

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP



Forord

Gjennom studiet *Byggeteknikk og arkitektur* ved Universitetet for Miljø- og Biovitenskap (UMB) har jeg fått tilegne meg kunnskap innenfor bygningsplanlegging og prosjektering, og dette har lagt grunnlaget for gjennomføringen av denne oppgaven. Arbeidet har gitt meg muligheten til å fordype meg innenfor et felt jeg interesserer og engasjerer meg for.

Gjennom arbeidet med oppgaven har jeg fått god veiledning og kreative innspill av professor Torgeir Lyngtveit. Jeg vil takke ham for det gode samarbeidet.

Min interesse for bevissthet rundt energibruk og fremtidsrettet bygningsplanlegging har vokst gjennom studiene ved Universitetet i Ås. Det har vært meget givende og lærerikt å sette seg inn i en så dagsaktuell problemstilling.

Oslo, 12 mai 2011

Torgeir Frydenberg Flaatten

Sammendrag

Norske myndigheter har signalisert at det jobbes for å innføre passivhusnivå som forskriftskrav i 2020. Dette er et resultat av internasjonalt fokus på energieffektivisering i bygebransjen, og Norge har forpliktet seg til store kutt gjennom klimaforliket. Det har ført til hyppigere oppdateringer av teknisk forskrift som blant annet inneholder bestemmelser om energibruk i nybygg. Myndighetene har også innført støtteordninger og energimerking av bygninger for å motivere til energireduserende tiltak.

Passivhus er tette og godt isolerte bygninger med minimalt med oppvarmingsbehov. Det er gjennomtenkte løsninger for lufttetting og reduksjon av kuldebroer. Kravene til utførelse og kontroll øker fordi det er viktig med en tett konstruksjon. Jeg har gjennomgått alle de viktigste bygningsdelene og sett på hvordan det byggetekniske må gjennomføres for å oppnå tilfredsstillende kvalitet. På grunn av at huset er meget lufttett er ventilasjon og solskjerming viktig for å oppnå en god innvendig komfort.

Selv om passivhus bruker minimalt med energi til oppvarming er det et behov for oppvarmingsløsninger. Det er behovet for varmt tappevann som er størst og jeg har sett på løsninger for å dekke oppvarmingsbehovet med miljøvennlige og ”fornybare” ressurser. Solfangere eller oppvarming av vann på annen måte egner seg godt til romoppvarming og varmtvannsforbruk. Vann har den store fordelen at det er lett å bruke flere forskjellige varmekilder som gir økt fleksibilitet.

Mange av de viktigste energitiltakene gjøres allerede i planleggingsfasen. Det er mye å hente ved gjennomtenkt plassering på tomt og planløsning. Prosjekteringsverktøy som tar i bruk building smart vil være til stor hjelp for samhandling på tvers av forskjellige fagmiljøer. Feil kan reduseres under prosjektering og på byggeplass ved hjelp av god informasjonsflyt og detaljerte modeller eller tegninger.

I en liten case har jeg valgt å regne på hvordan bygningsform og organisering kan innvirke positivt til å redusere varmetapet til omgivelsene. Jeg har og sett på hvordan isolasjonstykkelsen påvirker U-verdien og hvor mye det er hensiktsmessig å øke denne i forhold til bidraget det vil gi til en bedre U-verdi.

Passivhus har skapt debatt politisk og i fagmiljøer om hvorvidt det er den rette måten å løse energiutfordringene i byggebransjen. Jeg har diskutert noen av de utfordringene og problematikken samfunnet står ovenfor ved en innføring av passivhusstandarder.

Abstract

Norwegian authorities have indicated that they are working for a introduction of passive house as a regulatory requirement for buildings in 2020. This is a result of the international focus on energy efficiency in the construction industry, and Norway has committed itself to implement major cuts through the climate settlement. This has led to more frequent updates of the technical regulations which, among other things, contain provisions on energy consumption in new buildings. The authorities have also introduced funding schemes and energy labeling of buildings in order to motivate to energy-reducing measures.

Passive houses are tight and well insulated buildings with minimal space heating needs. They have thoughtful solutions for air sealing and reduction of thermal bridges. The requirement for execution and control increases because it is important to have an air tight structure. I have reviewed all the main parts of the building and looked at how they have to be done to achieve the right quality. Because the houses are very airtight the ventilation and sun protection is important aspects for achieving a good indoor comfort.

Although passive houses use very little energy for heating it has a need for heating solutions. Most of the energy is used for hot water and I have concentrated on solutions for meeting the heating demand with environmentally friendly and "renewable" resources. Solar heating or other forms of heating water is suitable for both space heating and hot water consumption. Water has the great advantage that it is easy to use several different heat sources, this provide increased flexibility.

Many of the major energy initiatives are made already in the planning phase. There is much to be gained by thoughtful placement on the property and a good floor plan. Design tools which use building smart technology will be of great help for collaboration across different disciplines. Errors can be reduced during design and on construction site by means of proper information flow and detailed models or drawings.

In a small case, I have chosen to calculate how the building form and organization may affect positively to reduce heat loss to the surroundings. I have also done

calculations on how the thickness of insulation affects the U-value and how much it is appropriate to raise this in relation to the contribution it will give a better U-value.

Passive houses have created a debate in political and academic communities about whether it is the right way to solve energy problems in the construction industry. I have discussed some of the challenges and issues facing society by the introduction of the passive house standard.

Forord	1
Sammendrag.....	2
Abstract	4
1.1 Bakgrunn.....	8
1.2 Problemstilling.....	9
1.3 Avgrensning.....	9
1.4 Metode	10
2. Miljøutfordringer og byggebransjen.....	11
2.1 Internasjonal håndtering av energispørsmålene.....	11
2.2 Eu-Direktiv om energieffektiviteten i bygninger.....	12
2.3 Norges gjeldende forskriftskrav.....	13
2.4 Energimerking av bygninger.....	16
2.5 Miljøtiltak må bli mer lønnsomme	18
2.6 Energibruk i norske boliger	19
2.7 Støtteordninger.....	20
3. Passivhus	21
3.1 Hva er et passivhus	21
3.2.1 Plassering på tomten.....	23
3.2.2 Bygningenes utforming.....	24
3.2.3 Planløsning	25
3.3 Bygningens konstruksjoner.....	26
3.3.1 Yttervegger	26
3.3.2 Takkonstruksjon	28
3.3.3 Dekke mot grunn.....	28
3.3.4 Vinduer	30
3.4 Klimaskjermen.....	33
3.4.1 Kuldebro	33
3.4.2 Lufttetthet	35
3.4.3 Vindsperre	36
3.4.4 Dampsperre.....	37
3.5 Solskjerming	38
3.6 Ventilasjon	40
3.6.1 Varmevekslere	41
3.6.2 Kjøling.....	41
3.6.3 Behovsstyring.....	42
3.6.4 Naturlig ventilasjon.....	43
4. Energibesparende oppvarmingsløsninger	44
4.1 Oppvarmingsløsninger	44
4.2 Energikilder.....	46
4.3 Solenergi	46

4.3.1 Passiv solvarme	46
4.3.2 Aktive solfangere.....	47
4.4 Varmepumper	49
4.4.1 Varmepumpens energieffektivitet.....	50
4.4.2 Kompaktaggregat.....	50
4.4.3 CO ₂ -varmepumper.....	53
4.5 Bioenergi.....	54
4.5.1 Vedkjeler.....	55
4.5.2 Pelletskaminer	55
4.6 Fjernvarme	56
4.7 Varmedistribusjon til romoppvarming.....	56
4.7.1 Bygningsintegrert oppvarmingssystem.....	57
4.7.2 Direkte varmeavgivelse.....	57
4.7.3 Luftbåren varme.....	57
4.7.4 Interne varmetilskudd.....	58
5. Buildingsmart	59
5.1 BIM og passivhus	60
6. Case.....	62
6.1 Bygningsform og organisering	62
6.2 Isolasjonstykkelsens innvirkning på U-verdien.....	64
7. Diskusjon.....	67
7.1 Kompetanse, kunnskap og teknologi	67
7.2 Manualer/veiledere og standardløsninger	69
7.3 Kostnader ved passivbygg	69
7.4 Rehabiliteringer.....	70
7.5 Miljøparadokser	70
7.6 Aktivhus.....	71
8. Konklusjon.....	72
Referanser	73

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Flere internasjonale studier viser at energieffektivisering er det enkleste og billigste klimatiltaket, og det er derfor bred politisk og faglig enighet om at energieffektivisering må prioriteres. Ved å minske behovet for strøm i boligsektoren kan det være med på å erstatte forurensende energikilder i industrien. Behovet for energi øker i en voldsom fart, og utfordringene rundt et for dårlig kraftnett burde føre til en ny tankegang rundt energibruk. Det er den energien man slipper å produsere som er mest miljøvennlig og billigst. Mange av tiltakene for å minske energibruken vil dessuten være både samfunnsøkonomisk og bedriftsøkonomisk lønnsomme [1].

Med et økende fokus på miljø og energi internasjonalt og i Norge er det interessant å se på hvilke bygningstekniske muligheter som finnes for energieffektivisering. Det er mye som tyder på at Norge vil ende opp med å innføre et krav om passivhusstandard for bygninger. Bystyret i Oslo kommune har allerede vedtatt at alle kommunens nye bygninger skal bygges etter den norske passivhusstandarden fra 2014. Jeg vil i denne oppgaven ta for meg passivhuskonseptet med energiløsninger.

1.2 Problemstilling

Tittel på oppgaven: *Energieffektivisering i byggenæringen, en vurdering av passivhuskonseptet*

Hovedmålet med oppgaven er å se på og gi en oversikt over passivhuskonseptet og komme med kommentarer til målet om innføring av passivhusstandard i år 2020.

Delmål

- Se på politiske initiativer til energieffektivisering i byggenæringen.
- Gi en oversikt over miljøvennlige og fremtidsrettede energiløsninger.
- Prosjekteringverktøy som building smart som hjelpemiddel.
- Case – bygningsform og isolasjonstykkelses innvirkning på varmetap

1.3 Avgrensning

Jeg vil i denne oppgaven ta for meg den politiske bakgrunnen med økt fokus på energisparing og utvikling mot en passivhusstandard i byggenæringen. Det vil gjennomgå prinsipper for planlegging og bygningsdetaljer for oppføring av passivhus med gode fremtidsrettede energiløsninger. Fokuset i oppgaven ligger i all hovedsak på oppføring av eneboliger ved bruk av trekonstruksjoner og de hensyn som må tas innen prosjektering og utførelse.

1.4 Metode

Som bakgrunn for denne oppgaven har jeg gjort litteraturstudier, personlig kontakt med produsenter, forskere og andre fagpersoner innen feltet.

Litteratursøk har i stor grad vært bruk av internett for å finne aktuelle publikasjoner og rapporter. Nettsteder som har hatt spesielt mye informasjon på området er blant annet: sintef.no, lavenergiprogrammet.no, enova.no med flere.

Jeg har deltatt på foredrag på Nasjonalmuseet for arkitektur med Helmut Krapmeier fra Energi instituttet i Vorarlberg Østerrike. Ble vist fram flere gjennomførte passivhus prosjekter fra Østerrike og erfaringer med disse.

I tillegg har jeg vært i kontakt med noen produsenter av produkter og materialer via mail eller telefon.

2. Miljøutfordringer og byggebransjen

2.1 Internasjonal håndtering av energispørsmålene

FN opprettet i 1983 Verdenskommisjonen for miljø og utvikling, også omtalt som Brundtlandkommisjonen. Sluttrapporten ”*Our common future*” satt en ny standard for tenkemåten rundt miljøspørsmålene. Bærekraftig utvikling var det nye begrepet, som betegnet hvordan miljø, økonomi og sosial utvikling var tett knyttet sammen [2].

Humanity has the ability to make development sustainable – to ensure that it meets the needs of the present without compromising the ability of future generations to meet their own needs. The concept of sustainable development does imply limits – not absolute limits but limitations imposed by the present state of technology and social organization on environmental resources and by the ability of the biosphere to absorb the effects of human activities. But technology and social organization can be both managed and improved to make way for a new era of economic growth. (World commission on environment and development (1987))

Utdraget nevner bærekraftig utvikling og inneholder forhåpninger om at teknologi og sosiale forandringer skal føre til en vekst som i større grad ivaretar miljøet. Energirelaterte utfordringer som ble identifisert i rapporten, var blant annet drivhuseffekten og klimaforandringer. Kommisjonen håpet økt bruk av solenergi og energieffektiviseringer ville minke bruken av fossilt brensel og atomkraft.

Verdenskommisjonens rapport ble grunnlaget for FN-konferansen om miljø og utvikling i Rio de Janeiro i 1992. Det var her klimakonvensjonen ble utarbeidet, og dette er FN's rammekonvensjon om klimaendring som er en internasjonal traktat som skal begrense de globale klimagassutslippene. Klimakonvensjonen inneholder ingen konkrete mål siden den er en rammekonvensjon. Forpliktelsene er ikke bindende, og det finnes ingen sanksjoner om noen av de 188 statene som i 2004 hadde undertegnet, ikke følger pliktene. I stedet åpner konvensjonen for videre forhandlinger om tilleggsprotokoller, som skal sette begrensninger for utslipp. Den viktigste protokollen så langt er Kyoto-avtalen, vedtatt i desember 1997. Her blir målene konkretisert, og det blir en bindende avtale for landene som underskriver den. Avtalen innebærer at 37 i-lands utslipp av klimagasser skal reduseres med 5,2% i forhold til 1990-nivå i perioden 2008-2012. Offisielt ble ikke Kyoto-protokollen ratifisert før Russlands

president underskrev protokollen i november 2004, og den var da underskrevet av til sammen 127 nasjoner. Det ble enighet blant medlemslandene om årlige forhandlinger om en ny avtale for perioden etter 2012 [3].

2.2 Eu-Direktiv om energieffektiviteten i bygninger

Et økende fokus på miljø i samfunnet generelt har ført til ringvirkninger i byggebransjen. EU vedtok i desember 2002 et direktiv om energieffekten til bygninger, dette er senere revidert, senest i mai 2010. Bygningsenergidirektivet fra 2002 er tatt inn i EØS-avtalen og gjennomført i norsk rett. *Direktivet skal ytterligere fremme bygningers energiytelse og inneholder nye bestemmelser om beregningsmetode for bygningers energibruk, minimumskrav til nye bygninger og bygningsenheter, minimumskrav ved rehabilitering av bygninger, elementer i bygningskroppen, og tekniske systemer, nasjonale planer for "nesten nullenergibygninger", energimerking av bygninger, regelmessig inspeksjon av varme- og klimaanlegg og uavhengig kontroll av energiattester og inspeksjonsrapporter* [4]

Direktivet inneholder 16 artikler, og noen av de viktigste punktene i artiklene er:

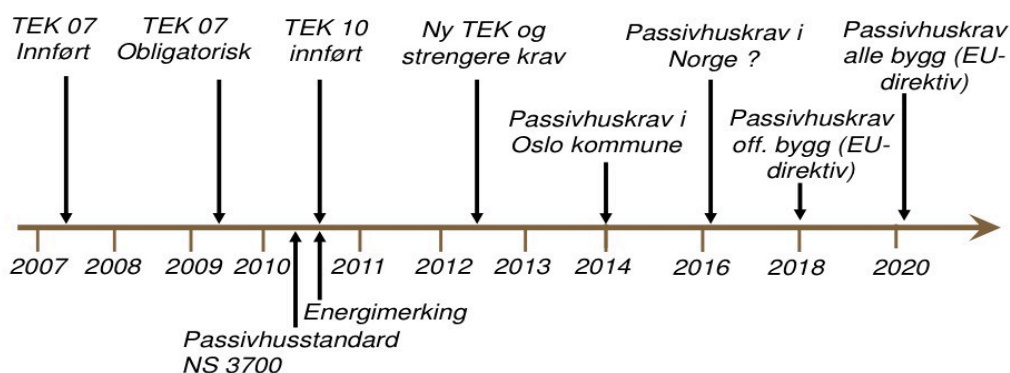
- Medlemsland skal benytte seg av en beregningsmetode som er basert på beregnet eller faktisk energibehov for bygningens typiske bruk. Beregningsmetoden skal blant annet ta hensyn til bygningens termiske egenskaper, installert varme og varmtvannsystemer, klimaanlegg, ventilasjon, lys og utforming. (artikkel 3)
- Det skal fastsettes minstekrav for energiytelsen for ulike bygningstyper. Dette skal gjelde for nye bygninger, men også ved større rehabiliteringer eller ombygging av eksisterende bygninger over 1000 m². Energiytelsen til tekniske systemer skal fastsettes for nyanskaffelse, oppgradering og utskiftning av tekniske systemer i bygninger. (artikkel 4, 5 og 8)
- Medlemmene skal innen 31. desember 2020 sikre at alle nye bygninger er "nesten nullenergibygninger". Det skal utformes nasjonale planer for å øke antall lavenergihus, og energimerking av bygninger skal innføres. (artikkel 9 og 11)

- Inspeksjon av varme- og klimaanlegg over 12 kW. Inspeksjonen skal inkludere en vurdering av effektiviteten og størrelse sammenliknet med bygningens behov. (artikkel 15)

For at Norge skal klare sine forpliktelser gjennom EØS-avtalen, må det skje en gradvis innskjerping av reglene og kravene til byggebransjen.

2.3 Norges gjeldende forskriftskrav

TEK er en forskrift som blant annet inneholder bestemmelser om energibruk i nybygg og ved søknadspliktige rehabiliteringer. Forskriften er gitt for gjennomføring og utfylling av bestemmelsene i plan- og bygningsloven og for opprettholdelse av Norges forpliktelser etter EØS-avtalen. Disse energikravene ble i større grad revidert i 2007 (TEK07), og de skal nå redusere et samlet energibehov i nye bygninger med gjennomsnittlig 25 prosent. Det har nylig kommet en ny revidering i 2010 (TEK10), som har noen små endringer. Jeg vil her gjennomgå hovedbestemmelsene i TEK07, men ta med innskjerpingene som er gjort i 2010 utgaven som har en overgangsperiode til 1. juli 2011. Modellen under viser en tidslinje med innførte og tenkte framtidige tekniske krav.



(moelven.no Iso3 generell jan 2011)

Teknisk forskrift krever at bygninger i fremtiden skal isoleres bedre i yttervegg, tak, gulv og utstyres med langt bedre vinduer og dører. Det blir lagt vekt på at kuldebroer skal forhindres og minimeres, så det vil være viktig med en økt bevissthet i forhold til detaljering og plassering av bæresystem under prosjekteringen. Kravene til lufttetthet

er vesentlig skjerpet i forhold til tidligere forskrifter, og det kreves derfor stor nøyaktighet i utførelsen av arbeidet. De nye reglene sier at 80% av varmen i ventilasjonsluften skal gjenvinnes hvis det ikke er fare for forurensning eller smitte. Det skal også settes inn tiltak som eliminerer bygningens behov for lokal kjøling.

Det er lagt opp til to hovedmåter og modeller for å oppfylle og dokumentere de nye energikravene, i tillegg til at det eksisterer minstekrav som uansett ikke skal overskrides.

- **Tiltaksmodellen:** Den handler i prinsippet om å oppfylle en serie enkelttiltak. Det er mulig å gjøre omfordelinger, for eksempel å øke isolasjonen i gulv mot grunn for å ha noe mindre isolasjon i vegg, så lenge det totale energibehovet ikke øker. I denne modellen tas det ikke hensyn til byggets overflate og areal, så lenge enkelttiltakene tilfredsstiller hvert sitt krav, og dette er motsatt enn i rammekravsmodellen. Behov for lokal kjøling utelukker tiltaksmodellen.
- **Rammekravsmodellen:** Energibehovet til bygget beregnes etter norsk standard NS 3031. Beregningen skal vise at byggets forventede energibehov er lavere enn rammekravet for denne bygningstypen. Rammekravene er bestemt gjennom beregning av eksempelbygg som i hovedsak har en relativt enkel hovedform. Derfor vil det være vanskeligere å tilfredsstille rammekravene jo mer komplisert den prosjekterte formen er.

Forskriftene stiller krav til at en vesentlig del av varmebehovet skal kunne dekket av andre energikilder enn elektrisitet og fossilt brensel. Dette gjelder 60 % av netto varmebehov i bygninger over 500 m², og minimum 40 % i bygninger under 500 m² [5].

Tiltak	U-verdi yttervegg W/m ² K	U-verdi tak W/m ² K	U-verdi gulv mot grunn W/m ² K	U-verdi vindu W/m ² K	Lufttetthet, luftvekslinger pr. Time v/ 50 Pa trykkforskjell	Ventilasjon SFP kW/(m ³ s)
TEK10	U<0,18	U<0,13	U<0,15	U<1,2	2,5 (småhus)	2,5
Passivhus (NS3700)	U<0,15	U<0,13	U<0,15	U<0,8	0,6	1,5
Tysk passivhus standard	U<0,11	U<0,10	U<0,11	U<0,8	0,6	1,5

I tabellen over har jeg sammenlignet minstekravene i TEK10 mot aktuelle energitiltak i boliger for å tilfredsstille passivhuskrav i NS 3700. En ser her at det fortsatt er et stykke igjen til passivhusstandard, men at det har skjedd en positiv utvikling i bygningers evne til å holde på tilført energi. De aller største forskjellene finner en for lufttettheten, og det er jo dette som virkelig kjennetegner et passivhus. Norske passivhuskriterier for boliger defineres nå i standarden NS 3700. Som en ser ut fra tallene i tabellen, så bryter NS3700 med den tyske standarden. Dette begrunnes med forskjeller i klima, konstruksjonsløsninger og byggeskikk. Det er gjort nasjonale tilpasninger i forhold til den tyske passivhus-definisjonen. Standarden inneholder en norsk definisjon av passiv- og lavenergihus med krav til energibehov, beregningskriterier, kriterier som kan brukes til sertifisering og krav til dokumentasjon for boliger som kan klassifiseres som lavenergi- eller passivhus [6]

2.4 Energimerking av bygninger

Bygninger bruker 40 % av all energi i Norge, og det er en stor andel av energiressursene sett i lys av at vi i Norge har mye kraftkrevende industri. Da har en i tillegg sett bort fra energi brukt til transport [7]. Mindre energibehov i bygninger er et tiltak som er økonomisk og miljømessig lønnsomt både for eieren av bygget og for samfunnet. Et virkemiddel for å synliggjøre besparelsene som gjøres er å energimerke bygninger. Målet er at aktørene i eiendomsmarkedet kan inkludere energi som en del av beslutningsgrunnlaget ved kjøp og leie. Dette vil igjen motivere utbyggere til å realisere flere energigjerrige konsepter. Men som en tidligere har sett i byggenæringen, er det i stor grad regelverket som har vært styrende for de tekniske løsningene som blir valgt i nye bygg.

Det ble fra 1. juli 2010 pålagt at alle boliger over 50 kvm som skal selges eller leies ut, må energimerkes. Energimerket viser hvor energieffektiv boligen er og har en rangeringsskala fra A til G. Det er en visuell framstilling som ligner mye på den vi har funnet på hvitevarer i en årrekke. Standardboliger som bygges etter dagens gjeldende forskrifter, vil normalt bare oppnå en C på skalaen. Karakteren A er best og gis gjerne til boligtyper som passivhus. I tillegg til selve merket vil det utarbeides en energiattest som inneholder energimerket, beregninger, tiltaksliste og annen informasjon.

Tiltakslisten beskriver forslag til tiltak for å bedre energieffektiviteten til bygget, herunder bygningsmessige tiltak som utskifting av vinduer eller etterisolering, samt tekniske tiltak innen oppvarmingssystemer, energistyring og automatisering [8].

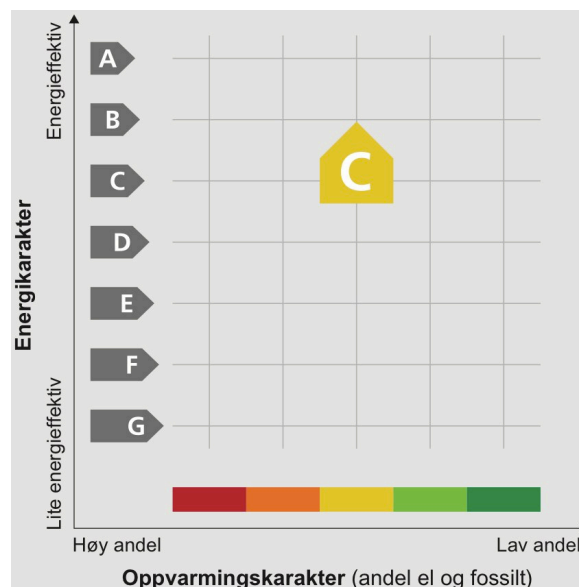
Hvilken karakter får bygget?

A-B: Lavenergibygninger og passivhus.

Bygninger som normalt tilfredsstillere strengere krav enn det som er angitt i byggeforskriftene og/eller har effektivt varmesystem.

C-D: Bygninger etter byggeforskriftene fra 2007 vil normalt få C eller D.

E-G: De fleste eksisterende eldre boliger.



Energimerket (energimerking.no)

Noen eksempler på oppvarmingskarakterer:

Grønt: Vannbåren oppvarming basert på biobrensel, med elektrisitet som spisslast.

Gult: Luft til luft-varmepumpe og lukket vedovn, kombinert med direkte elektrisk oppvarming.

Rødt: Kun elektrisk oppvarming eller oljefyring.

Oppvarmingskarakteren er uavhengig av energibehovet i bygningen og av energikarakteren [8].

Ordningen kan være bra for å synliggjøre energibruk og energieffektivitet, samtidig som det kan gi et visst press for å bedre energibruk i eksisterende bebyggelse. Noen av svakhetene ved ordningen er at man selv melder inn sin egen bolig og dette kan føre til at den ikke blir troverdig og effektiv. Tiltakslisten med foreslåtte effektiviseringstiltak har liten verdi om den automatisk genereres som følge av egenmerking uten noen form for forankring i fremtidige planlagte utbedringer av bygget.

2.5 Miljøtiltak må bli mer lønnsomme

GLITNE er betegnelsen på den lange prosjektittelen ”Mer miljøvennlige bygg gjennom økonomisk verdsetting av miljøeffekter”. Prosjektet er støttet av Norges forskningsråd med prosjektansvar hos Snøhetta og SINTEF Byggforsk har vært prosjektledere. Hovedmålet er å få nødvendig kunnskap om hvordan miljøeffektive bygg kan gjøres mer økonomisk konkurransedyktige, samt et ønske om å kunne sette en pris på miljøbelastningen av et byggeprosjekt.

Prosjektet har arbeidet med modeller for utvidet produsentansvar på byggverk, hvor målet har vært å stimulere til miljøriktige beslutninger knyttet til planlegging, bygging, drift og rivning med tilhørende avfallshåndtering. Den best egnede modellen prosjektet kom fram til, går under navnet tiltakshavermodellen. Som navnet tilsier, blir ansvaret her plassert hos tiltakshaver som må beregne tiltakets miljøkostnad og betale inn et miljødepositum før rammetillatelse kan gis av kommunal byggesaksbehandler på kontrollnivå. Depositumet skal tilsvare kjente fremtidige kostnader og en forsikringspremie som skal dekke uforutsette miljøkostnader. Redusert miljøbelastning som følge av god prosjektering og detaljplanlegging vil gi en reduksjon eller tilbakebetaling. Det vil være et miljøfond som forvalter pengene og er ansvarlig for utbetalinger ved dokumentert forskriftmessig sluttbehandling av avfallet. Dette vil særlig påvirke planleggingsfasen som er den viktigste for å gjennomføre energieffektive løsninger. Automatisk vil det bli lagt større vekt på mer miljøvennlige produkter, og det vil bli økt fokus på gjenbruk og gjenvinning. Dette vil å gi økte markedsandeler for seriøse avfallsaktører.

I prosjektgruppen kom de fram til at denne ordningen ville få liten kostnadsinnvirkning ved tiltak som oppføres på bebygd tomt. Saneringskostnadene vil bli redusert så de økte tiltakskostnadene utjevnes. Tiltak på ubebygd tomt vil få en kostnadsøkning på 2 – 5 % avhengig av hvor miljøvennlig det planlegges og utføres. Innbakt ligger det en forsikring mot uforutsette miljøkostnader som kan oppstå. Gjennom erfaring har en sett at farlige bygningsmaterialer som PCB og asbest har vært brukt uten at det har vært kunnskap om påvirkning på helse og miljø [9].

2.6 Energibruk i norske boliger

Det er om lag 2,3 millioner boliger i Norge. Strøm er den viktigste energikilden i norske husholdninger, og står for tre fjerdedeler av det totale stasjonære energiforbruket.

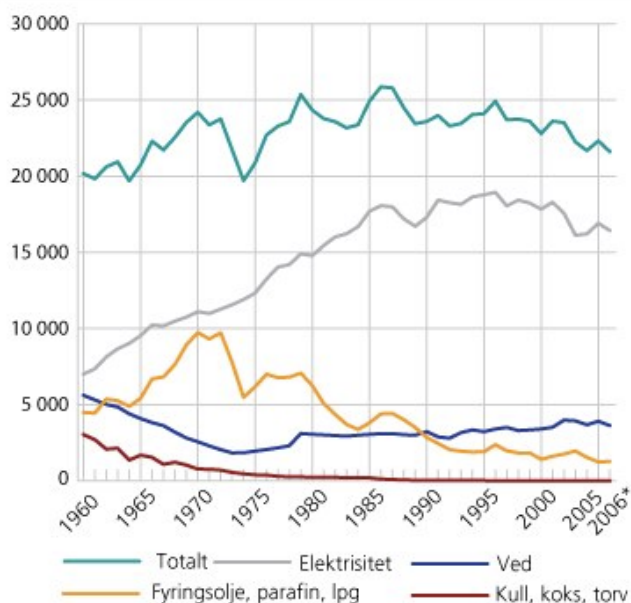
Dette utgjorde i gjennomsnitt 16 200 kWh i 2006, noe som er noe lavere enn i perioden 1991-2001 hvor strømforbruket for boliger i gjennomsnitt var rundt 18 000 kWh. Mye av denne

utviklingen kan skyldes en betydelig prisoppgang vinteren 2002/2003. Men det skyldes og så at det er satt større fokus på energisparing, bedre isolasjon og mer energieffektivt elektrisk utstyr [10].

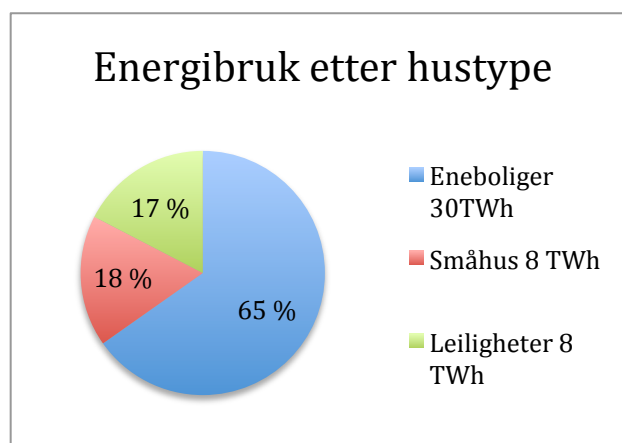
Figuren til høyre viser hvordan total energibruk i husholdninger fordeler seg på hustypene enebolig, småhus og leiligheter.

Eneboliger dominerer og står for to tredeler av energibruken i boligmassen, mens småhus og leiligheter bare utgjør en sjettedel hver. Mye av forskjellene skyldes at det til vanlig bor flere personer i en enebolig enn i en blokkleilighet, noe som øker energibehovet til vannoppvarming og elektriske apparater. Eneboliger har flere yttervegger som gir et større varmetap til omgivelsene, mens blokkleiligheter er mindre å varme opp og får varme av omkringliggende leiligheter. En annen faktor er at mange eneboliger begynner å bli svært gamle og er dårlig isolerte.

Gjennomsnittlig energiforbruk totalt og fordelt på energibærer. 1960-2006*. kWh tilført energi per husholdning



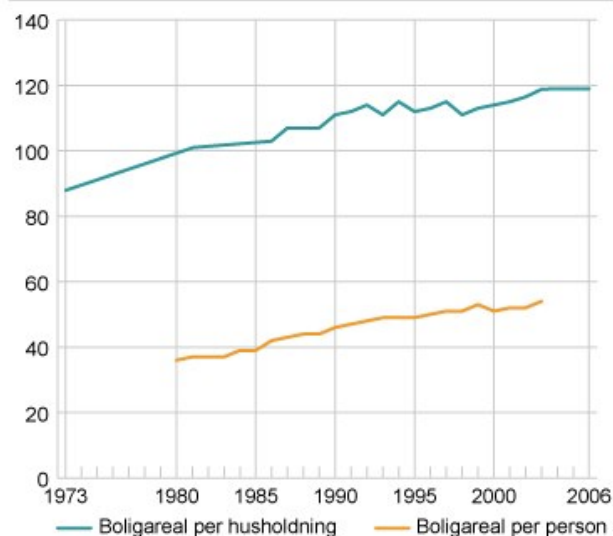
Kilde: Energibalansen 1



Egenprodusert etter tall fra SSB

Som en ser ut fra grafen, har gjennomsnittlig boligareal steget jevnt og trutt opp gjennom årene. Gjennomsnittlig husholdningsstørrelse har derimot gått noe ned, fra 2,7 personer per husoldning i 1980 til 2,3 i 2006. Det er derfor naturlig at boligarealet per person også går opp som en ser i den oransje grafen på høyre side [10].

Gjennomsnittlig m² boligareal¹ per husholdning for årene 1973, 1981 og 1986-2006, og boligareal per person. 1980-2003



¹ Boligareal er definert som samlet netto boligflate, dvs. innvendig areal ikke medregnet kott, kjellerbod eller andre boder. Areal tall per husholdning mangler for noen år. Kilde: Tall for 1973 og 1981 er hentet fra boforholdsundersøkelsen. Forbruksundersøkelsen er kilden til de øvrige tallene. Tallene er noe usikre.

(SSB)

Når boligarealet i husholdninger og per person øker er det en naturlig konsekvens at også energibruken vil øke.

2.7 Støtteordninger

Det finnes forskjellige tilskudds- og støtteordninger for bygherrer som vil tenke fremtidsrettet og bygge enregieffektivt. Enova, Husbanken og andre offentlige hjelpemidler er tilgjengelige for enkeltpersoner og bedrifter som vil gjennomføre energieffektive byggeprosjekter. Tilskuddene gis enten som lån med gunstige betingelser eller ved direkte investeringstilskudd. Det kan og gis støtte til utredninger og bistand til planlegging og prosjektering av energieffektive tiltak. Felles for alle støtteordningene er at det må søkes før prosjektet gjennomføres.

Myndighetene håper slike tilskuddsordninger vil øke interessen for å minske energibruken i byggebransjen. Under følger en gjennomgang av prinsippene ved å bygge passivhus med energiløsninger.

3. Passivhus

3.1 Hva er et passivhus

Betegnelsen passivhus kommer fra prinsippet om passivt å anvende overskuddsvarme fra mennesker, fra bruk av elektriske apparater i hjemmet og solvarme som bidrar til oppvarming av bygningskroppen. Mye av grunnen til at denne energien kommer til sin rett er passive tiltak i bygget slike som ekstra varmeisolasjon, ekstra god tetthet, og varmegjenvinning. Formålet er å minske bruken av energi for oppvarming samtidig som beboerne får et behagelig innemiljø. Passivhus-konseptet ble til på slutten av 1980-tallet da den tyske forskeren Wolfgang Feist samarbeidet med Bo Adamson fra Lund. I korte trekk gikk samarbeidet ut på at svensk kunnskap om velisolerte hus ble kombinert med tysk kunnskap om et velfungerende aktivt ventilasjonssystem for et godt innemiljø. Wolfgang Feist grunnla i 1996 Passivhus-instituttet i Tyskland [2].

Romoppvarmingsbehovet for passivhus skal ikke overskride $15 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$. Det stilles også en rekke andre krav til passivhus, blant annet at behovet for installert oppvarmingseffekt ikke skal overskride 10 W/m^2 . Et passivhus har altså vesentlig lavere energibehov enn en normal bolig, det totale energibehovet til en bolig bygget etter passivhusstandaren er kun ca. 25% av energibehovet til en bolig bygget etter normal standard.

Under følger viktige kriterier for passivhus hentet fra passiv.no som er en norsk informasjonsside for passivhus. Videre i oppgaven vil jeg ta for meg hvordan disse punktene kan tilfredsstilles.

- Årlig oppvarmingsbehov skal ikke overstige $15 \text{ kWh/m}^2\text{år}$.
- Maksimalt effektbehov til oppvarming skal ikke overstige 10 W/m^2 .
- Passiv utnyttelse av sol. Dette oppnås med at mye av vindusarealet vender mot sør ($\pm 30^\circ$).
- Så kompakt bygningskropp som mulig, for å redusere arealet mot det fri, og dermed redusere varmetapet.
- Superisolert bygningskropp, med U-verdier under $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$ og helst ned mot $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ (vegg, tak, gulv).

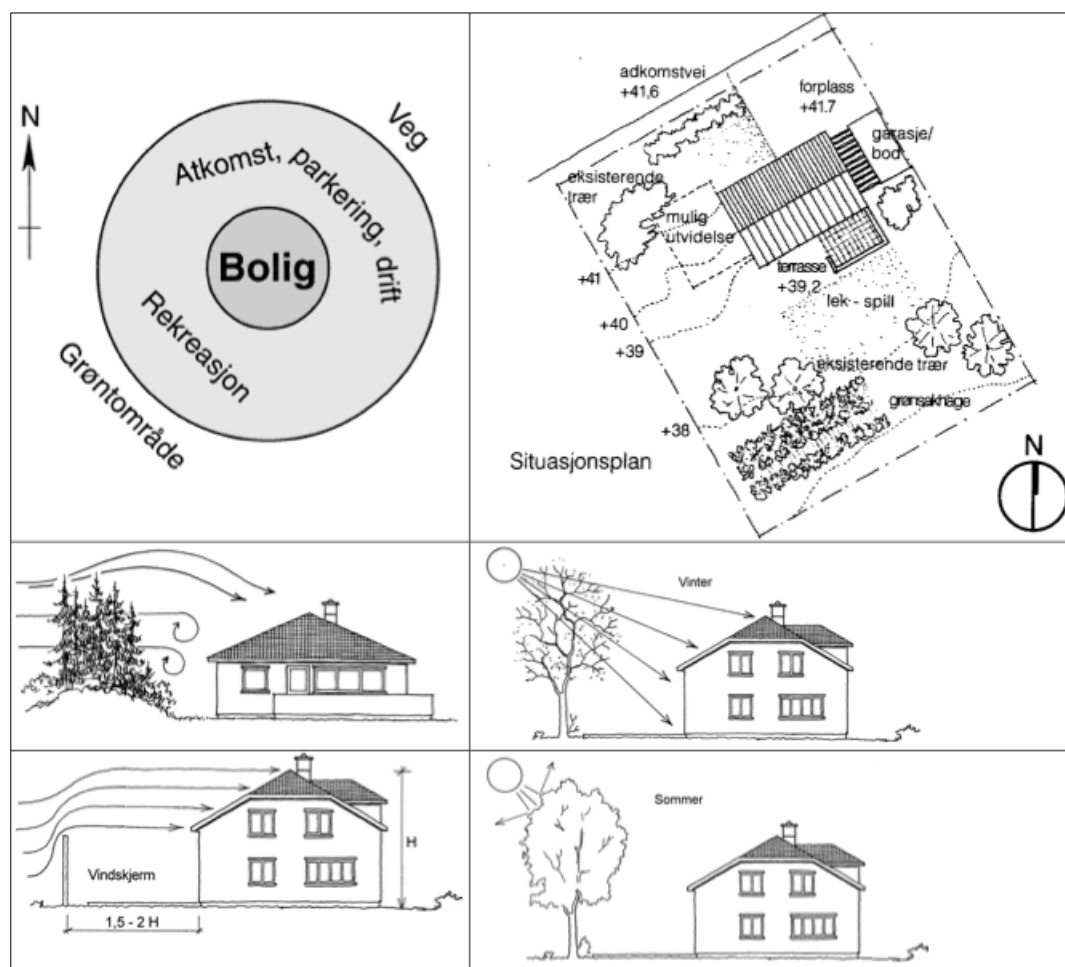
- Kuldebrofrie ytterkonstruksjoner, med kuldebroverdi under 0.01 W/mK (regnet med utvendig areal).
- Superisolerte vinduer, med total U-verdi for vinduskonstruksjon lik eller under 0.80 W/m²K.
- En klimaskjerm med minimerte luftlekkasjer, med et lekkasjetall under 0.6 oms/t (ca. 7 ganger bedre enn dagens norske forskriftskrav).
- Balansert ventilasjon med høyeffektiv varmegjenvinning, med virkningsgrad på minst 80 %. Vifteeffekten må også være lav (SFP < 1.5 kW/m³/s)
- Energieffektive hvitevarer og belysning (A-merkede produkter), for å minimere behovet for elektrisitet.
- En betydelig andel av varmebehovet til tappevann og romoppvarming dekkes ofte av kompakte varmpumpeenheter som tar varme fra avtrekksluften, og/eller termiske solfangere.

3.2 Design og form, egenskaper for energiøkonomisering

Beboernes vaner har stor betydning for hvor mye energi en bygning bruker i praksis. Men det er mye å hente ved god planlegging og prosjektering. Det vil gjennomgå prinsippene for plassering på tomt, energiøkonomisk bygningsform og planløsning.

3.2.1 Plassering på tomten

Husets plassering på tomten er viktig for energibruken, men også utnytting av sollys og beskyttelse for vind og vær. Derfor bør huset plasseres på tomten så den åpne fasaden med flest vinduer vender mot sør. Det er viktig å plassere huset i forhold til resten av bebyggelsen, så andre bygninger, høydedrag eller trær ikke skygger for solen. Og da er det spesielt viktig å tenke på vintermånedene hvor solen står lavest og varmen fra solen er ekstra viktig for passiv oppvarming. Mindre småhustomter bør være smale og dype. Da blir utearealet samlet på den ene siden, og man unngår en smal ubrukelig tomtestripe rundt huset. Når kommunens bygningsetat planlegger nye kvartaler orienteres byggelinjene som oftest i forhold til vei/gate. Det betyr ofte at ikke passivhus blir tilgodesett i planleggingen som krever orientering mot sør og ikke må ligge i skyggen av nærliggende hus. Plassering av de enkelte hus så de ikke skygger for hverandre kan oppnås ved å legge ut hele byggefelt. Da vil det være lettere å planlegge gjennomførte plasseringer ved hjelp av sol- og vindstudier.



Plassering på tomt(Lærebok passivhus, husbanken)

At et enkelt bygg er et passivhus, betyr ikke at alle miljøgevinster er tatt ut, eller at det er miljømessig riktig at huset er plassert der det er. Layout påvirker parametere som lengde på vei, vann og kloakk per bolig, transportbehov og avhengigheten av disse. Effektene påvirker byggekostnadene og ikke minst energiforbruket ved å benytte en gitt infrastruktur. Boligen har ikke bare et energiforbruk i seg selv, men også det energibehovet etablering og det daglige transportbehov som arealplanleggingen generer [7]. Videre vil jeg ta for meg bygningens utforming og planløsning og vise hvordan det bør tas hensyn til energi i planleggingen

3.2.2 Bygningens utforming

Ved planlegging av selve bygningskroppen er det optimalt å velge en kompakt løsning med en enkel fasade uten unødvendige utspring. Jo mindre det utvendige arealet er i forhold til nettovolumet, desto bedre holder bygningen på varmen. Et kvadratisk bygg har en mindre klimaskjerm enn et langt og smalt hus selv om begge typer har det samme gulvarealet. På samme måte vil et hus i to etasjer eller et rekkehus lettere tilfredsstillende passivhuskravene enn et frittliggende bygg over ett plan. Dette viser effekten av å sette enheter sammen og med det redusere ytterflaten for energitap. Det er enkle prinsipper som ligger til grunn, men de er viktige for å forstå hvor stor betydning det har for energieffektiviteten. To basisenheter som plasseres oppå hverandre, er nesten 35 % mer effektive enn hvis de plasseres frittstående hver for seg [11].

Forskyvninger mellom etasjene som for eksempel medfører oppvarmet boligareal over uoppvarmet garasje øker behovet for oppvarming. Utover det å øke klimaskjermens areal fører forskyvninger og utspring til kompliserte sammenføyninger som skal løses. Her er det større fare for at det skal oppstå utettheter eller en kuldebro. Utnyttelsen og utformingen av det innvendige volumet har og stor betydning for energiforbruket. Stor høyde til loft eller større takhøyde i noen rom gir utfordringer i forhold til energiberegningene [11].

3.2.3 Planløsning

Når det gjelder planløsningen, er det viktig å ta en beslutning om hva som skal være oppvarmet areal og hva som skal holdes utenfor som for eksempel en bod. Det er viktig å plassere bygningsdelene optimalt i forhold til hverandre, så ikke uoppvarmede områder blandes med oppvarmede deler. Å samle rommene med størst krav til varmekomfort og å omslutte dem med rom med lavere krav til varmekomfort og uoppvarmede rom, reduserer varmetapet fra bygningen. For å få best mulig lysforhold og soloppvarming bør oppholdsrommene orienteres mot sør, mens soverommene orienteres mot nord. Hvor rommene plasseres, har sammenheng med brukstid på døgnet, der oppholdsrommene varmes opp gjennom dagen, mens soverommene beholdes svale ved at de ikke blir unødig oppvarmet av solen. Ved å organisere romplanen med hensyn til himmelretninger og solgang vil man begrense bruk av kunstig belysning og øke trivsel og romopplevelse. Ildsteder, bad og kjøkken bør ligge sentralt i varme soner av bygget for å utnytte varmen maksimalt. Pipeløp og bad som ligger til yttervegg, vil avgi unødvendig varme til ytre omgivelser. Romplanleggingen har stor betydning for det ferdige resultatet og selve opplevelsen av bygget.

Planløsningen må inneholde en strategi for hvor ventilasjonskanalene, innblåsnings- og utsugingsventilene skal plasseres. Alle installasjonene må planlegges fra starten av. Det er store fordeler ved å plassere teknisk rom og våtrom med korte avstander, på den måten sikres det korte føringsveier med et lavere energitap.

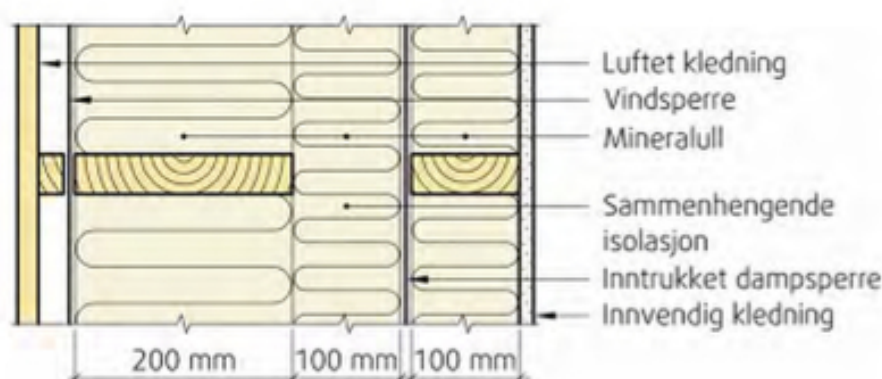
3.3 Bygningens konstruksjoner

Jeg skal her gi en oversikt over de ekstrisolerte konstruksjonene som gulv, yttervegg og tak og deres isolasjonstykkelser og oppbygging. Siden vil jeg rette fokus på trekonstruksjoner, for senere å ta for meg ekstrisolerte vinduer og klimaskjermen med lufttetting, kuldebro problematikk med mer.

3.3.1 Yttervegger

Det er lang tradisjon for å bruke tre som bygningsmateriale i Norge. De fleste småhus og rekkehus bygges i hovedsak av trekonstruksjoner. De økte isolasjonstykkelsene i passivhus gir utfordringer til oppbygging. For å oppnå tilfredsstillende U-verdi i vegg må en opp i en samlet isolasjonstykkelse på 350-400 mm. Nye byggematerialer og byggemetoder er under utvikling og utprøving. I forbildeprosjekter i Norge er det massivtrekonstruksjoner og bindingsverkkonstruksjoner eller dobbelveggkonstruksjoner som har blitt brukt [15].

Tykke passivhusvegger kan bygges med bærende stendere med påforinger, dobbelt sett med bærende stendere, eller i-profiler. Det mest kostnadseffektive vil være å bygge en eller annen form for bindingsverkkonstruksjon. Vanlige ytterkonstruksjoner som tilfredsstillt kravene er bindingsverksvegger med isolert krysslekting utvendig og eller innvendig. Eller dobbelveggkonstruksjoner hvor to bindingsverkvegger er forskjøvet i forhold til hverandre [12].

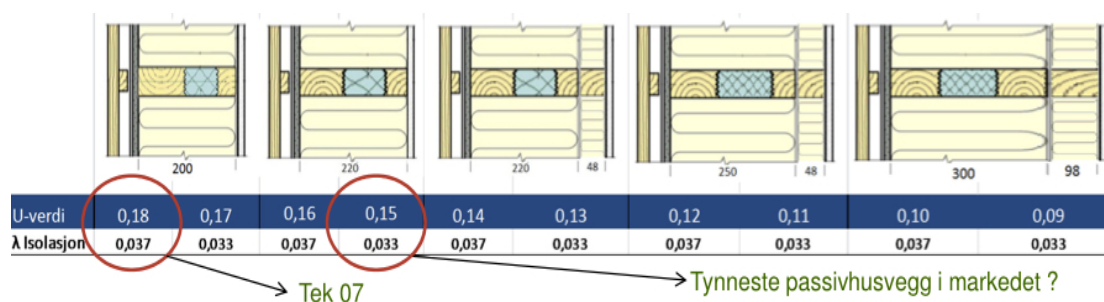


Oppbygging av vegg med to sett bærende stendere og 400mm isolasjon (byggforsk)

Figuren viser en dobbelveggkonstruksjon med to bærende stendere. Begge sett av stendere må ha ordentlig understøtte og få tilført laster for at konstruksjonen skal

holde. En god U-verdi for yttervegger oppnås generelt ved å gi plass til et tykt lag isolasjon med god isoleringsevne, og å bygge inn et sammenhengende isolasjonslag som vist på figuren på forrige side.

Treverket er det bærende i veggkonstruksjonen, men siden treverket isolerer dårligere enn isolasjonen er det ønskelig å minimere andelen treverk i veggkonstruksjonen. Av den grunn er det bedre å bruke i-profiler og komposittstendere av typen iso3. Iso3 er en ny type trestender som er skumisolert. Denne typen isolasjon er med på å bryte kuldebroen i veggen og bedre U-verdien. Det er en fordel å unngå gjennomgående bindingsverk i ytterveggkonstruksjonen, fordi det skaper en kuldebro.



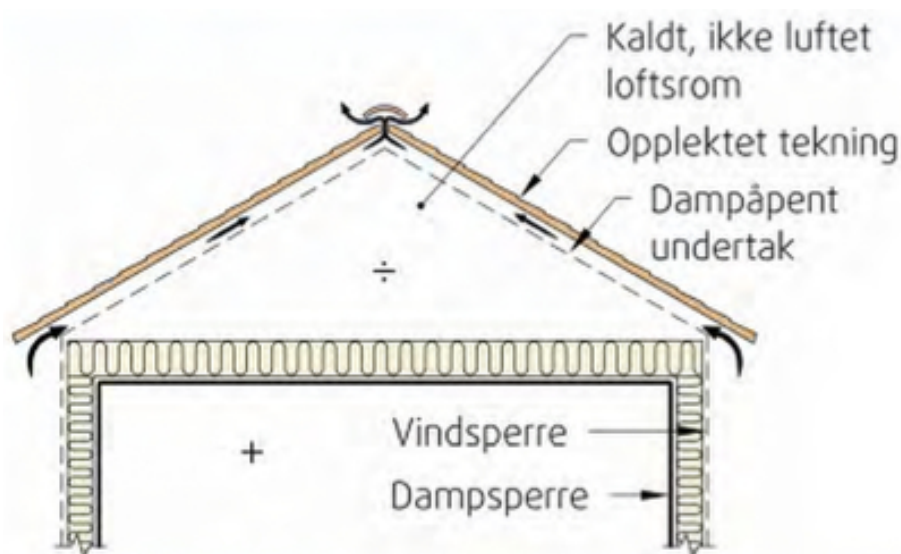
Oppbygging av vegg med forskjellige stenderdimensjoner av iso3 (moelven.no)

Illustrasjonen er hentet fra produsenten sine sider. Det kan stilles spørsmål med U-verdiene som er oppgitt her, men produktet har teknisk godkjenning fra Sintef Byggforsk.

Det er tatt i bruk massivtreelementer ved bygging av noen forbildeprosjekter av passivhus. Et eksempel er Ladeveien i Oslo, som har vært omtalt en del i media. Målet med prosjektet var å rendyrke et energi- og klimaeffektivt boligkonsept basert på massivtre. Det ble utviklet nye veggelementer av massivtre med en tykkelse på kun 8,8 cm for å minske varmetapet. Siden det bygges innefra og ut, er det nødvendig å bygge under telt for å hindre fukt i konstruksjonen. Grunnet de økte kostnadene og økt andel treverk i konstruksjonen, er det mer en løsning for personer som vil ha et annet visuelt uttrykk. Fordelen er at elementene prefabrikeres, men det er en del tekniske løsninger som må videreutvikles blant annet montering av isolasjonen og installasjon av skjulte anlegg for elektrisitet og ventilasjon [35].

3.3.2 Takkonstruksjon

Stort sett gjelder mange av de samme hovedreglene som for vegger for å oppnå en god U-verdi, det vil si tynn isolering med et ubrutt sammenhengende lag av isolasjon og stor avstand mellom sperrene så tre andelen blir lav. Yttertak eller loftsrom bør isoleres godt hvis det er plass til det. Hvis det er et kaldt uventilert loftsrom, er kostnaden nesten bare innkjøpsprisen på isolasjonen [15]. Det er også mindre komplisert med store isolasjonstykkelser ved flate tak eller pulttak hvor isolasjonen legges på oversiden av bærende konstruksjoner. Ved bruk av skrå sperretak kan det være mer kostbart å få til store isolasjonstykkelser [12].



Uventilert loftsrom (lavenergiprogrammet)

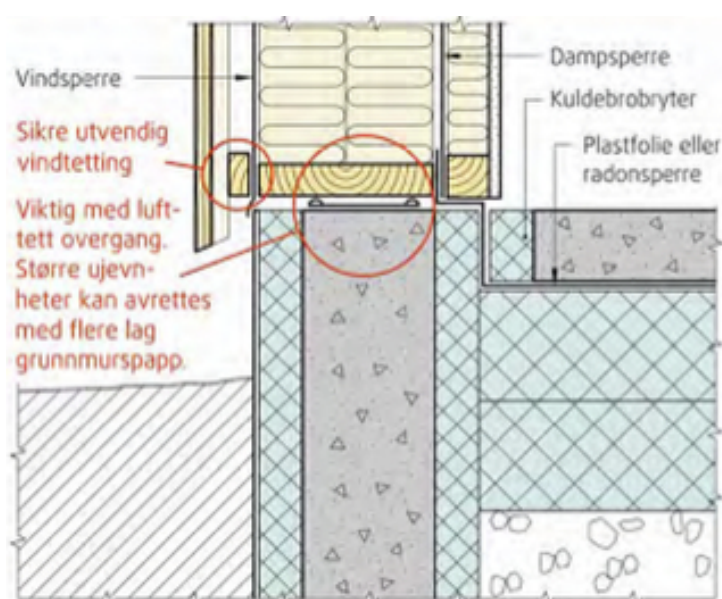
Av figuren ser en at det kun blir utlufting mellom påforingene rett under taktekket, det gjør det viktig med en tett dampsperre opp mot loft så ikke fukt setter seg i konstruksjonen.

3.3.3 Dekke mot grunn

For å oppnå godkjent passivhusstandard er det skjerpede krav til isolering mot grunnen. Ved støpning av betongplate isoleres det på undersiden med ekstrudert polystyren (XPS). Grunnen er kald hele året, så det har stor nytteverdi å isolere godt under gulvet. Generelt er det viktig med en god U-verdi på terrengdekket, da det er umulig å endre senere i byggeprosessen. Det er relativt rimelig å isolere godt under gulvet, men en må grave litt dypere og kjøpe mer isolasjon. Men isolasjonen er lett å

legge og stjeler ikke noe areal i forhold til utnyttelsesgraden til tomten. Utettheter i gulvet kan trekke store luftmengder og radongass inn i bygget, og denne effekten forsterkes fordi det dannes undertrykk nederst i bygningen når varm luft stiger opp. En radonsperre gir god tetting og sikring mot radon [15].

Overgangen mellom dekke på mark og ringmuren er et kritisk punkt fordi det er en stor fare for varmetap. Kuldebroen kan minskes ved å ha en kuldebrobryter, trykkfast isolasjon under fundamentet til ringmuren eller innvendig isolasjon på yttervegg og gulvkonstruksjon.



Detalj overgang gulv mot grunn, ringmur og yttervegg

Figuren er hentet fra Byggforsks kunnskapssystemer, og det er ikke tilstrekkelig isolasjon for å oppfylle passivhuskriteriene, men den illustrer noen av de viktige prinsippene i overgangene.

3.3.4 Vinduer

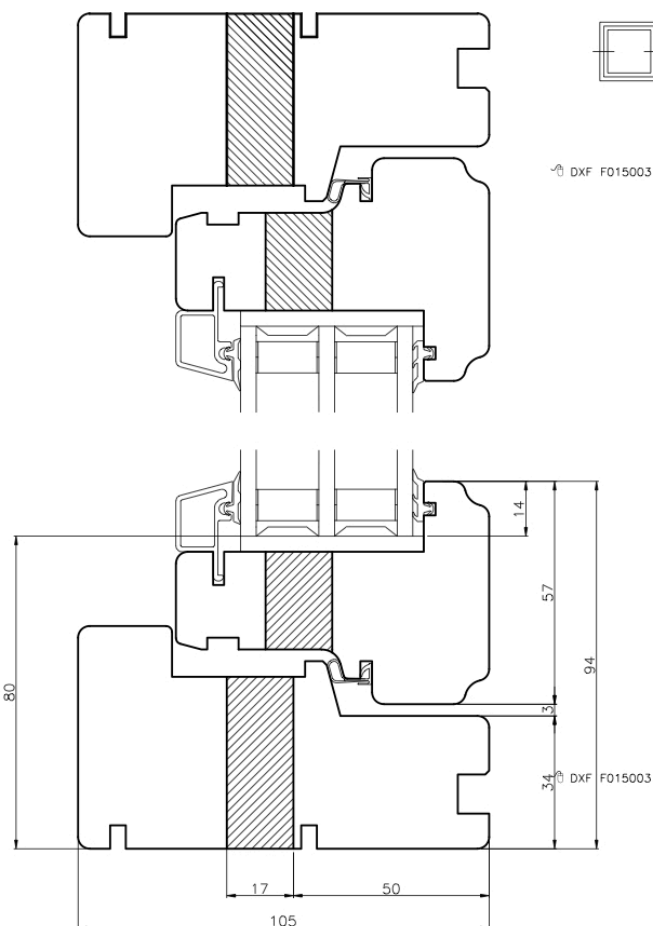
Vindusareal og vinduenes isolasjonsevne står sentralt i passivhusboliger, og kravet er at hele vinduskonstruksjonens U-verdi ikke skal være større enn $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det er flere parametere som styrer valg av vindustype, hvor hensynet til dagslysinnslipp bestemmer hvor stor del av fasaden som bør være av glass. For dagslysberegning måler man kun glassarealet, og for å få et glassareal på 10 % må man ha et vindusareal på 13 -15%. Maksimumsbegrensningen av vindusarealet styres av temperatur og energibruk som har direkte sammenheng med U-verdien og soltransmisjonen til valgt vindustype.

Når bygningskroppen skal planlegges, optimeres det for vinduenes bidrag til solvarme og dagslys. Ved valg av vindustype er det varmeisoleringssevne, lys- og soltransmisjonen som avgjør. Varmeisoleringssevnen er U-verdien til hele vinduskonstruksjonen. For å oppnå god isoleringssevne er det vanlig å bruke superisolerte vinduer med tre lag glass. Hulrommet mellom lagene blir fylt med en tung gass for å redusere varmetapet. Aluminiumskanten i rutene erstattes av et materiale som ikke leder varme, samlet kan nyere teknologi få selve glassets U-verdi ned i $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Rammene og karmene er et svakt punkt når det gjelder isoleringssevne, og det må brukes materialer med lavt varmetap og en del komposittløsninger hvor det da bygges inn en isolerende kjerne. Man kan oppnå en verdi på rundt $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Siden rammene isolerer dårligere enn glasset, lønner det seg å minske ramme- og karmarealet og heller ha færre store vinduer framfor mange små. Et stort ramme- og karmareal er og med på å redusere lystransmisjonen unødig. Lystransmisjonen sier noe om evnen vinduet har til å slippe igjennom dagslys. Flere lag med glass og lavemisjonsbelegg reduserer andelen lys som slipper gjennom. Disse faktorene har og betydning for soltransmisjonen som viser hvor mye av solvarmen som transmitteres gjennom ruta. Det er de korte bølgene i sollyset som slipper gjennom glasset og varmer opp overflater og interiør. Overflatene som blir varmet opp, avgir langbølget stråling som i liten grad transmitteres ut igjen gjennom glasset. I enkle trekk er det dette som er drivhuseffekten og som resulterer i at solstrålene varmer opp boligen [12].

Figurene illustrerer bruken av komposittmaterialer i vindusrammen, skravert område. Horisontalsnittet viser hvordan de tre vinduslagene blir plassert og holdt på plass.



N-Tech passiv (Nordan.no)



Horisontalsnitt av N-Tech passiv (Nordan.no)

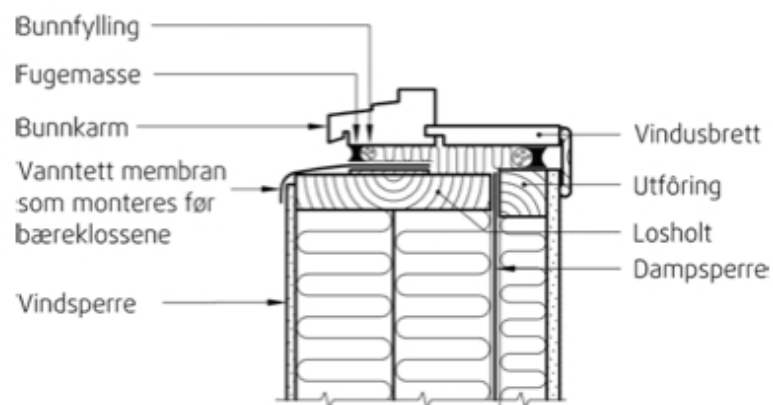
Den totale U-verdien for et vindu kan i henhold til NS-EN ISO 10077-1 beregnes som:

$$U_w = \frac{A_g U_g + A_f U_f + l_g \Psi_g}{A_g + A_f} \quad (\text{W/m}^2\text{K}) \quad (4.2)$$

Hvor:

- A_g er glassarealet til vinduet (m^2)
- U_g er U-verdien til vindusruta (midtrute U-verdi) ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- A_f er karm- og ramme arealet, dvs. den opake delen av vinduet (m^2)
- U_f er U-verdien til karm og ramme ($\text{W/m}^2\text{K}$)
- l_g er omkretsen av glassruta (m)
- Ψ_g er den lineære kuldebroverdien forårsaket av avstandslisten (W/mK)

Vinduene innbygging i ytterveggen har betydning for både energibehovet, den termiske komforten (opplevd innemiljø), dagslysforholdene og det arkitektoniske uttrykket. De relativt tykke veggkonstruksjonene kan by på utfordringer i denne sammenhengen. Solvarmetilskuddet til boligen øker jo tettere vinduet er på den ytre klimaskjermen. Av hensyn til energibehovet bør vinduene bygges inn lufttett og uten store kuldebroer. For å få det til, må vinduet plasseres slik at ruten flukter med isolasjonslaget i veggen. Settes vinduet langt ut i veggen, vil man få en kuldebroverdi på 0,05 W/mK. Trekket lengre inn, vil denne verdien reduseres til 0,01 W/mK. I Norge må en ta hensyn til slagregn og inntrengning av nedbør, ved å sette vinduet lenger inn i veggen øker faren for fuktskader. Samtidig skal en direkte kontakt med tunge konstruksjonsdeler helst unngås, og det skal etableres en lufttett forbindelse fra karmen til klimaskjermens lufttette lag [13]. Fugen mellom vegg og karm kan tettes med fugeskum eller fugemasse og bunnfyllingslist som vist på figur under.



Plassering av vindu i yttervegg (byggforsk)

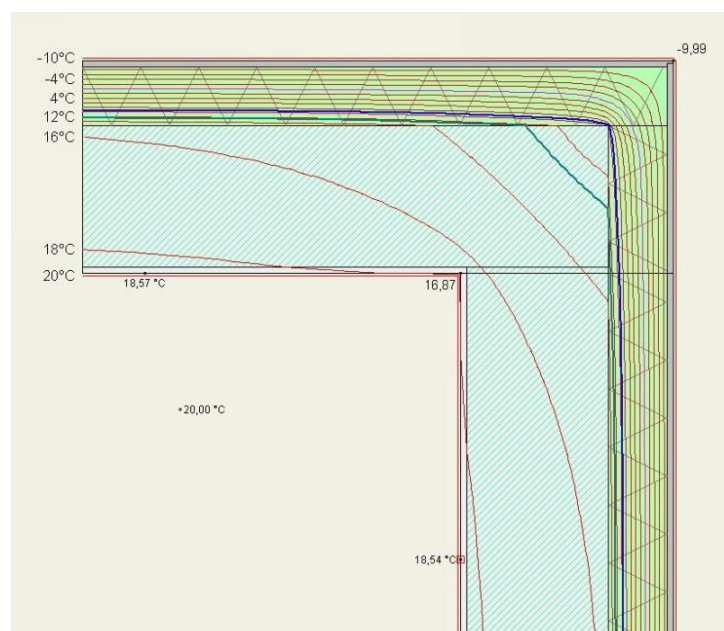
3.4 Klimaskjermen

I detaljprosjekteringen av et bygg som skal opprettholde kravene til passivhusstandard, er en tett klimaskjerm uten luftlekkasjer en av de grunnleggende forutsetningene. Alle konstruksjonene i et byggeprosjekt må planlegges med best mulig varmeisolering samtidig som det tas hensyn til hvordan kuldebroer og lufttetthet løses på en byggemessig enkel måte.

3.4.1 Kuldebro

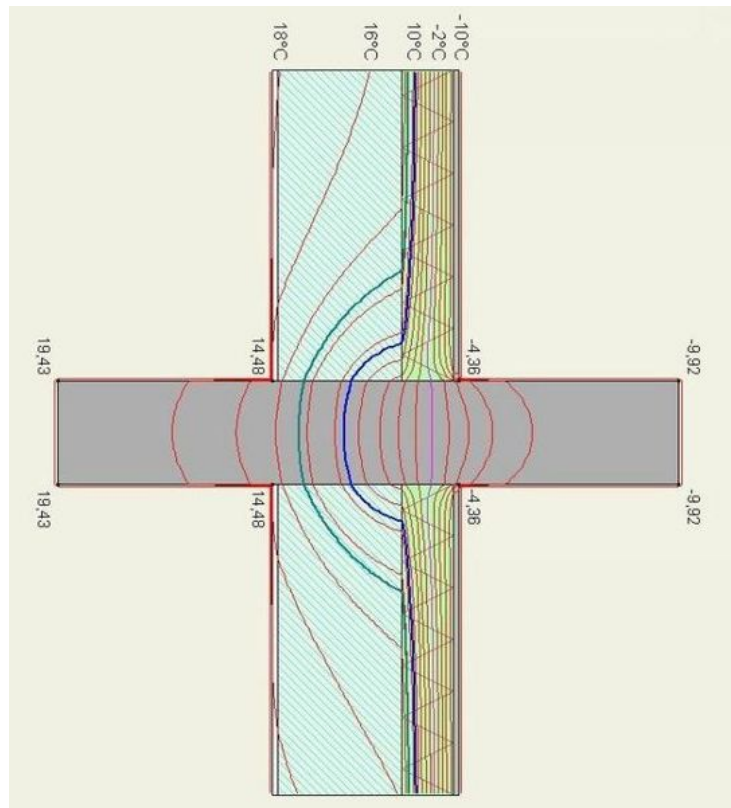
Kuldebroer er steder i konstruksjonen med betydelig dårligere isoleringsevne. I tillegg til å øke varmetapet kan kuldebroer føre til lave overflatetemperaturer og dermed dårlig termisk komfort. De kan forekomme som et resultat av geometri hvor for eksempel fasaden endrer retning eller i form av varmeledende materialer som bryter isoleringen.

Figuren viser hvordan temperaturen synker mellom sammenføyningen av to vegger. Temperaturen er lavere i hjørnet enn for resten av vegg, det er større infiltrasjon av kald luft i hjørnet fordi det er et svakere punkt konstruksjonsmessig.



Geometrisk kuldebro (no.wikipedia.org/wiki/Kuldebro)

Den konstruktive kuldebroen, som kan komme av en utkraget balkong eller takbjelke, hjelper kulden å trenge inn gjennom isolasjonslaget. Bjelken har en større varmeledningsevne enn veggkonstruksjonen rundt. Det kan og være noen utettheter rundt slike gjennomføringer.



Konstruktiv Kuldebro (no.wikipedia.org/wiki/Kuldebro)

Det er ikke mulig helt å utelukke kuldebroeffekten fordi en er avhengig av gjennomføringer i klimaskjermen og innsetting av dører og vinduer. Lineære kuldebroer oppstår i sammenføyninger som overgang mellom gulv og vegg, mens punktvis kuldebroer oppstår ved for eksempel at en bjelke bryter klimaskjermen.

Erfaringsmessig finnes det noen tommelfingerregler for å minske forekomsten av kuldebroer [12].

- Et tykkest mulig isoleringslag på utsiden av bærekonstruksjonen.
- Minimere antall gjennomgående punkter i klimaskjermen.
- 150 mm med isolasjonsoverdekning på tunge konstruksjoner.
- Unngå luftlekkasjer rundt kuldebroer, særlig stor for bjelker, søyler eller dekker som bryter klimaskjermen. I verste fall kan det føre til bygningsskader.

3.4.2 Lufttetthet

For passivhus er det satt et krav til lufttetthet på 0,6 oms/t, og dette er omtrent 4 ganger så bra som de norske kravene for småhus som har et lekkasjetall på 2,5. Lekkasjetallet betegner antallet luftvekslinger per time ved 50 Pa trykkforskjell. En lufttett konstruksjon er en forutsetning for at ikke varm luft slipper ut eller kald luft kommer inn. Tette boliger hindrer trekk, samt at en kan øke ventilasjonsluftmengdene når en har varmegjenvinning i moderne lufteanlegg. De strenge infiltrasjonskravene i passivhus sikrer at energiforbruket blir minimalt, at den behovsstyrte ventilasjonen fungerer optimalt og at ikke konstruksjonene får fuktproblemer [14].

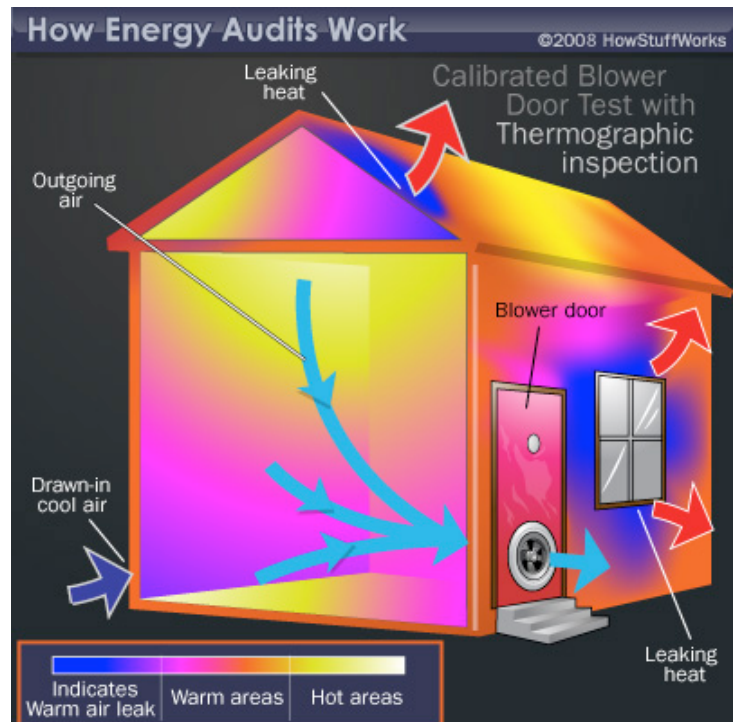
For å sikre en vedvarende lufttetthet i hele byggets levetid, må håndverket kvalitetsikres og forarbeidet være nøye planlagt. Alle konstruksjonene krever en egen strategi for å løse problemene ved manglende lufttetthet på en best mulig måte.

Tre hovedpunkter for å sikre lave lekkasjetall gjennom byggeprosessen.

1. Kvalitet – samtidig med at konstruksjonenes oppbygning planlegges må en strategi for lufttetthet innarbeides.
 - a. Hvor plasseres det lufttette laget i konstruksjonen?
 - b. Hvordan sikres lufttetthet ved overgang til andre konstruksjoner?
 - c. Hvor og hvordan føres installasjonene gjennom det lufttette laget?
2. Ved design av detaljer må lufttetthet inkluderes fra starten av, og en må forklare hvordan det kan utføres i praksis.
3. Utførelse – håndverkerne må få grundig opplæring i hvor viktig lufttetthet er for det ferdige resultatet og hvordan dette oppnås.

Allerede ved fundamenteringen er fokuset på lufttetthet særdeles viktig, da de fleste installasjoner føres inn gjennom gulvet. Her er isolering og støp rundt rørene ekstremt viktig. Det finnes i dag gode mansjettløsninger for de fleste standard dimensjoner som sveises fast. Skjøting i hjørner og overganger bør ikke forekomme, der det oppstår skjøter, må disse teipes og klemmes. For å sikre kvaliteten på arbeidet, vil det være hensiktsmessig med en måling av bygningens samlede lufttetthet og luftlekkasjer etter trykkmetoden, også kalt differansetrykkmetoden. Det beregnes et gjennomsnittlig lekkasjetall etter målinger ved 50 pascal under- og overtrykk [15].

Tetthetsmålinger underveis i byggeperioden kan avdekke luftlekkasjer på et tidlig tidspunkt og vil gjøre arbeidet med og kostnadene for utbedringer mindre. Når huset ferdigstilles, gjøres det en siste test og sertifisering av en uavhengig tredjepart. For å lokalisere de svake punktene i klimaskjermen, benyttes det et ir-kamera som er følsomt for infrarød stråling.



Trykktest med termografi (howstuffworks.com)

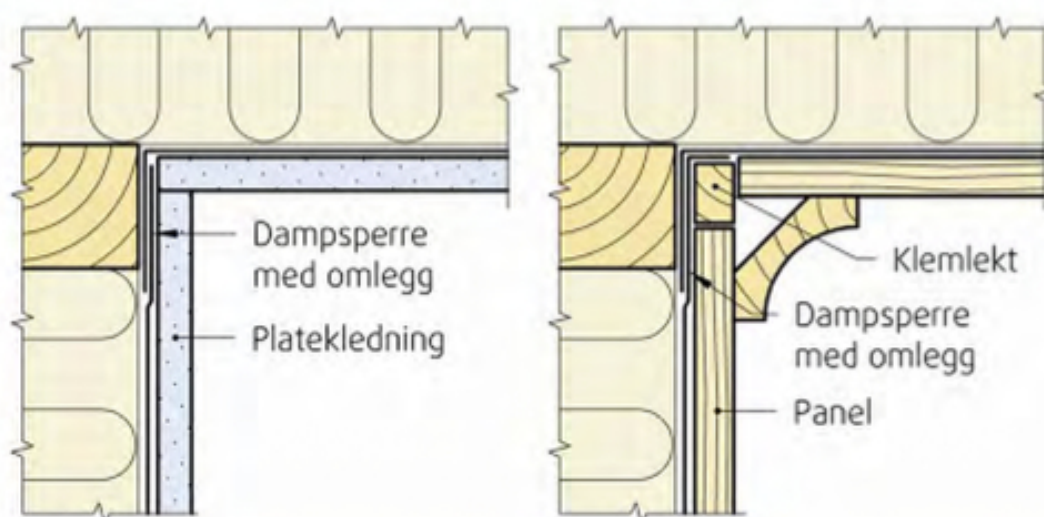
3.4.3 Vindsperre

Til vindsperre finnes det både plate- og rulleprodukter som skal hindre at kald luft trenger inn i isolasjonssjiktet. Sammen med dampsperran skal vindsperren være en ekstra sikring mot gjennomgående luftlekkasjer. Valgt produkt bør finnes i hel etasjehøyde, ha god rivestyrke og lav motstand mot dampgjennomgang. Rulleproduktene har den fordel at det blir færre skjøter siden de kommer i lange lengder. Anbefalt vanndampgjennomgangsmotstand S_d er 0,5 m, konstruksjonen gis bedre mulighet til å tørke ut fuktighet i sviller og stendere [13].

3.4.4 Dampsperre

I forkant av at konstruksjonen fylles med isolasjon og lukkes med en dampsperre, er det viktig å forsikre seg om at treverket er tilstrekkelig tørt. Utstyret som brukes til fuktmåling, må ha pigger slik at det kan trenge inn i treverket å måle fuktigheten inne i kjernen. Det er fordi forskjellene på det ytre og indre fuktinnholdet kan være relativt store. Treverket i konstruksjonen skal ikke ha en relativ luftfuktighet større enn 20 % når det lukkes inne, og helst under.

Det er viktig å få dampsperran montert med en gang isolasjonen i bygget er på plass i alle tilfeller før man begynner å varme opp bygningen. Alle skjøter må teipes og klemmes med en overlapp på 100 mm. Platekledninger kan gi tilfredsstillende klemming, men trepanel klemmer ikke tilstrekkelig og en må for eksempel ha en klemlekt i hjørner. Figuren under illustrer begge tilfellene [15].



Innsetting av dampsperre (byggforsk)

Siden varmluft stiger, dannes det et høyere trykk i den øvre delen av bygningen, og her er det særdeles viktig med en lufttett dampsperre mot tak eller loft. Hvis ikke det tettes ordentlig her, vil varm fuktig inneluft presses opp i konstruksjonen. Energitalet vil være betydelig, men i verste fall kan en få alvorlige fuktskader på grunn av kondens. Den enkleste måten å få det tettest mulig er å ha en kontinuerlig dampsperre opp den ene langveggen og ned den motstående langveggen. Skjøten blir liggende i overgang tak og vegg, det gir gode muligheter til å klemme skjøtene i dampsperran mellom bindingsverk og takbjelker. Det er ikke vanskeligere å få til en lufttett

dampspærre mot tak eller loft, men det økte trykket som er i fyringsperioden gjør det viktigere[15].

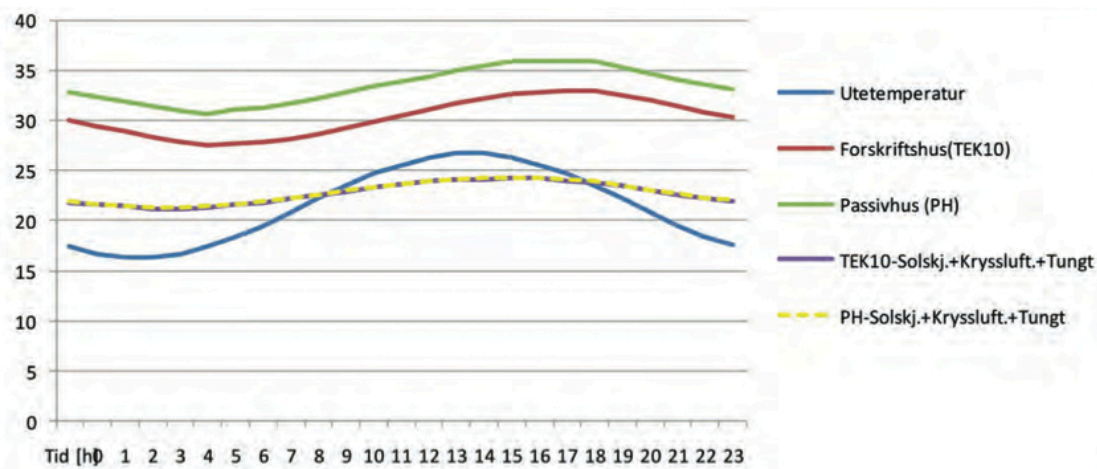
For at elektriske installasjoner og føringsrør skal kunne legges skjult og ikke perforere dampspærren, er det lurt å trekke den litt inn i veggen og fylle hulrommet med isolasjon.

3.5 Solskjerming

Om sommeren er det viktig å avskjerme vindusarealene for å unngå overoppheting og kunne ha mulighet til å styre hvor mye av varmen som skal slippe inn i huset. Mot sør vil det ofte være en bra løsning å overbygge vinduspartiene siden solen står høyt på sommeren, så innstrålingen skjermes av konstruksjonen. Store vinduer mot øst eller vest blir utsatt for lav solstråling også under sommerperioden, og her er det vanlig å bruke utvendige persiener. Solavskjermingen må være utvendig, da solvarme som allerede har passert gjennom glasset, vil varme opp boligen. Innvendige persiener har liten funksjon. Det finnes automatiserte løsninger som styres av forhåndsvalgte parametere eller lyssensorer. Hva en velger, vil være et spørsmål om pris og hvor mye ansvar en vil legge over på brukeren av boligen. En effektiv solavskjerming skygger for solen om sommeren , men ikke om vinteren. Samtidig som den tar vare på utsikten og ikke ødelegger det arkitektoniske uttrykket [16].



Eksempel på solskjerming (www.homedesignfind.com)



Simulering av soloppvarming (byggeindustrien nr 2 -2011)

Grafene viser en simulering av en enebolig på 160 m² med vanlig forskriftskravnivå (TEK10) og en med passivhusstandard (NS3700) med forskjellige variabler. Utfra figuren ser en at passivhuset vil få en innetemperatur et par grader høyere enn et med dagens forskriftskravnivå uten effektiv solskjerming. Med effektiv solskjerming, krysslufting og et noe tyngre bygg vil operativ temperatur i både passivhuset og forskriftshuset i praksis bli lik og ikke overstige 25 grader [17]. Varmetap gjennom veggene betyr med andre ord lite når utetemperaturen er tilnærmet lik innetemperaturen, det er det naturlige luftskiftet gjennom åpne vinduer, dører og god solavskjerming som dominerer.

3.6 Ventilasjon

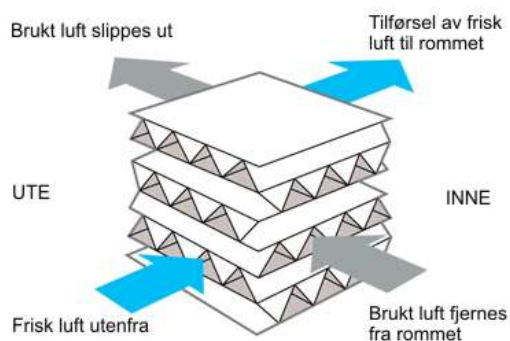
Inneluften i boliger blir særlig utsatt for høy luftfuktighet, men det kan forekomme skadelige stoffer, dårlig lukt med mer. Alt dette skaper et dårlig innemiljø, det må være et regelmessig luftskifte for å oppfylle kravene om et hygienisk innemiljø.

Utlufting gjennom vinduer kan ikke kontrolleres nøyaktig, fordi den avhenger av utetemperatur, vindretning og egne utluftingsvaner. Den største ulempen ved utlufting gjennom vinduer er at den ikke gir noen mulighet for varmegjenvinning.

Utskiftningen av luften i passivhus foregår primært ved balansert mekanisk ventilasjon med luft til luft varmegjenvinning. Siden kravet til lufttetthet er så strengt, blir det liten utskiftning av inneluften gjennom konstruksjonene, og for å ikke sløse med energibruken, må det benyttes ventilasjonssystemer med god varmegjenvinning. SFP-faktor er et standard mål på virkningsgraden til viftesystemet. Ventilasjonsaggregatets effektivitet avhenger av trykktapet viftene må bekjempe for å bringe luften fram til ønskede rom. For passivhus skal SFP-faktoren være mindre enn 1,5 ved vanlig bruk, faktoren beskriver viftens effektforbruk i forhold til levert luftmengde. Balanserte luftesystemer består av to separate luftekanaler hvor den ene tilfører friskluft, mens den andre fjerner forurenset og fuktig inneluft. Det er frisklufttilførsel til alle oppholdsrom og avtrekk fra kjøkken, toalett, bad og andre våtrom. Varmen fra inneluften overføres til den tilførte uteluften gjennom en varmegjenvinner, og det finnes to hovedtyper for balanserte ventilasjonsanlegg [7].

3.6.1 Varmevekslere

Rekuperative er statiske vekslerer som overfører varmen gjennom tynne metallvegger som skiller luftstrømmene fra hverandre. Eksempler på denne typen varmevekslere er kryss- og motstrømsvarmeveksler.



*Prinsipp for kryssvarmeveksler
(http://www.fims.no/index_luftrensersLossley.htm)*



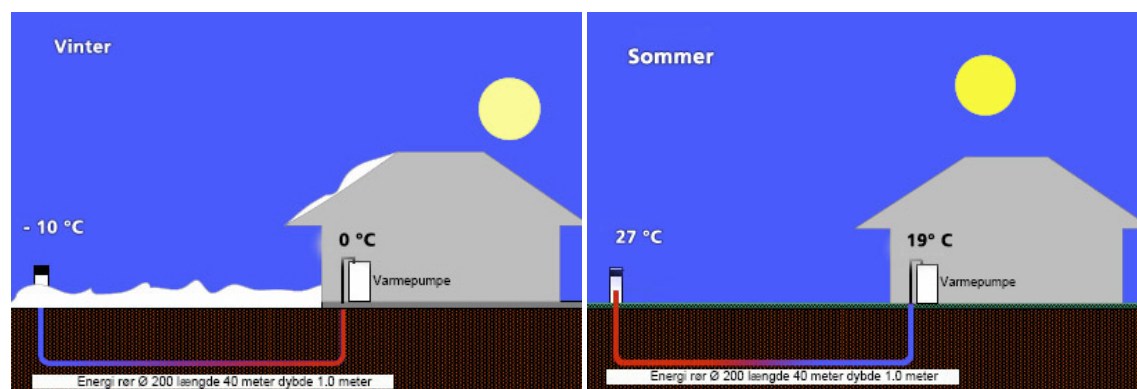
Motsrømsvarmeveksler (<http://prod.delchi.no>)

Regenerative varmegjenvinnere er sykliske og fungerer ved at varmeakkumulerende materiale vekselvis bringes i kontakt med varm avtrekksluft og kaldere tilført friskluft. Av denne typen er de to mest brukte kammervarmeveksler og en roterende varmeveksler. For småhus er det disse som er mest aktuelle, og det er vanlig at de har en virkningsgrad på 80 % eller bedre [12].

3.6.2 Kjøling

For passivhusboliger settes det normalt en grense på overtemperatur på rundt 25 grader celsius. Passive tiltak som solavskjerming, nattkjøling ved hjelp av åpne vinduer og økt ventilasjon foretrekkes. Mekaniske kjølesystemer bør unngås. Kjøling av ventilasjonsluften ved hjelp av jorden er bra løsning fordi det tilnærmet er gratis. Hovedfunksjonen er å forvarme den friske luften vinterstid, slik at luften tilføres varme fra jorden før den når varmeveksleren i ventilasjonsanlegget. Hvis en oppnår en luft temperatur over 0 grader, eliminerer det risikoen for tilising av varmeveksleren og elektrisk forvarming bli unødvendig. Kjølingen er en positiv bieffekt. Systemet er veldig enkelt og har vært i bruk i mange år i Tyskland. Det er viktig at jordrøret har fall og et avløp for kondensvann, hvis ikke kan det dannes vannansamlinger med fare

for bakterieoppblomstring. Selve luftinntaket må ha et filter som forhindrer bøss og større partikler å trenge inn [19].



Design av ventilasjonsrør med forvarming vinter, eller kjøling sommer. Ø 200mm, 40m lengde og 1m dypde (rockwool.no).

3.6.3 Behovsstyring

I moderne anlegg er det mer og mer vanlig med behovsstyring av ventilasjonsluften. Dette er en enda bedre løsning sett fra et energiøkonomisk synspunkt fordi ventilasjonsbruken og dermed oppvarmingsbehovet reduseres i perioder hvor det liten eller ingen aktivitet i boligen. I et slikt system er det montert en fukt- og CO₂ føler i utluftingskanalen som registrerer verdiene og holder disse innenfor grenseverdiene som ble fastsatt ved innregulering av luftesystemet. Energi til drift og oppvarming av luften i ventilasjonsanlegg utgjør en stor prosentandel av det totale energiforbruket. Viftedriften krever elektrisk energi og kan vanskelig erstattes av andre fornybare energikilder. Ved bruk av behovsstyring vil bruken reduseres betraktelig uten at det går på bekostning av et godt inn klima og øker risikoen for byggetekniske skader [18].

En manuell behovsstyring burde være standard hvor man har en bryter hvor man setter bygget i en form for hvilemodus når det ikke er personer til stede. Dette er en enkel og billig løsning som fungerer effektivt uten dyre sensorer og automatikk.

3.6.4 Naturlig ventilasjon

Naturlig ventilasjon kan ikke være den eneste muligheten til utlufting da all varmen vil gå tapt på vinteren. På sommeren derimot kan bygningen utluftes med naturlig ventilasjon. For å få en god utlufting må en ha tilstrekkelig størrelse på ventilasjonsåpningene/vinduer og at de er plassert fornuftig i forhold til den dominerende vindretningen. Det vil være mest hensiktsmessig å få til kryssløfting med luftinntak på lo-side og utlufting på le-side. Man vil få en bedre ventilering ved å ta hensyn til den dominerende vindretningen.

4. Energibesparende oppvarmingsløsninger

4.1 Oppvarmingsløsninger

Når husets utforming og plassering samt klimaskjermens kvalitet er fastlagt, kan kravene til oppvarmingssystemet beregnes. På grunn av krav til energieffektivisering og reduserte CO₂-utslipp utelukker det bruk av fossile brennstoff, og det legges stor vekt på bruk av fornybare energikilder for passivhus. Det enkleste og rimeligste er fortsatt elektrisk rom- og trappevannsoppvarming. Men det er ikke en fremtidsrettet løsning verken samfunnsmessig eller privatøkonomisk. Å basere seg på kun elektrisitet er lite fleksibelt, og strømprisene vil med all sannsynlighet stige dramatisk med tiden. I en rapport fra Sintef fokuseres det på hvor viktig det er å få på plass en integrert løsning som er tilpasset lokale forhold.

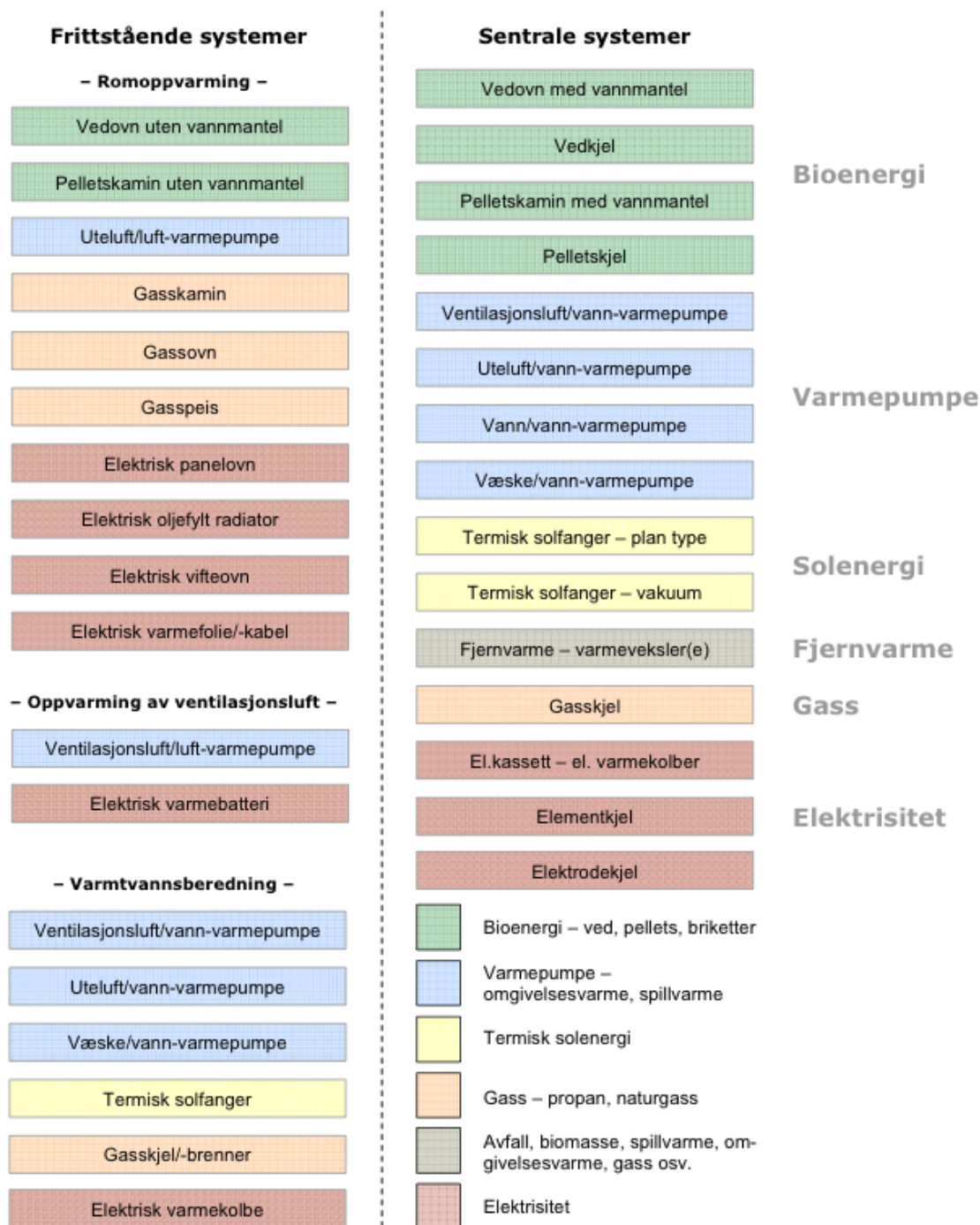
”Ved bygging av lavenergiboliger bør det satses på såkalt integrert design. Det vil si at en må finne fram til best mulige totalløsninger for bygning og oppvarmingssystemer ut i fra lokale forhold, slik at en oppnår en optimal løsning for både brukeren og samfunnet med hensyn på kostnader, energibruk, energifleksibilitet, ytre miljøbelastning og innemiljø.” [22]

Netto energibehov til romoppvarming, ventilasjon og varmtvann defineres som varmebehov. For passivhus er varmebehovet størst for varmtvann og ventilasjonsluft, selve romoppvarmingsbehovet kan dekkes med enkle punktoppvarmingskilder eller overtemperert luft via ventilasjonssystemet.

Frittstående oppvarmingssystemer er sammensatt av enkeltkomponenter som dekker de forskjellige varmebehovene. Det øker muligheten til å velge komponenter med særlig høy effekt og designe løsninger som passer eksakt til bygningens behov. Til gjengjeld kreves det mer arbeid ved prosjektering, og det må forventes at systemet krever mer plass og fremstår som mindre bruker- og rengjøringsvennlig.

Sentrale oppvarmingssystemer har varmedistribusjon via vann eller luft og kan dekke alle oppvarmingsbehovene i boligen. Varmen distribueres fra en varmesentral og krever dermed mindre plass. Det kan være noe vanskeligere med særskilt individuell tilpasning.

Figuren under viser en oversikt over frittstående og sentrale oppvarmingsystemer og er delt inn etter oppvarmingskilde.



Oppvarmingsystemer og energikilder (oppvarmingsystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard Sintef energiforskning)

4.2 Energikilder

Verdens energibruk har økt med nesten 70 % i løpet av de siste 30 åra. Det er videre spådd at den kommer til å øke med 2 % hvert år i løpet av de neste 15 åra [23].

Energikildene som vil bli gjennomgått her, er i all hovedsak fornybare eller fører til betydelig mindre energibruk.

4.3 Solenergi

Solenergien som treffer jorden, er mye høyere enn den energimengden menneskene bruker. Det er den mest energivennlige energikilden vi har, og den er tilgjengelig over hele jorden. Selv om innstrålingen er størst ved ekvator, er det et stort energipotensiale i solinnstrålingen mot Norges landareal. Bare i passiv solvarme gjennom vinduer tilfører sola 3 – 4 TWh til den norske bygningsmassen. Noe av problemet er at solinnstrålingen varierer sterkt med årstidene og mellom sør og nord i Norge. Utfordringen blir å utnytte energien på en rasjonell måte [24]. Her vil det ikke sees på løsninger med solceller til strømproduksjon siden effekten foreløpig er ganske beskjeden i forhold til solfangere.

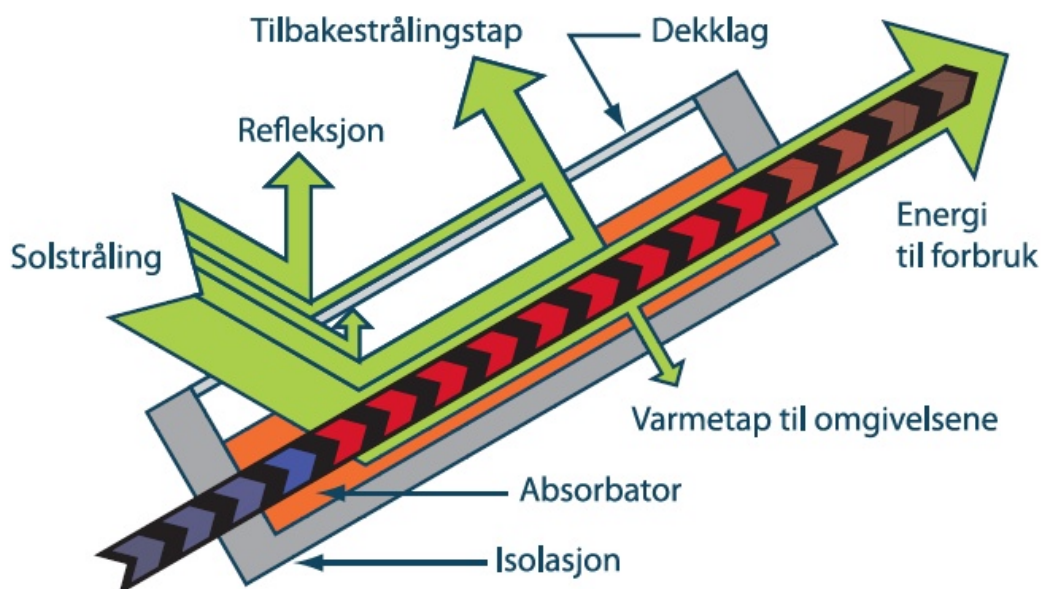
4.3.1 Passiv solvarme

Tidligere er det gjennomgått hvor viktige det er å planlegge bygningsform og plassering av vinduer og tyngre konstruksjoner for å utnytte solvarmen passivt i et bygg. Hvis ikke dette tas i betraktning i planleggingsfasen, vil en få dårlig utnyttelse av solinnstrålingen. Passive solvarmesystemer deles inn i tre hovedprinsipper [25].

- Direkte systemer – solstrålingen slipper direkte inn gjennom vinduer eller lysåpninger. Fungerer som drivhuseffekten, varmen slipper ikke ut igjen.
- Indirekte systemer – solen varmer opp en tyngre konstruksjon for eksempel en sentralt plassert betongvegg. Den fungerer som et varmelager som frigjør varme etter at solen har gått ned.
- Isolerte systemer – solenergien fanges opp i et rom som er adskilt fra oppholdssonen, ofte kalt solrom eller glassgård.

4.3.2 Aktive solfangere

En solfanger eller kollektor har en isolert svart overflate som absorberer energien fra solen. Varmen som absorberes, overføres til en væske som ledes til et varmelager eller direkte dit man trenger varmen.



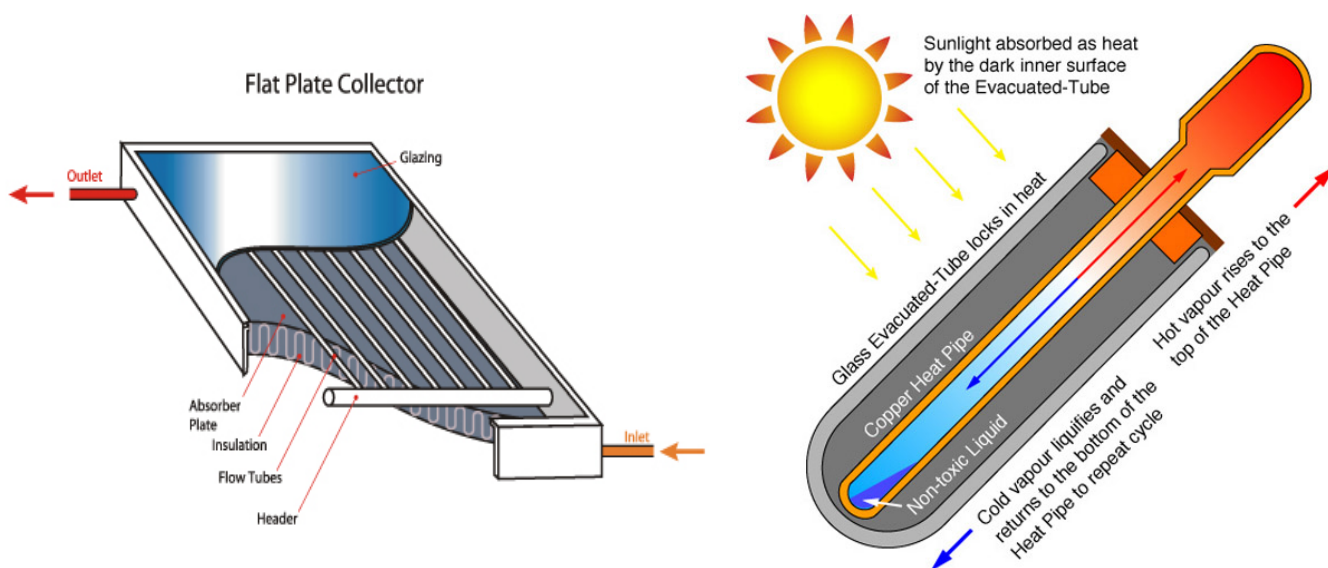
Termiske forhold for solfangere. Illustrasjon: Kim Brantenberg (fornybar.no)

Fra figuren ser en at det er et refleksjonstap fra dekklaget av glass, hvor stort transmisjonstapet fra glasset blir, avhenger av innfallsvinkelen. De strålingstekniske egenskapene til dekkglasset og absorbatoren avgjør hvor mye av den resterende energien som går til oppvarming. Til slutt er det noe varmetap til omgivelsene, og store temperaturforskjeller mellom solfangeren og omgivelsene gir økt varmetap.

Det er de væskebaserte systemene som egner seg best for passivhus fordi systemet kan levere varme til varmtvannsforbruk og romoppvarming samt at det er enkelt å koble til en tilleggs varmekilde. Væsken som sirkulerer gjennom solfangeren er som oftest vann som er tilsatt et frysepunktreduserende stoff som glykol eller sprit. Dette er for å sikre seg mot at væsken fryser og rørene sprekker. Mange nye solvarmere som har kommet på markedet, bruker rent vann og har en styringsenhet som drenerer solvarme-anlegget ved lave og høye temperaturer. Dette hindrer frost og overgang til is eller koking og fordamping [26].

Den optimale helningsvinkelen for solfangere som er montert mot sør, er 40 - 50°. Montering mot øst eller vest vil gi cirka 25 % lavere utbytte. Helningsvinkelen virker

inn på om snøen legger seg vinterstid og hindrer varmeproduksjon. For Norges del er vertikale solfangere på fasade høyaktuelt siden bidraget fra en lav vintersol blir større når behovet for energi til oppvarming av bolig øker i vintermånedene [27].



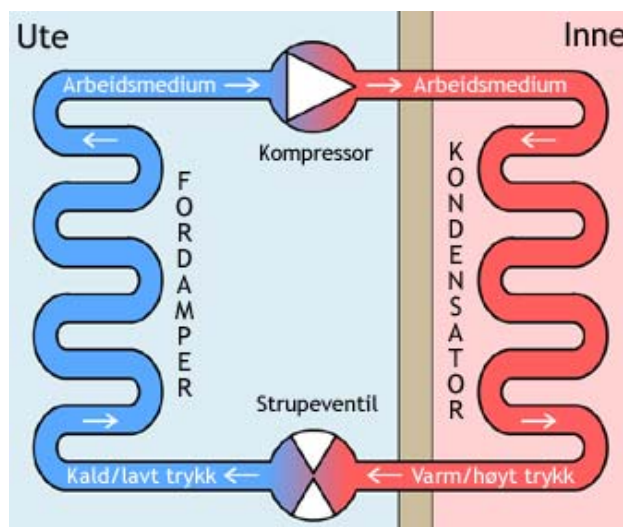
Prinsipper for plansolfanger til venstre og vakuumsolfanger til høyre(<http://www.adamsolarresources.com>)

Figurene over skisserer de viktigste prinsippene og oppbygningen til de to dominerende typene. Forskjellige produsenter har egne varianter og løsninger. Plane solfangere er den mest vanlige typen på grunn av at den er mye rimeligere å produsere, men de generer mindre varme enn vakuumsolfangeren. I enkle trekk føres uoppvarmet vann inn og fordeles i rør med gode varmeledende egenskaper som kobber. Vannet strømmer i rørene under absorbasjonsoverflaten og varmes opp før det returneres til et varmelager eller til direkte forbruk. Dekkplaten eller glasset slipper de kortbølgete strålene inn og begrenser tapet av den langbølgete varmestrålingen sammen med isolasjonen.

Vakuumsolfangeren er en del dyrere, men virkningsgraden er mye større. Det oppnås ved at det er vakuum mellom to lag av sylindriske glassrør. Det lave lufttrykket reduserer konveksjon- og ledningsvarmetapet. Siden vakuum solfangere reduserer varmetapet til omgivelsene, er den godt egnet for et kaldt klima og vil ha en høyere års virkningsgrad [22].

4.4 Varmepumper

Varmepumper henter varme fra omgivelsene. Det unike er at varmen hentes fra et lavere temperaturnivå og føres til et høyere temperaturnivå. Den utnytter en tilgjengelig ekstern varmekilde som for eksempel uteluft, fjell, jord og sjøvann og reduserer behovet for primærenergi med 50 til 80%. Varmepumper finnes i mange varianter og deles



Varmepumpe oppbygning (novap.no)

inn etter hvilken varmekilde de benytter seg av og hvordan de leverer fra seg varmen. Den prinsipielle oppbygningen består av en fordamper, kondensator, kompressor, ekspansjonsventil og et arbeidsmedium [28].

- Fordamper – varmeveksler for varmeopptak fra varmekilden
- Kompressor – øker trykket til arbeidsmediet
- Kondensator – varmeveksler for varmeavgivelse til varmekonsumer
- Strupeventil – reduserer trykket til arbeidsmediet

For passivhus er det i de senere år utviklet varmepumpeteknologi som er spesielt tilpasset lavenergiboliger. De to typene som her vil gjennomgå, er kompaktaggregat og varmepumper med karbondioksid som arbeidsmedium.

4.4.1 Varmepumpens energieffektivitet

Effekt faktoren forkortes COP (coefficient of performance) og forteller hvor mye varmeeffekt pumpen avgir i forhold til effekten den bruker. Med andre ord hvor mye strøm varmepumpen klarer å spare.

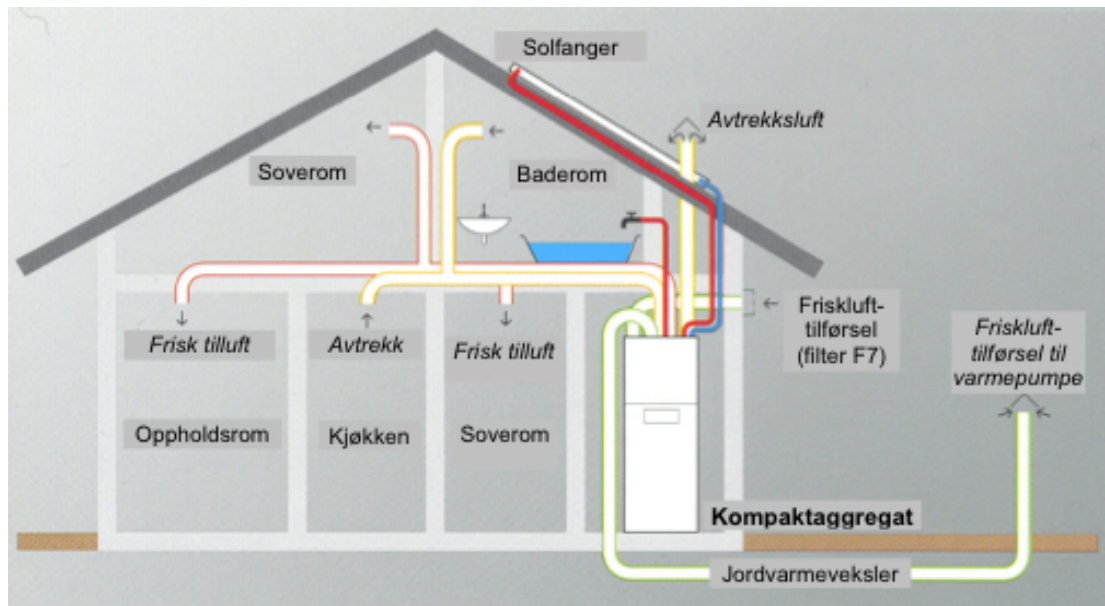
$$COP = \left(\frac{Q}{P} \right)$$

Ligningen angir COP som er forholdet mellom varmeeffekten fra kondensatoren (Q) og den tilførte elektrisiteten til kompressoren som er (P). Verdien av COP avhenger i stor grad av temperaturforskjellene mellom varmekilden og varmeavgivelse til forbruk.[29]

Høyest energisparing oppnås derfor ved å utnytte en varmekilde med relativt høy temperatur og hvor varmesystemet kan utnytte relativt moderate temperaturer som for eksempel gulvvarme. Varmepumpens effektivitet gjennom hele året uttrykkes ved årsvarmefaktoren.

4.4.2 Kompaktaggregat

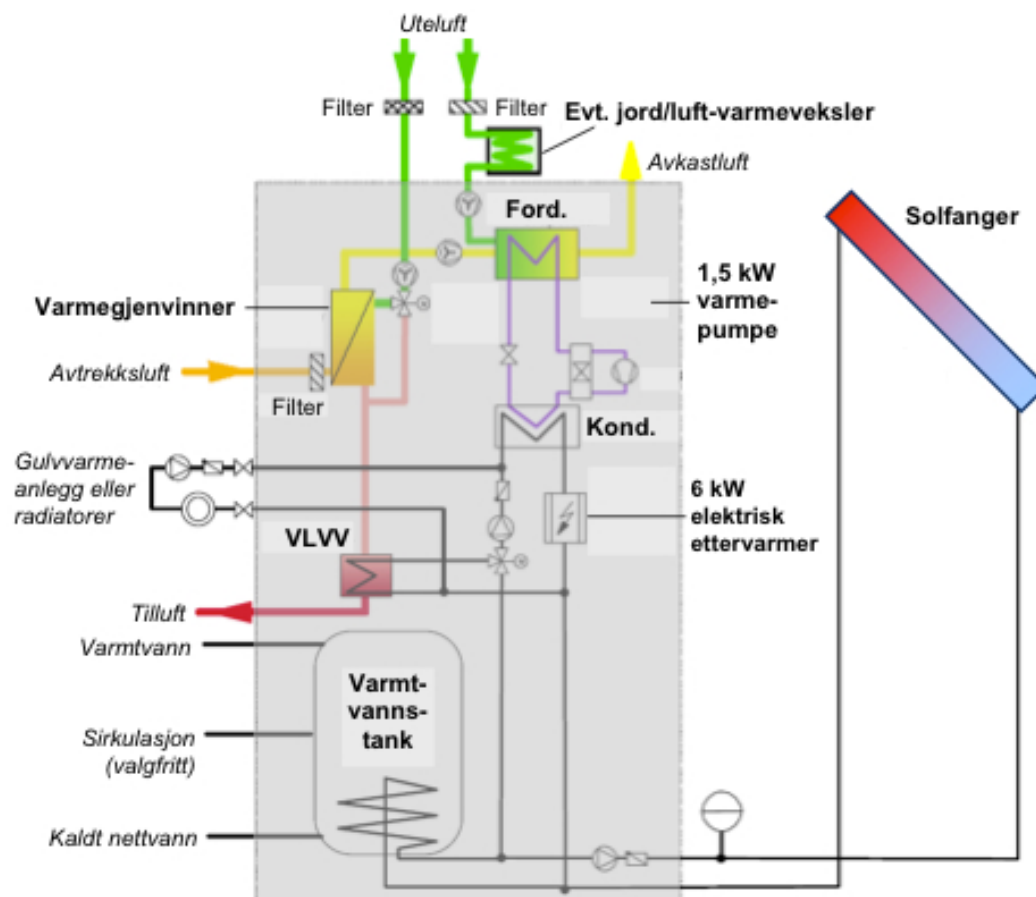
Som navnet tilsier, oppnås det en kompakt integrert enhet hvor komponentene er tilpasset så de får plass innenfor et veldefinert volum. Systemet har fått betegnelsen *compact ventilation and heating devices with integrated exhaust air heat*, forkortet CVHD.[32] Anlegget kombinerer frisklufttilførsel, romoppvarming og varmtvannsberedning integrert i en enhet. Det gir store fordeler i mindre boliger hvor det er begrenset med plass til installasjonen. Mange leverandører lager produkter som ikke fyller mer enn et vanlig kjøleskap 60*60*210 og som kan drifte en bolig opp til 130m². Likevel må det settes av en del plass til rørføringer, ventilasjonskanaler og elektronikk. Rehabilitering av boliger til passivhusstandard forenkles med slike anlegg. De er mer plasseringsvennlige og er mer støysvake fordi alt er samlet i et kabinett hvor automatikk og styring er innebygget og tilpasset komponentene. Sertifisering av aggregatene sikrer opplysningene rundt ytelse og effekt, dermed har man en trygghet i tallmaterialet for energiberegningen.[30]



Kompaktaggregat med rørføringer (oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard Sintef energiforskning)

Bildet over viser prinsippene ved plassering og integrering av et kompakt anlegg i et passivhus. Høy energieffektivitet og konkurransedyktig pris har gjort at løsningen med kompaktaggregater med varmepumpe og solfanger har 40-50% av oppvarmings- og ventilasjonssystemer i passivhus i Tyskland. [31]

Kompaktaggregatet henter frisk uteluft som forvarmes i en jordvarmeveksler før den tilføres varme fra avtrekksluften gjennom en varmegjenvinner. Disse konseptene er forklart og gjennomgått for ventilasjonsanlegg. Varmepumpen bruker avtrekksluften etter at den har passert varmegjenvinneren. Det produseres kompaktanlegg uten varmegjenvinning av avkastluften, men disse er ikke så aktuelle for passivhus. Varmepumpens varmeytelse varierer, men ligger rundt 1,0 – 2,5 KW. Varmepumpens produksjon brukes til oppvarming av ventilasjonsluften og/eller varmt tappevann. Selve romoppvarmingen kan bli gjennomført med varmtvann til for eksempel radiator eller overtemperert ventilasjonsluft. For at kompaktaggregatets årsvamrefaktor skal bli høy er det viktig at det tilføres så lite energi som mulig fra det elektriske varmelementet. Dette gjør det hensiktsmessig med varmegjenvinner og solfanger med høye effekt faktorer [22].



Kompaktaggregatets oppbygning og tilkoblingsmuligheter med varmegjenvinner og solfanger (Stiebel Eltron, 2005)

Over vises en skjematisk figur med alle komponentene plassert. Til høyre er et eksempel på plassering fra produsenten Viessmann i Tyskland. Det kompakte designet muliggjør alternative plasseringer og en trenger ikke lenger store tekniske rom. Styringspanelet er plassert direkte på enheten.

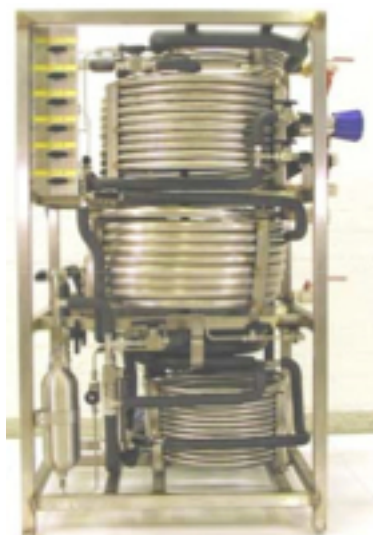


Vitocal 343-G (Viessman.com)

Kompaktaggregat er lite utprøvd i Norge ennå, men vil trolig fungere bra i temperert norsk kystklima som ligner mye på klimaet i Sentral-Europa hvor de er utbredt.

4.4.3 CO₂-varmepumper

Varmepumper som bruker CO₂ som arbeidsmedium, kan oppnå opptil 20 % høyere COP enn de beste konvensjonelle varmepumpene. Forskningsmiljøet på NTNU i Trondheim har vært forkjempere for naturlige kuldemedier som karbondioksid. Det har bidratt betydelig til at det nå internasjonalt forskes og utvikles nye produkter med det klimanøytrale arbeidsmediet. Det er klimanøytralt fordi karbondioksid som blir brukt i det lukkede systemet er overskudd fra industrielle anlegg. Karbondioksid er ikke brennbart eller giftig i mindre konsentrasjoner, og påvirker ikke ozonlaget som mange av de tradisjonelle arbeidsmediene gjør. Trykknivået med CO₂ som arbeidsmedium er 3 til 4 ganger høyere enn ved konvensjonelle arbeidsmedier. Derfor har man hatt behov for teknologiutvikling på komponentnivå. Selv om teknologien er relativt ny, er det et voksende marked. I Japan er det noen fabrikker som produserer til det japanske hjemmemarkedet og eksporterer til Europa [34].



Prototype av CO₂ varmepumpe for varmtvann og romoppvarming (stene, 2004)

4.5 Bioenergi

Biobrensler omfatter alle typer biologisk materiale, men det er tre produkter som er mest brukt til oppvarming, både naturlige og foredlede varianter. Fra naturen kan det hentes ut bark, flis, kvist, tynningsvirke, hel ved og foredlede utgaver av dette som briketter og trepellets. Biobrensler er et miljøvennlig alternativ til fossile brensler fordi fossile brensler har blitt dannet gjennom millioner av år og blir omdannet til blant annet CO₂ på kort tid. Ved å benytte seg av bioenergi frigjøres og CO₂ og andre klimagasser til atmosfæren, men ikke mer enn hva ny biomasse klarer å fange opp igjen. Og så lenge man planter ny biomasse eller lar det vokse opp på områdene som det høstes fra, vil hele tiden ny CO₂ bindes opp på svært kort tid [31].

De mest aktuelle produktene for passivhus er ved, briketter og trepellets.

- Ved er trevirke fra løvtrær og bartrær, i henhold til norsk standard skal fuktinnholdet være under 20 %.
- Briketter er tørket sagflis og annet treavfall som presses til stavformede kubber under høyt trykk. De kan benyttes i vanlige vedovner samt i større fyringsanlegg.
- Trepellets er finmalt og tørket treavfall som og blir laget under høyt trykk. Disse er små sylindrer på 6–12 mm i diameter med svært lite fuktinnhold. På grunn av den lave fuktigheten tåler de lagring svært godt, og størrelsen muliggjør frakt i tankbiler.

Biobrenselfyrte anlegg krever egeninnsats fra boligeieren i form av etterfylling og rengjøring med fjerning av aske [27]. I automatiserte pelletsanlegg kan en få store lagertanker med etterfylling av pelletsovn og selvrensende systemer som krever mindre vedlikehold og innsats fra beboer. Det finnes systemer for direkte romoppvarming, og jeg vil her ta for meg brennere med vannmantel som kan kombineres med andre varmeprodukerende enheter.

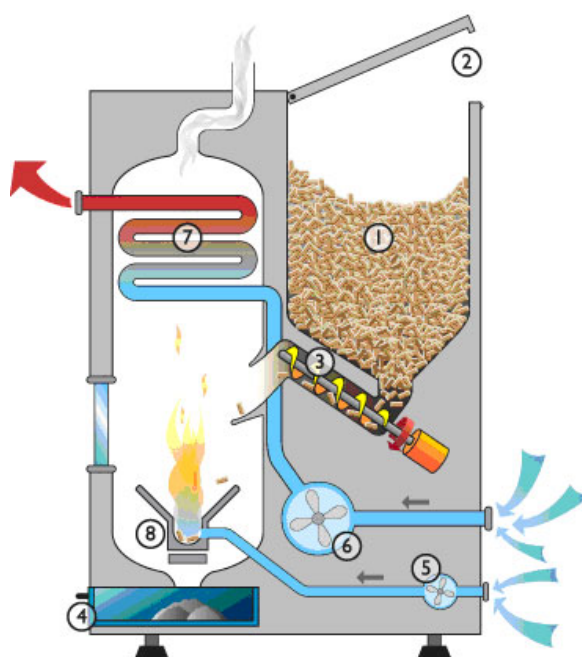
4.5.1 Vedkjeler

Peisovnen må tilkobles pipeløp og er utstyrt med en termostatstyrt varmtvannskjele og sirkulasjonspumpe. Det er hensiktsmessig å koble den på en akkumeleringsstank for lagring av varmtvannet. De er enklere å regulere enn vanlige vedovner siden de er utstyrt med en vifte som styrer tilførselen av forbrenningsluft. Brukervennligheten er noe redusert siden det ikke er mulighet å tilkoble et brenselslager, og all innmating må skje manuelt. Dette gjør pelletskaminer mer brukervennlige [22].

4.5.2 Pelletskaminer

For pelletskaminer med vannmantel finnes det bedre automatiserte løsninger. På grunn av størrelsen og den minimale fuktigheten i pelletsen eksisterer det lagringstanker som kan graves ned. Disse kobles rett på pelletskaminer med direktemating. Kaminen har et vannvolum i brenneren som kobles opp mot et felles vannbårent varmedistribusjonssystem. Rundt 80 % av varmen avgis til vannet, mens det resterende avgis ved strålingsvarme til luften. Forebrenningsvirkningsgraden på pelletskaminene ligger på rundt 85-92 %, mens støynivået varierer fra 45 til 50 db. Derfor vil det være nødvendig med et eget fyringsrom eller teknisk rom.

1. Pelletslager
2. Påfyllingsluke
3. Matingsenhet
4. Askeskuff
5. Forbrenningsluft
6. Luft eller fortrinnsvis vann til oppvarming
7. Varmeveksler
8. Brenner



Pelletskamin med automatisert påfylling
(energimyndigheten.se)

4.6 Fjernvarme

Et fjernvarmessystem er basert på et sentralt forbrenningsanlegg av for eksempel søppel. Siden tilgangen på søppel varierer, brukes andre energikilder som olje og gass etter behov. Hvor miljøvennlig fjernvarmen er, varierer derfor en hel del. Hvis det allerede eksisterer et utbygd fjernvarmenett i umiddelbar nærhet, kan det være en bra løsning å koble seg på dette. Problemet er at det er dyrt å bygge ut og er mest aktuelt i tettbygde strøk og byområder. Det er ofte et krav fra lokale myndigheter at nye boligprosjekter i storbyene knytter seg til fjernvarmeanlegget. I Oslo kommune er det kommet en ny vedtekt som åpner for å fravike kravet om tilknytting til fjernvarmenettet. Det må da dokumenteres med at en annen løsning er mer miljøvennlig [33]. Den kommer som et resultat av at det har vært konflikt mellom planlagte lavenergiprosjekter og kravet om tilknytting til fjernvarme.

4.7 Varmedistribusjon til romoppvarming

Siden andelen varme som går med til romoppvarming i passivhus, er relativt liten i forhold til varmtvann til annet bruk, vil det være hensiktsmessig med en enkel og relativt billig løsning for varmedistribusjon til oppholdsrom. Vannbårne systemer er fleksible i forhold til varmekilde som benyttes og dekker behovet for varmtvann og romoppvarming. Men valget av varmeavgivelse til rommene har stor betydning for komfort, kostnader og energibruk. Generelt kan romoppvarmingssystemer dele inn i tre grupper.

- Bygningsintegrert oppvarmingssystem som for eksempel gulv-, vegg- eller takvarme.
- Direkte varmeavgivelse som radiatorer, vedovner, pelletsovner og lignende. Varmen avgis som direkte varmestråling og konveksjon ("luftvarme")
- Luftbåren varme som for eksempel oppvarming av ventilasjonsluft [12].

4.7.1 Bygningsintegrert oppvarmingssystem

Utbredelsen av vannbåren gulvarme har vært stigende i norske boliger. Det er lettest å få til gode og rimeligere løsninger ved nybygging eller store rehabiliteringer. De største fordelene er at den gir god varmekomfort og siden overflatetemperaturen er relativt lav, vil det ikke forekomme støvforbrenning. Den største ulempen er at det er vanskelig å regulere varmen og at det blir avgitt unødvendig varme til omgivelsene som for eksempel gulv mot grunn.

Så når det gjelder passivhus sees det som en relativt dyr og unødvendig investering med integrerte oppvarmingsløsninger i gulv, tak eller vegg. Oppvarmingsbehovet er lite og variabelt, men unntakene kan være baderomsgulvet hvor det ofte er ønskelig med en konstant komfortvarme [12].

4.7.2 Direkte varmeavgivelse

Direkte varmeavgivelse fra radiatorer og peisovner er tradisjonelt den dominerende måten å varme opp boligen på. Det er en enkel og rask oppvarmingsmåte som gir bra kontroll på temperaturen. Moderne reguleringsteknikk og termostater gir muligheter for rask og nøyaktig temperaturregulering, noe som er viktig i passivhus. Vannbårne radiatorer kan dimensjoneres slik at det er mulig å bruke lavtemperatur energikilder som varmepumper og solfangere. En lav overflatetemperatur på radiatorene er og gunstig for innemiljøet og luften i boligen. I passivhus vil det ofte være tilstrekkelig med en sentralt plassert radiator som dekker store deler av oppvarmingsbehovet [12].

4.7.3 Luftbåren varme

Det er liten tradisjon med tilførsel av overtemperert luft i Norge hvis vi ser bort ifra luft til luft varmepumper som begynner å bli relativt vanlige. I passivhus i Tyskland og Østerrike er tilførsel av overtemperert luft utbredt og har redusert kostnadene til oppvarmingssystemene betraktelig. Luftbåren varme går ut på å ettervarme lufta så mye at den blir overtemperert i forhold til innetemperaturen. På den måten vil romoppvarmingsbehovet dekkes, og installasjon av andre oppvarmingsløsninger være unødvendig. Det fungerer ved at ventilasjonsluften varmes opp av en væskebasert

eller elektrisk varmeveksler. For at luftbåren varme skal kunne fungere, må effektbehovet til boligen være lavt, det er derfor kun aktuelt for passivhus plassert i områder med forholdsvis milde temperaturer vinterstid.

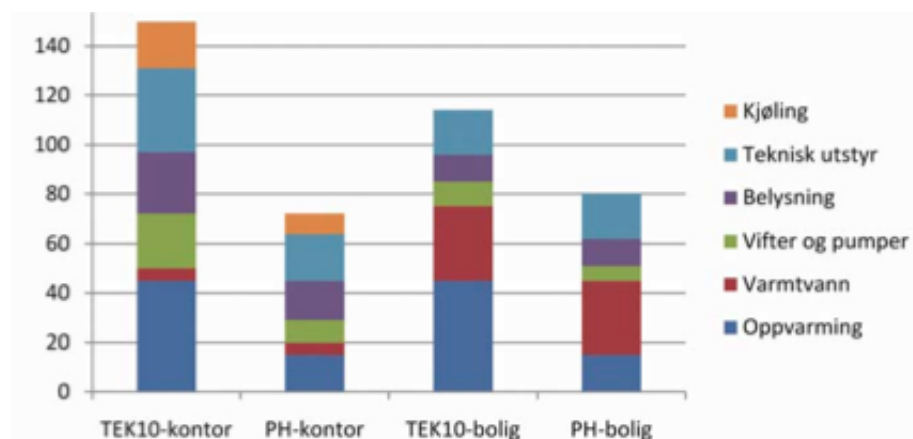
Et problem er at alle rom får tilført ventilasjonsluft med lik temperatur. Soverommene blir for varme for folk flest, og det må utarbeides løsninger på et slik problem.

Varmedistribusjons-system	Temperatur på fordelingsmedium	Andel strålingsvarme	Kommentarer
Gulvvarme	30 – 38 °C	80 – 90 %	Mest aktuelt i våtrom
Takvarme	25 – 33 °C	80 – 90 %	
Radiator	Ca 50 °C	60 %	
Varmelist	Ca 40 °C	90 %	
Oppvarmet ventilasjonsluft	Luften varmes til ca 50 °C	0 %	

Egenskaper for de forskjellige oppvarmingssystemene (egenprodusert)

4.7.4 Interne varmetilskudd

I passivhus vil et betydelig bidrag til energibruken være fra belysning og bruk av elektriske apparater. Selv om mye av varmetilskuddet vil redusere oppvarmingsbehovet er det hensiktsmessig å velge apparater og lyskilder med et lavt strømforbruk. Det vil ikke være mulig å nyttiggjøre seg av all overskuddsvarmen til romoppvarming og man vil også kunne oppleve komfortproblemer i sommermånedene. I søylediagrammet under ser en at andelen elektrisitet som brukes til belysning og teknisk utstyr er forholdsvis stor



Energibruk for vanlig TEK-10 og passivbygg (KRD energieffektivisering av bygg)

5. Buildingsmart

Buildingsmart forkortet BIM er en åpen modell for samhandling på tvers av forskjellige fagmiljøer. I tradisjonell samhandling i byggebransjen kommuniserer alle med hverandre. Risikoen for feil blir stor, og det er en stor mulighet for at ikke alle får all den informasjonen de trenger. Det er gjort undersøkelser som tyder på 30 % av prosjektkostnadene går med på å rette opp i feil som skyldes manglende tverrfaglig koordinering.



Informasjonsflyt BIM (advenser.com)

Løsningen kan være samhandling i en åpen bygnings informasjonsmodell (BIM), hvor alle fagfelt setter sine modeller sammen til en koordinert BIM. Med åpne filformater som IFC blir det fri flyt av informasjon til og fra alle fagretninger. Buildingsmart består av tre typer standarder for å planlegge, bygge og drifte en bygning [20].

- IFC (industry foundation classes). Dette er primært en standard for lagring og utveksling av bygningers informasjonsmodeller. Den beskriver objekttyper som vegg, søyle, vindu med mer.
- IFD (international framework for dictionaries). Denne kan sees som en dynamisk utvidelse av IFC standarden og muliggjør koblinger mot andre standarder, produktkataloger og kunnskapssystemer. Den standardiserer type og egenskap til konkrete bygningskomponenter.
- IDM (information delivery manual). Denne standardiserer prosessene fra byggets unnfangelse, planlegging, produksjon, drift og til rivning/ombygging. Den beskriver aktører, rekkefølge og krav til innhold.

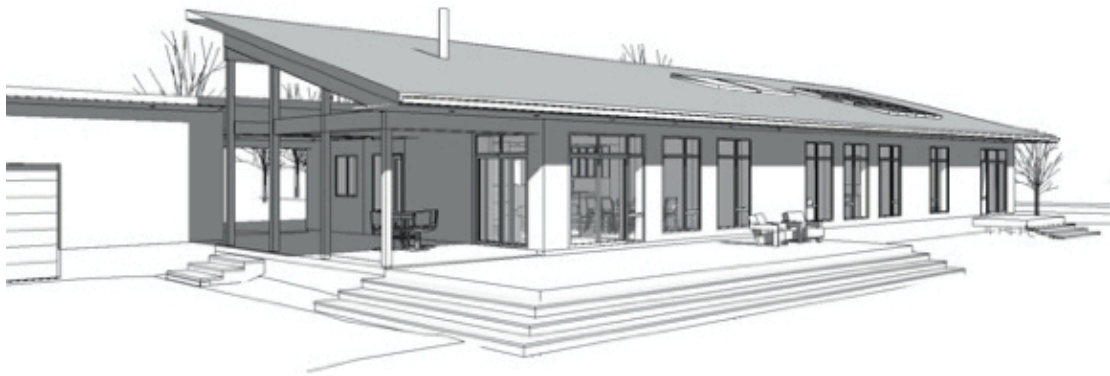
En BIM er en digital prototype av prosjektet hvor feil kan finnes og rettes. Siden den bygges virtuelt, kan det gjøres tester, og kostnader kan beregnes før spaden settes i jorda.

5.1 BIM og passivhus

Det vil være vesentlig å utvikle prosjekteringsverktøy med åpen BIM-teknologi som implementerer energirelaterte hjelpeverktøy. Ved hjelp av slike applikasjoner kan tidkrevende arbeidsoppgaver automatiseres. Hvis en får plottet alle opplysninger og objektdata i modellen, kan dette brukes i avanserte programmer for simulering av energibruk og termisk komfort. Passivhus krever gjennomprosjekterte løsninger, og BIM vil være et flott hjelpemiddel for å minimere feil og gjøre tester før byggingen starter [21].

”IFC sikrer en entydig grafisk representasjon av data og skiller mellom de vanligste objekttyper og egenskaper. For funksjoner, typebetegnelser og spesielle egenskaper er det imidlertid mer vanlig at brukeren selv beskriver dette ved egendefinerte navn. For å få til en sømløs kobling mellom informasjonsmodeller på IFC format og spesialisert programvare som tilfellet er for energi, u-verdi og inneklimaberegninger må også den tekstuelle informasjonen gjøres forståelig for automatisk prosessering. IFD biblioteket muliggjør dette ved å tilby klassifisering av objekter, typer og egenskaper i IFC modellen.” [13]

Tegneverktøyene som brukes hos boligprodusentene er i all hovedsak basert på åpne standarder IFC. Det finnes allerede i dag mye informasjon i modellene om for eksempel vegg- og glassareal, romvolumer og enkle solstudier. Det er bare en videreutvikling av dagens teknologi som må til.



3D visualiseringsmodell og bilde av ferdig prosjekt (www.AUGlaecedge.com)

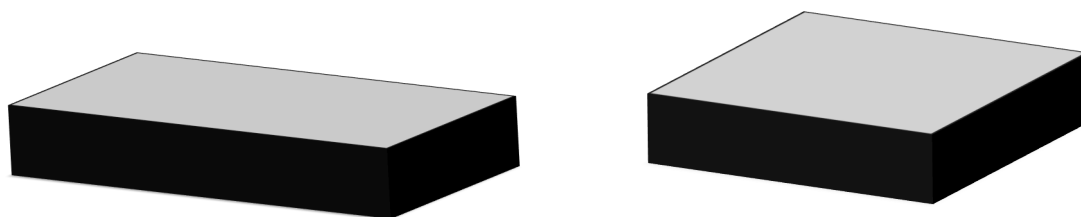
En ser her hvor godt det ferdige bygget stemmer overens med den virtuelle modellen. Huset er lokalisert sør i Ontario Canada og er designet etter passivhus- standarden.

6. Case

6.1 Bygningsform og organisering

Her skal jeg belyse noen enkle geometriske prinsipper for å vise hvor mye valg av form og bygningstype har å si på energibruken. Et gitt boligareal kan oppnås på mange forskjellige måter. Langstrakte boligtyper får et større utvendig areal enn kvadratiske som får mindre areal mot ytre klimapåkjenninger. Det ytre arealet kan og minimeres med å bygge i rekke eller i høyden med flere etasjer. Derfor er det ikke bare plassbesparelse man oppnår med å bygge i rekke eller høyden. Tap av varme til omgivelsene reduseres betraktelig.

Hvis man tenker seg en rektangulær basisform på 12×6 m og en kvadratisk form $8,5 \times 8,5$ med vanlig takhøyde på 2,7m. Jeg vil her velge å se bort fra varmetapet mot grunnen og ha flate tak for å forenkle utregningene.



Illustrasjon av rektangulær og kvadratisk basisform (egenprodusert)

Ved hjelp av basisformene som jeg har tegnet over og de verdiene som ble valgt for å få tilnærmet lik grunnflate for en langstrakt og en kompakt form, vil jeg regne på den utvendige arealbesparelsen man kan oppnå ved valg av form og å sette de sammen på forskjellige måter.

Geometri	Lengde	Bredde	Høyde	Grunnflate	
Rektangel	12	6	2,70	72	
Kvadratisk	8,50	8,50	2,70	72	
Geometri	Areal langvegger	Areal kortvegger	Tak	Totalt areal	Forholdstall
Rektangel	64,8	32,4	72	169,2	1,00
Kvadratisk	45,9	45,9	72	164,05	0,97
Organisering					
To frittliggende rektangel	129,6	64,8	144	338,4	1,00
Rekkehus (koblet kortvegg)	129,6	32,4	144	306	0,90
Rekkehus (koblet langvegg)	64,8	64,8	144	273,6	0,81
Rektangler satt oppå hverandre(2etg)	129,6	64,8	72	266,4	0,79
To frittliggende kvadrat	91,8	91,8	144,5	328,1	1,00
Sammenkoblede kvadrat	91,8	45,9	144,5	282,2	0,86
Kvadrater satt oppå hverandre(2etg)	91,8	91,8	72	256	0,78

Egne utregninger fra excel

Basert på utregningene kan en se at en har en innsparing på utvendig areal på rundt 3 % bare ved å velge en kvadratisk form til fordel for en rektangulær. Men de store forskjellene kommer til syne når en begynner å sette de kubiske formene sammen. Den største effekten får en av å bygge i to etasjer, hvor en da fjerner takarealet for den nederste kubene. Får en reduksjon av utvendig areal på 21 -22 % og da er ikke effekten av arealreduksjon mot dekke eller kjeller tatt med. Da ville man sett en ytterligere positiv effekt av å bygge i to etasjer eller flere. Det er verdt å merke seg at det gir cirka 5 % mer positiv effekt av å bygge rekkehus med en rektangulær form, forklaringen på det er jo at sammenføyningen er i langveggen og at dette arealet bør være størst mulig. For en kvadratisk form er alle veggene like lange så det ikke gjør noen forskjell på hvor man sammenføyer klossene i x-retning.

Utslagene vil bare bli større og større etter hvor mange enheter man kobler sammen. En ser klare eksempler på det i praksis når man ser på energibruken i leiligheter. Forenklet kan man se på et leilighetskompleks som en samling av mange geometriske volumer som energiøkonomisk drar nytte av tilstøtende leiligheter ved varmetilførsel og et samlet mindre areal til omgivelsene. Selv om eneboliger er veldig populært i Norge er det ikke noe tvil om at den frittliggende eneboligen ikke er en energivennlig og fremtidsrettet bygningsform.

6.2 Isolasjonstykkelsens innvirkning på U-verdien

I de innskjerpelsene som har vært gjort i teknisk forskrift har de foreløpig valgt å stadig gå opp i isolasjonstykkelse for å minske varmetapet. Jeg vil her regne på forskjellige isolasjonstykkelser å se på hvordan det påvirker U-verdien. Vanlige trevegger har en stenderavstand på 60 cm og en treandel på normalt 12 eller 9 %. De er sammensatt av flere forskjellige sjikt og materialer. I slike konstruksjoner vil ikke varmen bare strømme rett gjennom, men også sideveis i for eksempel kledningsplatene og videre ut gjennom stenderne. Dette gjør det vanskeligere å gjøre nøyaktige beregninger av varmemotstanden. For småhuskonstruksjoner eksisterer det en forenklet beregningsmetode som er beskrevet i NS-EN ISO 6946. Jeg vil her gjøre det enda enklere og bare se på isolasjonssjiktet og beregne varmemotstand og U-verdi for denne homogene delen.

Varmemotstand for homogene materialer:

$$R = \frac{d}{\lambda}$$

d = materialets tykkelse (m)

λ = materialets dimensjonerende varmeledningsevne (W/mK)

Valgte å bruke mineralull med varmkonduktivitet 0,037 W/mK og regne på isolasjonstykkelser fra 200 – 800 mm.

U-verdi:

$$U = \frac{1}{R_{si} + R + R_{se}} + \Delta U \quad (W/(m^2))$$

R_{si} = innvendig overgangsmotstand

R = varmemotstand for konstruksjonen

R_{se} = utvendig overgangsmotstand

ΔU = eventuelle tillegg

Isolasjonstykkelse	200	300	400	500	600	700	800
Varmemotstand R	5,41	8,11	10,81	13,51	16,22	18,92	21,62
U-verdi	0,187	0,129	0,099	0,081	0,069	0,060	0,054

Selv om utregningene er veldig forenklet viser de konkrete tall for U-verdien for et homogent isolasjonssjikt av mineralull i diverse størrelser. Som en ser ut fra beregningene er bidragene størst for den første tykkelsesøkningen fra 200 til 300 mm på cirka 0,06 W/m². For å oppfylle TEK-10 vil det med dagens produkter være nødvendig med 250 mm isolasjon.

Det er utfra tallene hensiktsmessig å øke mengden isolasjon, men det er kanskje enda viktigere å utvikle bedre byggetekniske løsninger og produkter for å minske varmetapet. De fleste passivhusprosjekter i Norge har benyttet 400 mm med isolerende materialer. Beregningene av U-verdiene for den homogene mineralullen viser størst forholdsmessig forbedring opp til 400 mm. Det er tilnærmet en halvering av U-verdien fra 200 – 400 mm isolasjon. For å oppnå tilsvarende resultatforbedring må en opp i 800 mm, men en har da også måttet doble økningen av i mineralull.

Det vil være lite hensiktsmessig å øke isolasjonsmengden utover 400 mm. Fokuset bør rettes mot nye og bedre isolasjonsprodukter og reduksjon av kuldebroer. Farene for fukt og mugg øker og veldig stor del av huset går med til veggvolum ved store isolasjonsmengder.

7. Diskusjon

Det finnes i følge flere aktører god nok kunnskap og teknologi for å bygge passivhus i Norge [36, 37]. Hittil er det bygget rundt 21 000 passivhus i Europa, de fleste av disse i Tyskland og Østerrike, men stadig flere også i andre land. I Sverige er det bygget cirka 1500 passivhus, og det er antatt at antallet vil nå 70 000 i Europa innen utgangen av 2012. Derfor eksisterer det mye kunnskap om og erfaring fra bygging av passivhus, og dette har vært anvendt i bygging og prosjektering av passivhus i Norge. Det ligger likevel en stor utfordring for myndigheter og byggenæring i målet om at passivhusnivå skal bli standard for alle byggenæringens aktører og for alle bygningskategorier innen 2020. Utfordringen ligger både i å tilpasse kunnskap og erfaring til norske forhold, og i det å skulle få med seg hele den segmenterte byggenæringen [36].

7.1 Kompetanse, kunnskap og teknologi

Det er flere prosjekter under planlegging og utarbeidelse enn det som har blitt gjennomført til nå. Det betyr at mye av den kompetansen som finnes ligger hos arkitekter og rådgivende ingeniører. Interessen for og ønsket om mer kunnskap vil med all sannsynlighet fortsette å øke, både fordi flere får erfaring med passivbyggprosjekter og fordi det ser ut til at lovgivningen går mot en passivhusstandard.

Fordi byggenæringen består av alt fra store entreprenører til små aktører med få ansatte, er det vanskelig å samkjøre virkemidlene som benyttes for å påvirke bedriftene til et kunnskapsløft. Næringen er segmentert og aktørene jobber utfra ulike forutsetninger og rammebetingelser [21]. Den store massen av små bedrifter i byggenæringen har ikke nok kompetanse og begrenset interesse av å ta kostnadene ved å dekke kompetansegapet som eksisterer i dag. Det betyr at store deler av næringen velger å forholde seg til minimumskravene fordi de ser dette som måten å overleve som bedrift på. Dette medfører at det er mange som vil gjøre det de må for å holde seg innenfor kravene som gjelder til enhver tid, men ikke prøve å tilegne seg noe særlig kompetanse utover dette [37].

Kravene til passivhusstandard og lavt energibehov begrenser muligheten for arkitektonisk utfoldelse i byggeprosjekter. I passivhus skal bygningskroppen ha minimalt varmetap, og dette avhenger hovedsakelig av faktorene som areal, U-verdi, isolasjon, kuldebroer og lufttetthet. Men bygningers tetthet og energieffektivitet er også avhengig av arkitekturen, en egen passivhusstandard stiller krav til arkitektene om at de må ha større forståelse for energimessige konsekvenser av bygningsformen. Det er mye å ta hensyn til når en skal velge bygningsform, som bruksfunksjoner, estetikk og dagslys. Det er likevel kanskje viktigere å sette fokus på energieffektiv bygningsform tidlig i prosjektfasen. Hvor en ser på hensiktsmessig bruk og utforming av vinduer og prøver å begrense byggets ytterflater for holde varmetapet på et minimum.

Det er fremdeles behov for mer kunnskap rundt det å bo i passivhus. Særlig gjelder dette kunnskap om byggene sett fra brukernes side. Norge kan ikke basere seg på rapporter fra andre land og erfaringer med inneklime i passivhus andre steder, fordi de ikke er direkte sammenlignbare med norske forhold blant annet på grunn av forskjeller i klima, byggeteknikk, forskriftskrav og ikke minst krav hos brukere. Flere passivhus som har blitt bygget, i for eksempel Tyskland tilfredsstiller ikke kravene til inneklime i norsk arbeidsmiljølov eller krav hos norske brukere. Kanskje bør enkelte norske krav til innemiljø revurderes dersom de kommer i konflikt med bærekraftig energibruk [37].

Passivbygg-løsningene som finnes og brukes i dag kan forbedres og utvikles for å oppnå bedre markedsattraktivitet, effektivitet, komfort og økonomi. Dagens teknologi kan sies å tilfredsstille de viktigste behovene for å kunne bygge passivbygg, men det kan være hensiktsmessig å utvikle nye og forbedrede konsepter, det betyr helhetlige grep for bygning og installasjoner, og det er også behov for ny kompetanse for å sikre godt inneklime i passivbygg. Teknologien ligger der, og utfordringen består i å kunne bruke den på en helhetlig og hensiktsmessig måte.

7.2 Manualer/veiledere og standardløsninger

Det vil komme et økende behov for designverktøy, manualer, veiledere og faglitteratur for passivbygg. Passivhusinstituttet i Tyskland utviklet PHPP 2007, Passive House Planning Package 2007, og tilsvarende manualer og hjelpemidler for spredning av kompetanse og kunnskap bør utarbeides i Norge.

Byggforskserien sikter i dag mot forskriftsmessige løsninger, og vil ikke gjelde passivbygg før det har blitt forskriftskrav. Byggforskserien har en unik posisjon som hjelpemiddel for aktører i byggebransjen, og det bør utarbeides en egen passivhusserie i forkant av forskriftskrav for å gjøre kompetansen tilgjengelig og stimulere til forbildeprosjekter og klargjøre for en grei innføring av passivbygg som forskriftsnivå

Det skal i utgangspunktet ikke kreves noe mer av beboere i passivhus, fordi det fungerer som andre vanlige bygninger. Men det er noen hensyn som må tas for å få en optimal komfort i boligen. Burde det utvikles FDV – dokumentasjon (forvaltning, drift og vedlikehold) som inneholder de viktigste retningslinjene for forbrukerne. Med en slik dokumentasjon som følger huset vil en få en bevisstgjøring hos beboerne.

7.3 Kostnader ved passivbygg

Merkostnadene ved å bygge passivhus vil variere fra prosjekt til prosjekt og er vanskelig å anslå. De vil avhenge av produksjonsmetode, erfaring, bygningstype og hvor mange feil som blir gjort. Kostnadene vil synke etter hvert som salg av passivhuskomponenter og tjenester når et visst volum i markedet.

Det er behov for avanserte tekniske installasjoner av høy kvalitet i passivbygg. Disse koster i dag mer, men vil synke i pris når etterspørselen etter disse produktene øker. På den annen side er det mulig å spare utgifter inn gjennom at oppvarmings- og kjøleanlegg kan reduseres eller fjernes. Derfor er det ventet at utgifter knyttet til de tekniske installasjonene innen 2020 vil være lavere for passivhus enn for andre bygninger totalt sett.

7.4 Rehabiliteringer

Med en rivnings- og byggerate som eksisterer per i dag vil 37 % av bygningsmassen være bygget mellom 2010-2040 i år 2040 [1]. Det vil derfor ta ganske lang tid før en merker de store effektene av nye forskriftskrav. Det er behov for holdningskampanjer og kunnskap til private boligeiere som forvalter en stor del av den eksisterende boligmassen. Denne gruppen burde få et bedre tilbud som omfatter rådgivning og konkret veiledning om hvordan energisparende rehabilitering av boliger bør utføres.

Å gjøre om alle eksisterende bygninger til passivhus er vanskelig eller umulig når en tar i betraktning de bygningstekniske, økonomiske og kulturhistoriske aspektene. Det bør opprettes egne kriterier som styres etter sjekklister med anbefalte tiltak.

7.5 Miljøparadokser

Arkitektene Nordby og Miller stiller i et innlegg i tidsskriftet arkitektur spørsmål ved hvorvidt det i byggebransjen er et ensidig fokus på bygging av passivhus som løsning på klimautfordringene, og videre om dette gjør at man utelukker andre mer virksomme tiltak. De hevder at de oppfatter at en samlet byggebransje, sammen med myndigheter, forskere og naturvernere, mener at løsningen på dagens klimautfordring er å bygge flest mulig passivhus forttest mulig. Beregningsmetodene som benyttes er standardiserte for hele Norge, uavhengig av lokalklima, og favoriserer løsninger som knyttes til passivhusteknologi. De ønsker å nyansere bildet, og vise at det ensidige fokuset på energieffektivitet som suksesskriterium for bygninger bidrar til en byggeskikk som medfører miljømessige selvmotsigelser og tilbakeslag [39].

Det er store forskjeller på energikilders klimabelastning, og dermed ulikt hvorvidt energisparing faktisk bidrar til å redusere klimagassutslipp. Nye byggetekniske forskrifter skjerper kravene til energieffektivitet målt i kWh/kvm. De stiller spørsmål til om kWh/kvm er en god miljøindikator. Som jeg har vist statistikk på tidligere i oppgaveteksten øker gjennomsnittlig boligareal per person i Norge. Det betyr at mye av den effekten som oppnås gjennom redusert energibruk spises opp av økt forbruksvekst. Det må derfor i tillegg til å kutte i kWh, rettes fokus på å begrense antall kvadratmeter per person. Arealeffektivisering er kanskje det viktigste

miljømessige grepet fordi det reduserer alle typer belastninger både under bygging og i drift, men Müller og Nordby hevder at dette blir oversett og stiller spørsmål ved om det kommer av at ingen i byggebransjen er så interessert i dette [39].

Statsbygg har påpekt at det er viktig å inkludere de materialmessige belastningene sammen med den driftsrelaterte energibruken. Byggematerialenes klimabelastninger knyttet til utvinning, produksjon og transport er betydelige. Bruk av lokale materialer for å redusere transport, materialer med lave produksjonsmessige miljøbelastninger, vedlikeholdsvennlige og gjenbrukbare materialer som gir lang levetid er tiltak som kan gi store utslag for reduksjon av klimagassutslipp.

Hva med å fokusere på CO₂ ekvivalenter, i stedet for kWh/kvm, da dette kan knyttes både til energiforbruk og energikilde når klimabelastning skal vektas. Det kan også knyttes til materialforbruk. Nordby og Miller foreslår benevnningen CO₂ ekvivalent/person/år [39].

7.6 Aktivhus

Aktivhus er et direkte tilsvarende på passivhuskonseptet og målet er å etablere en bredere og mer helhetlig plattform for hvordan framtidens bærekraftige byggemetoder skal være. Det er et konsept basert på et mangfold av løsninger og metoder som skal føre frem til klimanøytrale bygg.

Hensikten med aktivhus er å få en mer nyansert debatt rundt hva som er fremtidens bygningsmetoder og hindre at kun passivhusstandarden gjøres til gjeldene forskriftskrav. Initiativtakerne vil at det skal ligge en livssyklusanalyse til grunn for valgene som blir tatt. Det legges vekt på bruk av fornybare, lokale og klimanøytrale materialer og at bygningen skal tilpasses stedets lokale klima. De største forskjellene for konseptene er at aktivhus vil ha difusjonsåpne konstruksjoner og bruke naturlig ventilasjon. Godt inn klima skal være minst like viktig som energieffektivitet [40].

8. Konklusjon

Etter å ha jobbet med denne oppgaven ser jeg det som fullt mulig å innføre passivhus som forskriftskrav. Men det vil kreve en del arbeid og innsatts for å få hevet kompetansen i de involverte næringene. Det største problemet vil være å få både de store og små aktørene i en segmentert næring til å tilegne seg et tilstrekkelig kompetansenivå. Forutsetningene for å kunne bygge passivhus er at det utvikles robuste standardløsninger og at disse formidles på en god måte, for eksempel gjennom byggforskeren. En stadig utvikling av prosjekteringsverktøy basert på åpen BIM-teknologi vil redusere feil og sikre en mer helhetlig energiprosjektering.

Det er vanskelig å si om passivhuskonseptet er riktig løsning på energiutfordringene vi står ovenfor, men passivhus har uten tvil hatt en viktig funksjon for å løfte ambisjonsnivået for energieffektivitet til et nytt nivå. En av de største fordelene er at passivhusløsningene er definert ved en standard som er relativt lett å forstå og formidle. Det er og klare fordeler ved at det er lengre erfaring med bygningsmetoden fra andre land, selv om ikke alt kan sammenlignes direkte med norske forhold.

Usikkerhet knyttet til hvilke løsninger som er mest bærekraftige og miljøvennlige kan gjøre det vanskelig for beslutningstakerne å prioritere og å velge. Det er uansett hvilken metode som blir valgt for energieffektivisering av bygninger et klart behov for en holdnings og adferdsendring hos folk flest. På grunn av de relativt lave strømprisene i Norge er det forholdsvis liten bevissthet rundt energibruk som ikke omfatter rom- og varmtvannsoppvarming. Holdningskampanjer for å spare strøm i hverdagen kan gi store bidrag samlet sett, som for eksempel å skru av elektriske apparater og lys i rom som ikke er i bruk.

Den reneste og billigste energien er den som ikke blir brukt.

Referanser

- [1] Kommunal- og regionaldepartementet 2010 - *KRDs arbeidsgruppe for energieffektivisering av bygg*
- [2] Glad W, 2006 - *En innovations omformning i byggprosesser för energisnåla bostadshus*
- [3] Wikipedia - <http://no.wikipedia.org/wiki/Klimakonvensjonen>
- [4] Europalov – www.europalov.no/rettsakt/bygningsenergidirektivet
- [5] Byggenæringens miljøsekretariat - <http://www.byggemiljo.no/article.php?articleID=966&categoryID=6>
- [6] NS 3700, 2010 - Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger, Standard Norge
- [7] Lavenergiprogrammet – lavenergiprogrammet.no
- [8] Energimerking – energimerking.no
- [9] Tiltaksrapport, 54 2010 - *Forslag til Byggenæringens Miljøfond og Tiltaksmodellen*, Sintef Byggforsk
- [10] Statistisk sentralbyrå - SSB.no/husenergi
- [11] Selberg K. 2008 - *Passivhus, layout og iboende egenskaper for energiøkonomisering*, Selberg Arkitektkontor AS
- [12] Dokka T. og Hermstad K. 2006 – *En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger*. Sintef Byggforsk
- [13] Stene J. 2008 – *Boliger med lavt energiforbruk- tekniske utfordringer*, Sintef Byggforsk
- [14] Holøs S. – *Hold tett! Hvorfor, hvordan og hvor tett?* Sintef.no/byggforsk
- [15] Lavenergiprogrammet – Utførelse av småhus, hefte 3, kurskompendium utviklet av Sintef Byggforsk

- [16] Larsen T. og Brunsgaard C. 2010 - *Komforthusene – utvikling af passivhuskonseptet i en dansk kontekst*. Aalborg Universitet, Danmark
- [17] Dokka T. og Lien A. 2011 – *Myter om passivhus*, Byggeindustrien nr 2
- [18] Mathisen H., Berner M., m. fler, 2008 - *Behovsstyrt ventilasjon av passivhus – Forskriftskrav og brukerbehov*, Passivhus Norden session 12
- [19] Rockwool – www.rockwool.no/inspirasjon/passivhus
- [20] Building smart – buildingsmart.no
- [21] Boligprodusentenes forening, 2010 – *Boligprodusentenes handlingsplan for passivhusnivå i 2020*
- [22] Stene J. 2006 - *Oppvarmingsystemer for lavenergiboliger*, Sintef Energiforskning AS
- [23] World resource institute – www.wri.com
- [24] Norsk solenergiforening - <http://www.solenergi.no/om-solenergi/>
- [25] Informasjonsside for fremtidens energisystemer– fornybar.no
- [26] Norsk solfanger produsent - catchsolar.no
- [27] Våge M, Marrable H, m. fler, 2009 – Kurs i planlegging og bygging av passivhus, Husbanken
- [28] Norsk varmepumpeforening - varmepumpeinfo.no
- [29] Heat pump centre – www.heatpumpcentre.org
- [30] Jørn Stene, 2007 - *IEA HPP Annex 32 - Economical Heating and Cooling Systems for Low-Energy Houses State-of-the-Art Report NORWAY*. Sintef Energiforskning AS
- [31] J. Stene, 2008 - *Integrated CO₂ heat pump systems for space heating and hot water heating in low-energy houses and passive houses*. Sintef Energiforskning
- [32] Wilhelsen G. m. flere, 2001 – Bioenergi og miljø, Norsk Bioenergiforening

[32] Bühring, A., 2005: *Development and Measurement of Compact Heating and Ventilation Devices with Integrated Exhaust Air Heat Pump for High-Performance Houses*. Proceedings fra 8. IEA Heat Pump Conference, Las Vegas, USA, May 30 – June 2, 2005.

[33] Oslo kommune plan og bygningsetaten - <http://www.plan-og-bygningsetaten.oslo.kommune.no/losartikler/article192340-45429.html>

[34] J. Stene og T. Hjerkin, 2010 – *Høyeffektive CO₂-varmepumper for varmtvannsberedning*. Vvsforum

[35] Stoknes S., 2009 – *Massivpassiv*, Medplan AS arkitekter

[36] Enova , 2011 - *Kunnskapsbehov for å innføre passivhus som standard*

[37] Lassen N., Fylling A., med flere, 2009 – *Passivbygg som forskriftskrav i 2020*, Multiconsult og Sintef byggforsk

[38] Kommunal- og regionaldepartementet, 2009 - *Miljøhandlingsplan for bolig- og byggsektoren 2009–2012*,

[39] Nordby A., Miller F. – 2010 – *Miljøparadokser i byggebransjen*, Arkitektur 03/2010

[40] Aktivhus – aktiv-hus.no/miljo_helhet.html

Foredrag – Nasjonalmuseet for arkitektur – Helmut Krapmeier fra Energi instituttet i Vorarlberg Østerrike