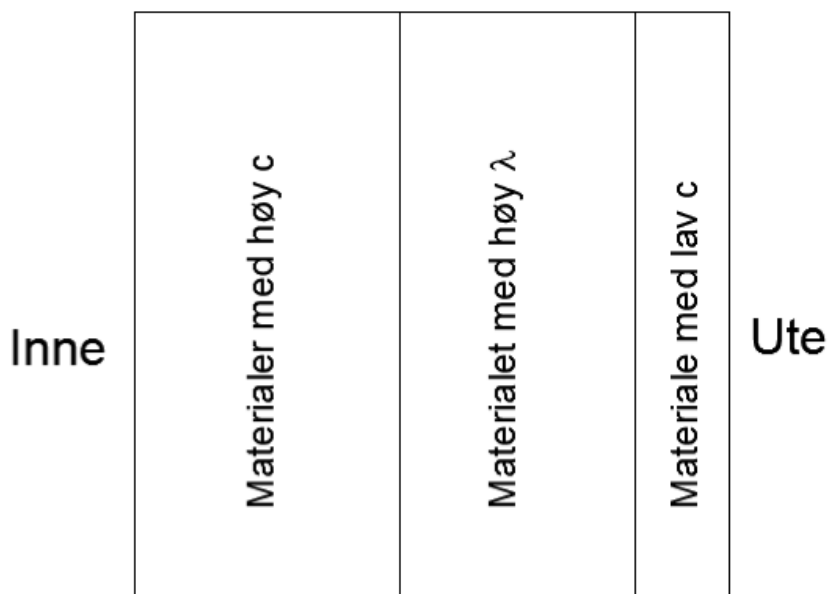
## **5 Vurdering og tiltak**

I punkt fire fant vi at vårt eksempelbygg ikke tilfredsstillt våre krav og det er mange slike boliger i Herat. I motsetning til Norge, har Afghanistan ennå ingen krav til bygninger og dermed må jeg selv sette et midlertidig grense på hvor høyt u-verdier bør være og medfølgende hvor mye bør boligen bruke energi for å holde et godt inneklima for beboerne.

Siden energibehovet til en bolig er avhengig av temperaturskjell mellom ute og inne, og den største temperaturskjellen får vi om vinter i Norge, er det naturlig å tenke at energi behovet i norske boliger er høyere enn afghanske. Dette betyr at det kreves kanskje ikke like lave u-verdier for boliger i Afghanistan som boliger i Norge. Men hvis vi tenker på sommeren er nedkjølingsbehovet i boliger i Afghanistan høyere enn i Norge på grunn av høye varmetemperaturer og lite nedbør om sommer som fører til lav RF i uteluften. Energibehovet i et år inkluderer både oppvarmingsbehov og nedkjølingsbehov. For å redusere varmebehovet,

er det eneste vi kan gjøre å etterisolere til vi får en ønsket u-verdi, men for å redusere kjølebehovet, kan vi i tillegg til redusere u-verdien til konstruksjonsdelene, skjerme boligen mot solstråling slik at varmen fra sola ikke kommer inn i boligen. Ut ifra alt dette konkluderer jeg at teoretisk sett vil et passivhus i Afghanistan vil ikke kreve like lave u-verdier enn et passivhus i Norge.

Mens u-verdi og medfølgende termisk varmekonduktivitet,  $\lambda$ , forteller oss om varmestrømtetthet til et sjikt, forteller spesifikk varmekapasiteten hvor mye et materiale kan magasinere eller avgi per masseenheter og per gradstemperaturrendring i materialet. Høy spesifikk varmekapasitet,  $c$ , er gunstig for det betyr at murverket evner til å magasinere overskuddsvarme, men det kan være også en ulempe med høy spesifikk varmekapasitet, nemlig at oppvarming og nedkjølingen skjer veldig tregere i et murverksbygg enn for eksempel treverksbygg. Dette vil bidra til økt nedkjølingsbehov om sommer, med mindre man klarer isolere bygget slik at varmen fra sola om sommer forblir på utsiden av isolasjonsmaterialet. En skallmurvegg er et godt alternativ til å bekjempe dette problemet.



Figur 5.1 Veggssnitt skallmurvegg med vanger av forskjellige materialer

På figuren ser vi en prinsippskisse hvor jeg prøver å gi oversikt over hvilke materialer som egner seg til å bygge klimaskjerm av. Materialer med høy spesifikk varmekapasitet, egner å bruke på innsiden av vegger slik at varmetilskudd magasineres på innsiden av veggen om vinter, mens materialer med lav spesifikk varmekapasitet egner å bruke på utsiden av klimaskjermen slik at solvarmen om sommer ikke blir magasinert i konstruksjonsdelen. I tillegg er det viktig med isolasjonsmaterialer med høy varmekonduktivitet slik at varmen som



produserer inne, forblir inne om vinter, og solvarmen ikke lagres i bygningskroppen om sommer.

## **5.2 Rehabiliterer eksisterende bygninger**

Rehabilitering betyr: å istandsettelse av et bygg til et ønsket nivå. Det kan være etterisolere vegger, tak eller gulvet, utskifte dør og vinduer eller installere nytt ventilasjons- eller oppvarmingssystem. I tilfelle hvor rehabiliteringskostnadene blir høyere enn prisen til å bygge nytt, er det bare spørsmål om man vil beholde bygget fordi det er historiske bygg eller et verneverdig bygg. Man kan enten rehabiliterer hele bygget med en gang eller planlegge å rehabiliterer bygget i løpet av flere episoder, slik at man ikke får store engangskostnader.

For mange i Afghanistan er det å bygge på nytt veldig dyrt, heldigvis fins alltid en eller flere måte å rehabiliterer en bygning på. Som vi så i 4.7 rehabilitering gir resultater og etterisolering fungerer. Man kan lage et budsjett som inneholder driftskostnader for fast eiendom. Disse kostnadene kan være strøm-, vann og avløp-, gass- eller annen brensel som brukes til oppvarming eller matlaging. Dette budsjettet skal gjelde for en minste periode på 20 sammenhengende år. Hvis rehabiliteringskostnadene er lik eller større enn reduseringen av det totale netto energibehovet i denne perioden, vil rehabiliteringen være lønnsomt.

Når jeg skal vurdere nødvendigheten av rehabiliteringen, er to kriterier som er viktig. At boligen er godt beskyttet mot ytre klimapåkjenninger og har et godt inneklima. Samtidig skal jeg bruke passive tiltak til rehabiliteringen.

Hvis materialer og komponenter er tilgjengelig, kan man rehabiliterer et murverksbygg i Herat til et passivhus med lavere totale netto energibehov enn et passivhus i samme materialet i Norge. Et godt inneklima kan bidra til beboernes helse og velvære

## **5.3 Endring av teknikk**

Mesteparten av bygninger i Herat er bygget etter eldre standard. Og det verste er at folk fortsatt bruker samme teknikkene som deres fedre brukte. Hus blir reist et etter et og det er

ingen som kontrollerer dette. Det folk trenger er nye teknikker som er lett å lære seg og at materialet er som anvendes i teknikken, er tilgjengelig med priser som folk har råd til.

Det første materialet jeg tenker på er halmleire. Halmleire forbindes med bygninger fra oldtiden, men hvis folk visste hva slags materialeegenskaper dette produktet av natur har, ville de brukt den mer til boligbygging. Det er mange i land, blant annet USA som bygger yttervegger av halmleire kombinert med litt isolasjon og andre materialer.

Bygninger som er bygget i siste 30 år, har bæresystemer av armert betong, stål eller murverk. I de siste årene har armert betong blitt brukt mest av disse tre. Gulvet, fundamentet, søyler, bjelker og tak blir støpt av armert betong. Avstand mellom søylene blir fylt med teglvegger. Disse veggene kan ha opptil 3500mm i tykkelse avhengig av antall etasjer. Jeg mener at hvis vi fyller denne avstanden med noe som har bedre varmeegenskaper enn massiv tegl. I tillegg vil totale vekten være lavere og dermed vil føre til lavere dimensjonerende verdier for bæresystemet og medfølgende tynnere betongsøyler og dekker. Betong leder varme mye bedre enn halmleire og derfor bør ytterkanten av armeringsystemet være innenfor klimaskjermen.

**Tabell 40 - Varmeegenskapene til 450 mm teglvegg uten isolasjon**

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (kalksement)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,40	1,61	0,25	
Halmleire	0,03	0,45	0,07	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
Total	0,45		0,51	2,0

**Tabell 41 - Varmeegenskapene til 450mm halmleire-vegg**

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (kalksement)	0,01	1,0	0,01	
Halmleire-vegg	0,43	0,45	0,96	
Gips	0,01	0,2	0,05	

Innvendig overgangsmotstand			0,13	
Total	0,45		1,15	0,87

Tabell 42 - Varmeegenskapene til halm-leirevegg kombinert med isolasjon og tegl.

Sjikt	Tykkelse, d (m)	Dimensjonerende varmekonduktivitet, $\lambda$ , (W/mK)	Varmemotstand R (m <sup>2</sup> K/W)	U-verdi (W/(m <sup>2</sup> K))
Puss (kalksement)	0,01	1,0	0,01	
Murverk av tegl	0,1	1,61	0,06	
Ventilert hulrom	0,02	0,13	0,15	
Isolasjon (EPS)	0,2	0,035	5,7	
Halmleire-vegg	0,1	0,45	0,22	
Gips	0,01	0,2	0,05	
Innvendig overgangsmotstand			0,13	
Total	0,44		6,32	0,16

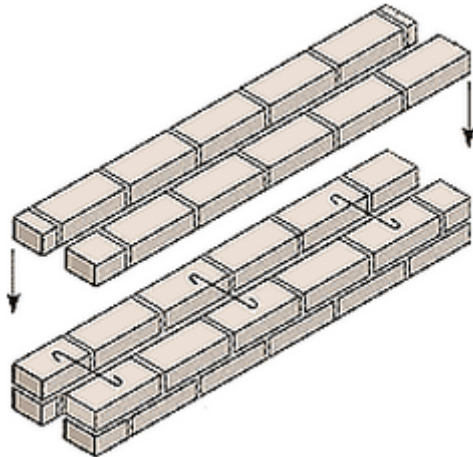
Hvis vi sammenligner u-verdiene i Tabell 40 og Tabell 41 ser vi at u-verdien til halmleirevegg er mye lavere enn en teglvegg med samme tykkelse. Men hvis vi kombinerer begge i tillegg til varmeisolasjon i midten, får vi u-verdien funnet i Tabell 42. Tabell 42 viser at en vegg, innvendig halmleire-vegg og utvendig teglvegg. U-verdien er på en O.K. størrelse. Veggene vil være både billigere og lettere enn et tilsvarende tykt murverk av betongblokker eller tegl.

Tak, uansett bæresystem kan isoleres med isopor som i eksempelet. Vinduer og dører har største skylden for dårlig innklima og derfor bør ha en minst u-verdi på 2,0 W/m<sup>2</sup>K.

## 6 Konklusjon

Vi kan konkludere at nåværende bygninger i Herat har ikke gode varmeegenskaper. Disse bygningene rehabiliteres til et mer energieffektivt nivå ved å etterisolere konstruksjonsdelene med lett tilgjengelige materialer, utskifte store og uisolerte vinduer med smale og isolerte ruter og skjerme boligen oppvarmede areal mot unødvendig varmetilskudd fra sola.

Ved nybygging er det veldig viktig å velge hva klimaskjermen skal bestå av. Jeg foreslår bruken av hulmurteknikken til bygging av murverk med tegl og andre komponenter.



Figur 51 - Engelsk hulmur med bindere av stål

Figur 51 viser eksempel på en slik hulmur som består av to vanger som bindes med stålbindere. Fordelen med slike vegger er at de består av to vanger. Ved høy temperatur ute vil varmen i solstrålingen gjøre ytre vangen varmt, mens den indre vangen holder på temperaturen sin pga. isolasjon mellom dem. Og ved lav temperatur vil varmen som vi produserer inne bli lagret i indre vangen, siden isolasjonen er der for å hindre at varmen strømmer til ytre vange og videre ut.

## 7 Figurer

Figur 1 Kart Asia - Kilde google.no.....	11
Figur 2 - Topografis kart Herat Afghanistan - kilde google.no.....	11
Figur 3 - Gateplan .....	12
Figur 4 - Nordvendte boliger      Figur 5 - Sydvendte boliger.....	13
Figur 6 - Massive tegl.....	14
Figur 7 - Teglstein med vanlige dimensjoner.....	15
Figur 8 - Vanlige dimensjoner for betongblokk.....	15

Figur 9 - Bærende vegg av betongblokker .....	16
Figur 10 - Eksempel på byggemåte og kombinasjon av armert betong og tegl .....	17
Figur 11 - Halmleire sparket .....	18
Figur 12 - Halmleire sparklet på alle innvendige overflater utenom gulvet .....	18
Figur 13 - 10mm gipsslag sparkles på halmleire-overbehandlede overflater .....	19
Figur 14 - Dekke på grunn med armering, uten isolasjon .....	24
Figur 15 - Vindu med stålandel lik 0,35 og resten vanlig 4mm glass.....	25
Figur 16 - innvendig dør stål/tre/glass.....	26
Figur 17 - murverksbygg med armert betong som bæresystem .....	26
Figur 18 - Boligbygg av murverk.....	27
Figur 19 -Boligbygg av murverk med fasade av behandlet marmorstein .....	27
Figur 20 - Korsi, et tradisjonelt varmesystem - kilde <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/Korsi">http://en.wikipedia.org/wiki/Korsi</a> .....	28
Figur 21 - Optimal operativ temperatur, avhengig av temperatur, bekledning og aktivitetsnivå - kilde Byggforskserien .....	31
Figur 22 - Oppholdsone - kilde: Byggforskserien.....	33
Figur 23 - Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon, sentralt anlegg eget avkast til kjøkkenhetter – kilde: Byggforskserien.....	34
Figur 24 - Prinsippskisse for en boligblokk med balansert ventilasjon og individuelle ventilasjonsanlegg (ett anlegg i hver leilighet) med eget avkast til kjøkkenhetter. kilde: Byggforskserien .....	35
Figur 25 - Hus med balansert ventilasjon med varmegjenvinning. Avtrekk fra kjøkkenhetter går utenom ventilasjonsanlegget. kilde: Byggforskserien.....	35
Figur 26 - Luftfuktighetsdiagram som viser sammenheng mellom temperatur, RF, vanndampinnhold og damptrykk.....	37
Figur 27 - eks. kuldebro 1 – kilde: Byggforskserien.....	39
Figur 28 - eks. kuldebro 2 – Kilde: Byggforskserien.....	39
Figur 29. eks kuldebro 3 – Kilde: Byggforskserien .....	40
Figur 30 - Total varmetap - kilde: Byggforskserien.....	41
Figur 31 - Effekt av utvendig og innvendig isolasjon – Kilde: Byggforskserien.....	42
Figur 32 -Solstrålingsenergi i Afghanistan - kilde: <a href="http://www.nrel.gov/">www.nrel.gov/</a> .....	46
Figur 33 - 1.etasje                      Figur 34 - 2. etasje .....	48
Figur 35 - 3.etasje.....	49
Figur 36 - Perspektiv utsikt fra sørøst .....	50
Figur 37 - Temperaturer om sommer for 2. etasje, eksisterende bygg.....	54
Figur 38 - Varmetilskudd om sommer for 2. etasje, eksisterende bygg.....	55
Figur 39 - Andel misfornøyde som følge av CO2-konsentrasjon og innetemperatur, eksisterende bygg .....	55
Figur 40 - Temperaturer om vinter for 2. etasje, eksisterende bygg .....	56
Figur 41 - Duggpunkt og overflatetemperatur på vinduer i 2. etasje, eksisterende bygg .....	57
Figur 42 - Årlig energibudsjett til eksisterende bygg.....	58
Figur 43 - Varmetapbudsjett til eksisterende bygg .....	59
Figur 44 - Temperaturer om sommer for 2. etasje .....	73
Figur 45 - Varmetilskudd om sommer for 2. etasje .....	74
Figur 46 - andel misfornøyde om sommer for 2. etasje .....	74

Figur 47 -Temperaturer om vinter for 2. etasje .....	75
Figur 48 - Duggpunkt og overflatetemperatur om vinter for 2. etasje .....	76
Figur 49 - Årlig energibudsjett .....	77
Figur 50 - Varmetapsbudsjett .....	78
Figur 51 - Engelsk hulmur med bindere av stål .....	84

## 7 Tabeller

Tabell 1 - Varmeegenskapene til murverk av 200mm tegl .....	20
Tabell 2 - Varmeegenskapene til murverk av tegl - utvendig ikke behandlet.....	21
Tabell 3 - varmeegenskapene til murverk av 100mm tegl .....	21
Tabell 4 – Varmeegenskapene til murverk av 250mm betongblokk .....	21
Tabell 5 - – Varmeegenskapene til murverk av 250mm betongblokk - utvendig ikke behandlet .....	22
Tabell 6 - varmeegenskapene til 200mm betongtak.....	22
Tabell 7 - Varmeegenskapene til 100mm kompositt tak.....	23
Tabell 8 - Varmeegenskapene til 200mm etasjeskiller av betong.....	23
Tabell 9 - Varmeegenskapene til 100mm kompositt etasjeskiller .....	23
Tabell 10 - Varmeegenskapene til gulvet av støpt betong uten armering .....	24
Tabell 11 - komforttemperatur for forskjellige golvmaterialer for mennesker med nakne føtter - kilde: Byggforskserien .....	32
Tabell 12 - Avtrekksbehov i boliger - kilde: Byggforskserien.....	36
Tabell 13 - Innvendig og utvendig isolering .....	42
Tabell 14 - Energikvaliteter.....	44
Tabell 15 - Skyggediagram .....	50
Tabell 16 - utsatte fasader .....	51
Tabell 17 - Dokumentasjon av sentrale inndata (1) .....	52
Tabell 18 - Dokumentasjon av sentrale inndata (1) .....	53
Tabell 19 -Sammendrag av nøkkelvdiier for 2. etasje, eksisternde bygg.....	56
Tabell 20 – Varmeegenskapene til murverk av betong, utvendig isolert med 50mm EPS ...	61
Tabell 21 - Varmeegenskapene til murverk av betong, utvendig isolert med 100mm EPS ....	62
Tabell 22 - Varmeegenskapene til murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS ....	62
Tabell 23 - varmeegenskapene til murverk av tegl, utvendig isolert med 50mm EPS .....	63
Tabell 24 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, utvendig isolert med 100mm EPS .....	63
Tabell 25 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS .....	64
Tabell 26 -Varmeegenskapene til murverk av betong, innvendig isolert med 50mm EPS .....	65
Tabell 27 - Varmeegenskapene til murverk av betong innvendig isolert med 100mm EPS ...	65
Tabell 28 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS .....	66
Tabell 29 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS .....	66
Tabell 30 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 50mm EPS (innervegg). .....	67

Tabell 31 - Varmeegenskapene til murverk av tegl, innvendig isolert med 100mm EPS (innervegg) .....	68
Tabell 32 - Varmeegenskapene til kompositt tak, innvendig isolert med 100mm EPS .....	68
Tabell 33 - Varmeegenskapene til kompositt tak, innvendig isolert med 200mm EPS .....	69
Tabell 34 - Varmeegenskapene til kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 100mm EPS .....	70
Tabell 35 - Varmeegenskapene til kompositt etasjeskiller innvendig isolert med 200mm EPS .....	70
Tabell 36 - Varmeegenskapene til vinduene etter solskjerming .....	71
Tabell 37 - Aktuelle tiltak til prosjekt bolig .....	72
Tabell 38 - Sammendrag nøkkelverdier for 2. etasje .....	75
Tabell 39 - Energibudsjett .....	77
Tabell 40 - Varmeegenskapene til 450 mm teglvegg uten isolasjon .....	82
Tabell 41 - Varmeegenskapene til 450mm halmleire-vegg .....	82
Tabell 42 - Varmeegenskapene til halm-leirevegg kombinert med isolasjon og tegl .....	83

## 8 Referanser

---

<sup>1</sup> Thermal Conductivity of some common Materials and Gases

[http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d\\_429.html](http://www.engineeringtoolbox.com/thermal-conductivity-d_429.html)

<sup>2</sup> Byggforskserien, 471.010 Varmekonduktivitet og varmemotstand for bygningsmaterialer

<http://bks.byggforsk.no/>

<sup>3</sup> Devon Earth Building Association <http://www.devonearthbuilding.com/index.htm>

<sup>4</sup> Byggforskserien, 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946 <http://bks.byggforsk.no/>

<sup>5</sup> Byggforskserien, 421.501 Temperaturforhold og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort

<http://bks.byggforsk.no/>

<sup>6</sup> Byggforskserien, 552.305 Balansert ventilasjon av leiligheter <http://bks.byggforsk.no/>

<sup>7</sup> Byggforskserien, 533.163 Solskjerming tabell 724. <http://bks.byggforsk.no/>

<sup>8</sup> Byggforskserien, 571.954 Isolerruter. Lys- og varmetekniske egenskaper. Tabell 65 <http://bks.byggforsk.no/>

<sup>9</sup> NS3031:2007 og NS-EN ISO 13790



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
67 23 00 00  
[www.nmbu.no](http://www.nmbu.no)