

Analyse av konsekvenser ved tiltak for bygging av hus med særlig lavt energiforbruk

Una Myklebust Halvorsen

Master i ingeniørvitenskap og IKT
Oppgaven levert: Juni 2010
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT

Oppgavetekst

Bakgrunn

Ved lover og forskrifter fra offentlige myndigheter signaliseres det et ønske om å bygge mer energieffektive bygninger enn det som hittil har vært vanlig praksis, og flere land er i gang med å utarbeide spesielle standarder for bygninger som forutsetningsvis skal gi særlig lavt energiforbruk. I Norge er det under utarbeiding en egen standard for lavenergiboliger og såkalte passivhus.

Slike standarder forutsettes å bidra til en aktiv prosess både ved prosjektering og bygging for å nå de mål som tilstrebes. I en planleggings- og byggeprosess er det mange faktorer som kan bidra til at målsettingen ikke oppnås i praksis.

Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å analysere og evaluere mulige konsekvenser av de antakelser og forutsetninger som er gjort i den norske standarden. Herunder vurdere sammenhengen mellom krav til energibruk og bygd gulvareal, innvirkningen av behovet for varmt tappevann i bygningene, og et mulig krav om inntil 80% prosent virkningsgrad for varmegjenvinning fra ventilasjonsluft samt konsekvensene av klimatilpassede beregninger.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Klarlegg ved en litteraturstudie hva som er gjort med tanke på lover, forskrifter og standarder på området lavenergibygninger og såkalte passivhus i land som Norge naturlig kan sammenlignes med.
2. Klarlegg situasjonen mht tilgjengelige klimadata for å foreta troverdige, klimatilpassede beregninger for ulike steder i Norge og dokumenter slike data.
3. Klarlegg ved beregninger hvordan bygningenes gulvareal påvirker beregningsverdiene for energibruk ved valg av typiske, aktuelle sett av forutsetninger.
4. Klarlegg ved klimatilpassede beregninger hvordan beregningsverdiene for energibruk varierer ved valg av typiske, aktuelle sett av forutsetninger, og klarlegg følsomheten for de beregnede verdier ved avvik fra de beregningsverdiene som er forutsatt.
5. Klarlegg hva det normale, totale energibehovet for varmt tappevann vil være i lavenergiboliger og såkalte passivhus i forhold til energibehovet for oppvarming av ventilasjonsluft og transmisjonstap.

Oppgaven gitt: 21. januar 2010
Hovedveileder: Rolf Ulseth, EPT



Masteroppgave

Analyse av konsekvenser ved tiltak for bygging av hus med særlig lavt energiforbruk

Student
Una Myklebust Halvorsen

Veileder
Rolf Ulseth

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Una M. Halvorsen

Høsten/våren 2009/2010

Analyse av konsekvenser ved tiltak for bygging av hus med særlig lavt energiforbruk

Analysis on consequences by attempt to build houses with special low energy use

Bakgrunn

Ved lover og forskrifter fra offentlige myndigheter signaliseres det et ønske om å bygge mer energieffektive bygninger enn det som hittil har vært vanlig praksis, og flere land er i gang med å utarbeide spesielle standarder for bygninger som forutsetningsvis skal gi særlig lavt energiforbruk. I Norge er det under utarbeiding en egen standard for lavenergiboliger og såkalte passivhus. Slike standarder forutsettes å bidra til en aktiv prosess både ved prosjektering og bygging for å nå de mål som tilstrebes. I en planleggings- og byggeprosess er det mange faktorer som kan bidra til at målsettingen ikke oppnås i praksis.

Mål

Hovedmålet med denne oppgaven er å analysere og evaluere mulige konsekvenser av de antakelser og forutsetninger som er gjort i den norske standarden. Herunder vurdere sammenhengen mellom krav til energibruk og bygd gulvareal, innvirkningen av behovet for varmt tappevann i bygningene, og et mulig krav om inntil 80% prosent virkningsgrad for varmegjenvinning fra ventilasjonsluft samt konsekvensene av klimatilpassede beregninger.

Oppgaven bearbeides ut fra følgende punkter

1. Klarlegg ved en litteraturstudie hva som er gjort med tanke på lover, forskrifter og standarder på området lavenergibygninger og såkalte passivhus i land som Norge naturlig kan sammenlignes med.
2. Klarlegg situasjonen mht tilgjengelige klimadata for å foreta troverdige, klimatilpassede beregninger for ulike steder i Norge og dokumenter slike data.
3. Klarlegg ved beregninger hvordan bygningenes gulvareal påvirker beregningsverdiene for energibruk ved valg av typiske, aktuelle sett av forutsetninger.
4. Klarlegg ved klimatilpassede beregninger hvordan beregningsverdiene for effekt og energibruk varierer ved valg av typiske, aktuelle sett av forutsetninger, og klarlegg følsomheten for de beregnede verdier ved avvik fra de beregningsverdiene som er forutsatt.
5. Klarlegg hva det normale, totale energibehovet for varmt tappevann vil være i lavenergiboliger og såkalte passivhus i forhold til energibehovet for oppvarming av ventilasjonsluft og transmisjonstap.

-- ” --

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sendte instituttet en detaljert fremdrift- og evt. forsøksplan for oppgaven til evaluering og evt. diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved evt. utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. (For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og evt. figurnummer.)

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk.

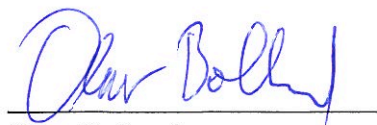
I henhold til "Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet" ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater i undervisnings- og forskningsformål, samt til publikasjoner.

Ett-1 komplett eksemplar (m/vedlegg etc.) av besvarelsen av oppgaven skal innleveres til faglærer ved Instituttet på CD-ROM i Word-format eller tilsvarende. I den komplette besvarelse skal det medfølge - i et eget dokument (fil) - et konsentrert sammendrag på maks. én maskinskrevet side med dobbel linjeavstand med forfatternavn og oppgavetittel for evt. referering i tidsskrifter. Ytterligere kopi(er) til evt. medveileder(e)/oppgavegiver(e) skal avtales med, og evt. leveres/sendes direkte til de respektive av studenten selv.

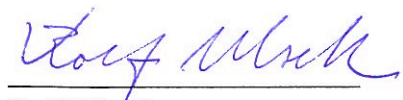
Til Instituttet innleveres et **komplett** elektronisk eksemplar av besvarelsen i systemet DAIM.

Besvarelsen skal innleveres senest 15. juni 2010.

Institutt for energi og prosesseteknikk, 1. november 2009



Olav Bolland
Instituttleder



Rolf Ulseth
Faglig ansvarlig/veileder

Sammendrag

Denne oppgaven er knyttet til planlegging og utvikling av lavenergi bolighus. Spesielt gjelder dette de nye kravene som er satt i den norske standarden NS 3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus - Boligbygninger. Standarden er utviklet for sertifisering av tre forskjellige klasser med lavenergiboliger for norske forhold. Denne oppgaven omhandler i hovedsak passivhusspesifikasjonen, som er den strengeste klassifiseringen.

Arbeidet inkluderer analyse av beregninger på forholdet mellom energibruk og gulvareal. Disse tyder på at varmetransport ved transmisjon er den dominerende parameter for energitap i et lavenergibygg, på samme måte som for en normal standard bygning. Dette innebærer at den lineære korreksjon for energibehov som er gjort i NS 3700 vil lette kriteriene for å kvalifisere små bygninger med samme bygningsstandard som større bygninger. Likevel, siden beregningene viser at forholdet mellom gulvflate og spesifikk energibruk ikke er lineært, vil kravene til energibruk og varmetapstall i standarden være strengere for små bygninger.

Standarden gjør videre bruk av lokale klimadata for kontrollberegninger mot energikravene. Da det er mangel på standardiserte timebaserte data for de fleste norske steder, er det i dette arbeidet undersøkt hvordan interpolerte data, generert fra ulike klimadatabaser, samsvarer med standardiserte offisielle værdata. Undersøkelsene viser at de interpolerte dataene avviker fra standardiserte måledata, spesielt for dimensjonerende forhold. Dette indikerer at energiberegninger med lokale timebaserte klimadata blant annet kan underestimere bygningens oppvarmingsbehov.

For kravene til netto oppvarmingsbehov er det også gitt en klimakorreksjon basert på årsmiddeltemperatur for angitt lokalisering. Undersøkelser på ulike klimasteder viser at denne gjennomsnittsbaserte parameteren ikke er den beste indikatoren på gitt varmelast for ulike lokaliseringer. Beregningene viser også at det er mulig å sertifisere en passivkvalifisert bygning for Oslo klima også i kaldere klima.

Det er videre undersøkt varmtvannets andel av varmebehovet i en lavenergibygning og effekten av varmegjenvinning av ventilasjonsluft. Disse undersøkelsene viser at varmtvann representerer det dominerende energibehovet i energieffektive boliger, samt viktigheten av fungerende varmegjenvinningssystemer med høy virkningsgrad.

Avslutningsvis konkluderes arbeidet med at den nye standarden er mer fokusert på detaljerte spesifikasjoner enn den originale standarden og implementeringene i Sverige og Finland. Likevel er de resulterende kravene til oppvarmingsbehov mindre krevende enn for de andre nordiske standardene med tilsvarende bygningsutforming og klima, og varierer ikke alltid forutsigbart for de ulike forhold.

Abstract

The work presented in this thesis is related to the planning and development of low energy domestic buildings. In particular it addresses the new requirements set by the Norwegian standard; NS 3700:2010 Criteria for passive houses and low energy houses - Residential buildings. The standard is developed for certification of three different classes of low energy domestic buildings for Norwegian conditions. This thesis mainly evaluates the passive house specification, which is the most stringent classification.

The work includes calculations on the relationship between energy use and floor area. The results indicate that heat transport by transmission is the dominating parameter for energy loss in a low energy building as for a normal standard building. This implies that the linear correction for the energy requirements applied by NS3700 will ease the qualification for small buildings with the same building standard as larger constructions. However, due to the findings from the analysis showing that the relation between floor area and specific energy use is not linear, the requirements will be stricter for small buildings.

Furthermore, the energy calculations done to certify the agreement to the energy requirements make use of local weather data. There is a lack of standardized hourly weather data for most Norwegian locations. In this work it has been investigated how interpolated hourly weather data generated from various data bases corresponds with the standardized official weather data. The comparisons prove that there are deviations from the standardized data, especially for the design conditions, indicating that the energy calculations with local weather data will under estimate the building heat load.

The standard makes use of a climate correction for the heat load requirements. The correction is based on annual mean temperature for the locations. Analysis of different climates show that this averaged parameter is not the best indicator on the calculated building heat load. The calculations also imply that it is possible to certify a qualified passive building for Oslo climate also in colder climates.

The work also includes investigations on the energy impact of hot tap water and ventilation heat recovery. These investigations imply that hot water is representing the dominating energy demand, and the importance of high efficiency functioning heat recovery systems.

On a general basis the work concludes that the new standard is more focused on detailed specifications than the original standard and the implementations in Sweden and Finland. All the same, the resulting heat load requirements are less demanding than the other Nordic standards and does not vary predictable in stringency for different conditions.

Forord

Denne masteroppgaven er utført som avslutning på min sivilingeniørutdanning ved studieprogrammet Ingeniørvitenskap og IKT på Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU). Arbeidet er utført som en såkalt langdiplom over året 2009/2010 samtidig med en halvtidsstilling som vitenskapelig assistent ved Faggruppe for energiforsyning og klimatisering av bygninger (EKB) ved Institutt for energi- og prosessteknikk (EPT).

Jeg vil med dette først og fremst takke min veileder Rolf Ulseth for utallige timer med faglige og mindre faglige diskusjoner. Om jeg på noen måte skulle glemme noe av all den kunnskapen jeg har blitt overøst med så vil jeg alltid sitte igjen med to grunnleggende faktum; energibruk er integrering av effekt over tid og størst av alt i verden er humbugen.

Videre vil jeg takke Eugen Uthaug for å stille opp på pletten om jeg skulle ha datatekniske problemer, Toril Larssen for glimrende administrativ støtte når jeg absolutt skal ordne ting på min måte og Linda Eimhjellen for mental støtte fra andre siden av kontorveggen. I tillegg har resten av faglaget ved NTNU og Sintef vært en super gjeng som velvillig deler av sine fagkunnskaper når som helst.

Til sist vil jeg takke min far som har forsøkt å hjelpe meg med å gjøre rapporten noenlunde leselig.

Trondheim, juni 2010

Una Myklebust Halvorsen



Innhold

Figuroversikt	iv
Tabelloversikt	v
Innledning	2
A Passivhusstandarden	3
1 Sertifiseringsystemer for bygninger	4
2 Passivhaus Standard	5
3 Nasjonale tilpasninger	6
4 Sverige	6
5 Finland	7
6 Norge	8
6.1 Behovet for en standardisering	8
6.2 NS3700: Krav og metodikk	8
B Beregninger og kartlegging	10
1 Premisser	11
2 Oppvarmet bruksareal og tap av varmeeffekt	12
2.1 Effektbehov	13
2.2 Energibehov	15
3 Tilgang på klimadata for dynamiske energiberegninger	18
3.1 Klimadata for dynamiske beregninger	18
3.2 Klimadata ved interpolering	18
4 Klimatilpassede beregninger	22
4.1 Energibehov ved ulike klima	22
4.2 Effektbehov ved ulike klima	23
5 Varmtvannets andel av varmebehovet	26
6 Varmegjenvinning av luft	30
6.1 Besparelser	30
6.2 Mulige tap	31
7 Passivhusstandarden for nordiske forhold	32
C Vurdering	34
1 Oppvarmet bruksareal og tap av varmeeffekt	35
2 Tilgang på klimadata for dynamiske energiberegninger	35
3 Klimatilpassede beregninger	35
4 Varmtvannets andel av varmebehovet	36
5 Varmegjenvinning av luft	36
6 Passivhusstandarden	37

D	Konklusjon	38
E	Videre arbeid	40
F	Vedlegg	42
1	Energiposter	43
2	Varmebehov	44
2.1	Oppvarmingsbehov	44
2.1.1	Varmetap	45
2.1.2	Varmetilskudd	46
2.1.3	Beregning av oppvarmingsbehov	46
2.2	Varmebehov til varmtvann	46
2.2.1	Forbruk av varmt vann	46
2.2.2	Varmetap	48
2.3	Varmegjenvinning fra luft	48
2.3.1	Prinsipper	48
2.3.2	Varmevekslere	48
2.3.3	Beregning av virkningsgrad	49
2.3.4	Ubalansert ventilasjon	50
2.4	Varmegjenvinning fra vann	50
3	Kjølebehov	51
4	El.-spesifikt energibehov	51
5	Total ressursbelastning	51
5.1	Systemgrenser for energibruk	51
5.2	Energiforsyning	52
5.3	Ressursforbruk til materialer og tekniske systemer	53
6	Energieffektivisering	53
6.1	Optimalisere energiytelse	53
6.2	Optimalisere energisystemet	54
6.3	Energibruk og brukervalg	54
7	Klima og energibehov	55
7.1	Værets påvirkning	55
7.2	Norges klimatiske forhold	56
8	Norge i tall og regler	63
8.1	Offentlige krav og veiledende tall	63
8.1.1	Oppvarming	63
8.1.2	Beregning av effekt- og energibehov	63
8.1.3	Varmtvann	63
8.1.4	Energiforsyning	63
8.1.5	Energimerking	64
8.1.6	Luftmengder i bolig	64
8.2	NS3700:2010 Krav til energiytelse	65
8.3	Husholdningene	65
8.4	Utvikling i forbruk av levert energi	67

Figurer

1	Finsk geografisk oppdeling av passivhuskravene [Nieminen <i>et al.</i> , 2002]	7
2	Spesifikke energikrav til netto oppvarmingsbehov for passivhus	9
3	Utforming av referansemodell	11
4	Krav til varmetapstall sammen med beregning av kvadratiske bygninger over 1 og 2 etasjer som tilfredsstillende energitiltak.	12
5	Beregnet oppvarmingsbehov mot krav. Kvadratisk utformede bygg som tilfredsstillende energitiltak, standardisert Osloklimate	13
6	Dimensjonerende effektbehov ved krav om 18 °C innetemperatur og dimensjonerende utetemperatur -20 °C for bygg med like dimensjoner på bygningskomponentene skalert for ulike bruksareal.	14
7	Beregnet oppvarmingsbehov mot krav for passivhus. Kvadratisk utformet modell som tilfredsstillende energitiltak og varmetapstall, standardisert Osloklimate,	15
8	Eksempel på fordeling av varmetap for bygg som tilfredsstillende TEK97 og NS3700:Passivhus.	16
9	Ytterflate til kvadratisk bygning med konstant takhøyde på 2.4 m	17
10	Standardiserte (DRY) og kunstig genererte (Meteonorm) klimadata for Bergen	19
11	Standardiserte (DRY) og kunstig genererte (Meteonorm) klimadata for Andøya	20
12	Oversikt over temperaturer ifølge Byggforsk (BKS) [Kvande <i>et al.</i> , 2009] og Meteonorm klimadata	21
13	Avvik mellom standardiserte og interpolerte klimadata	21
14	Beregning for klima med ulik årsmiddel for bolig (to etasjer, 128 m ²) med varmetapstall 0.52 W/m ² K	23
15	Effektbehov etter standard dimensjonerende tredøgnsmiddel og beregnet tredøgnsmiddel for Meteonormdata	24
16	Effektbehov etter standard dimensjonerende tredøgnsmiddel ved tilfredsstillende varmetapstall for Osloklimate og lokalt klima	24
17	Spesifikt energibehov til varmtvann for ulike scenarier	26
18	Spesifikt energibehov til varmtvann (25000 l vann per pers.), oppvarming og el.-spesifikt utstyr	27
19	Fordeling av energibehovet til varmtvann, ventilasjon og romoppvarming for ulike klimadata. Det er forutsatt passivhus med gulvareal på 128 m ² , 80% varmegjenvinning og en husholdning på 4 personer.	28
20	Sammenligning mellom varmebehov til tilluft med og uten varmegjenvinner ($\eta = 0.8$).	30
21	Spesifikt energibehov og årsvirkningsgrad på varmegjenvinner.	31
22	Tap ved 0.5 h daglig drift av kjøkkenavtrekk på 108 m ³ /h for bolig med 126 m ³ /h balansert ventilasjon	32
23	Scenario for utvikling av norske boligers varmebehov [Stene, 2009]	43
24	Eksempel på effektvarighetsdiagram for varmebehovet i bolig [Ulseth, 2008]	44
25	Netto energibehov til oppvarming i en bolig fordelt over året.	45

26	Eksempel på fordeling av varmetap og varmetilskudd over et år i en bolig.	45
27	Eksempel på varmtvannsforbruk i en enebolig [Stene, 2009]	47
28	Luftstrøm og temperaturer for beregning av momentan temperaturvirkningsgrad. [Schild and Hestad, 2002]	49
29	Flytdiagram for energi til bygg [Byggenergidirektivet.no, 2009]	52
30	Forbruk av primærenergi ved forskjellige energikilder [Pronorm, 2008]	53
31	Bygningers klimasystem [Stene, 2009]	55
32	Årsmiddel- og tredøgns dimensjonerende utetemperatur for ulike lokaliseringer i Norge [Kvande <i>et al.</i> , 2009]	56
33	Standardiserte klimadata (DRY) for Andøya, Bergen og Oslo	57
34	Varighetskurver for utetemperaturer over et år [Wolleng, 1979].	58
35	Månedsmiddelverdier for spesifikk soleffekt mot sørlig vendt flate i standard Oslo klima [Pronorm, 2007].	58
36	Luftas midlere årsmiddeltemperaturer for normalperioden 1971–2000 [Kvande <i>et al.</i> , 2009].	59
37	Solinnstråling i Norge [Blom, 1991]	60
38	Veiledende luftmengder i bolig med takhøyde 2.4	64
39	Prosentvis fordeling av boliger etter boligtype [SSB, 2002]	66
40	Arealfordeling av boligtyper [SSB, 2002]	66
41	Antall enebolighusholdninger fordelt på areal [SSB, 2002]	66
42	Oversikt over gjennomsnittlig bosatte og rom per husholdning [SSB, 2002]	67
43	Utvikling i gjennomsnittlig energibruk per husholdning fra 1993 til 2006 [SSB, 2008]	67
44	Utvikling i energibruk per husholdning for eneboliger [SSB, 2008]	67

Tabeller

1	Sertifiseringssystemer for bygninger [Tiltnes, 2010; Bergflødt, 2009]	4
2	Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall (NS3700:tabell 5)	8
3	Krav til levert energibehov ifølge NS3700	9
5	Eksempel på komponentverdier ved tilfredstilte energikrav for to etasjer ved ulikt bruksareal	16
6	Bygningskomponenter for å oppnå krav til netto oppvarming for passivhus	22
7	Korresponderende varmetapstall for å oppnå krav til netto oppvarming for passivhus	22
8	Korresponderende effektbehov for krav til varmetapstall ifølge Osloklimate og lokalt klima	24
9	Oversikt over effektbehov [W/m^2] ifølge dimensjonerende temperatur fra Byggforsk og beregnet tredøgnsmiddel for Meteonorm klimadata	25
10	Årlig energibehov til varmtvann [kWh]	26
11	Spesifikt energibehov til varmtvann [$kWh/m^2\text{år}$]	27
12	Krav til netto oppvarming for passivhus i Osloklimate [$kWh/m^2\text{år}$]	27
13	Andel energi til varmtvann av det totale varmebehovet	28
14	Fordeling mellom energi til varmtvann, ventilasjon og romoppvarming [$kWh/m^2\text{år}$]	29
15	Varmebalanse [Pronorm, 2007]	44
16	Varmeeffekt	45
17	Varmetilskudd fra sol	46
18	Direkte effektbehov	47
19	Effektbehov ved akkumulering	48
20	Varmepotensial i inneluft	48
21	Momentan virkningsgrad	49
22	Oversikt over årsmiddeltemperatur ifølge Byggforsk [Kvande <i>et al.</i> , 2009] og Meteonorm klimadata	61
23	Oversikt over dimensjonerende tredøgns vintertemperatur ifølge Byggforsk [Kvande <i>et al.</i> , 2009] og Meteonorm klimadata	62
24	Krav til netto oppvarmingsbehov	65
25	Internlaster energiberegning for småhus, tabell A.2 NS3700	65

Innledning

Innledning

Våren 2010 er det kommet en norsk standard for sertifisering av boliger med lavt varmetap som inkluderer en norsk versjon av den tyske Passivhaus Standard. Det er et uttalt mål å etter hvert innføre passivhusstandard som alminnelige byggeregler i Norge. Fra ministerhold er det snakk om en eventuell implementering i et tidsperspektiv på en fem til ti år.

Passivhus er et omdiskutert konsept med tanke på de reelle energibesparelsene, og i forhold til investert energi i materialressurser opp i mot reduksjonen i varmetap. En av forutsetningene for den tyske standarden er et så lavt varmebehov at man skal kunne forenkle det eksisterende oppvarmingssystemet. Dette krever boliger med en svært kompakt utforming og nøyaktige arbeider ved planlegging og prosjektering. Videre må dimensjonering av bygning og varmesystem tilpasses de reelle forhold der boligen er plassert.

Målet med denne oppgaven er å vurdere noen av konsekvensene for forutsetningene og kravene i den norske standarden. Blant annet den lineære korrigeringen for klima og bruksareal som er gjort for de spesifikke kravene til oppvarmingsbehov, forutsetningen om kontrollberegning mot lokale klimadata, kravet om et ventilasjonsanlegg med svært høyeffektiv gjenvinning og hvordan fordelingen av det totale varmebehovet kan bli ut i fra gitte kriterier.

Una Halvorsen, Trondheim juni 2010

Del A

Passivhusstandarden

1 Sertifiseringssystemer for bygninger

Ifølge et notat fra EU-kommisjonen [<http://ec.europa.eu>, 2009] er det i Europa i dag minst 17 ulike standarder som har som uttalt målsetting å energieffektiverer bygninger. Det er alt fra generelle konsept som ser på levert energiforbruk til varme, til detaljerte kravspesifikasjoner med målsetting om bygninger som totalt sett produserer energi.

Passivhuskonseptet ble startet av Wolfgang Feisst som bygde det første passivhuset i den tyske byen Darmstadt i 1990. Ifølge Passivhaus Institut var det i 2009 cirka 12 500 bygninger som tilfredstilte konseptet på verdensbasis. Det er hovedsakelig boligbygg lokalisert i tyskspråklige og nordiske land.

Det finnes også andre tilsvarende konsepter for bygg med lavt varmetap. For eksempel Minergie i Sveits og de tyske Niedrigenergie (lavenergi), 7-liter haus og 4-liter-haus, og det finnes flere pågående prosjekter for å lage tilpassede versjoner av den opprinnelige standarden.

I tillegg er det et økende antall systemer som i tillegg til å klassifisere produkter ut i fra energibruk også vurderer miljøbelastning, generell ressursforbruk i livsløpsperspektiv og effekt på liv og helse.

Et bygg som er toppklasse i et system vil ikke nødvendigvis tilfredstille sertifiseringer som legger vekt på andre indikatorer enn energibehov. En sammenligningsstudie [Roderick *et al.*, 2009] av et referansebygg gjennomgått for sertifisering for LEED, BREEAM og Green Star viste svært ulike utfall. Under følger en sammenligning av noen utvalgte sertifiseringssystemer.

Tabell 1: Sertifiseringssystemer for bygninger [Tiltnes, 2010; Bergflødt, 2009]

Energimerking	Passivhus	Svanen	LEED	BREEAM
Energi	Energi	Energi	Energi	Energi
		Materialer	Materialer	Materialer
		Inneklima	Inneklima	Inneklima
		Instruksjon til eiere	Innovativ Design	Miljøstyring
			Beliggenhet	beliggenhet
			Vannbesparing	Avfall og gjenvinning
			++	++

2 Passivhaus Standard

Sertifisering etter den opprinnelige passivhusstandarden gjøres ved kontrollmåling av lufttetthet, dokumentasjon av bygningskomponentene og kontrollberegning med passivhusinstituttets beregningsoppsett (PHPP) [Feist, 2007]).

Bygninger har tre overordnede krav for å bli sertifisert etter Passivhaus Standard:

$$n_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1} \text{ (tetthetstall)}$$

$$E_{n,o} = 15 \text{ kWh/m}^2\text{år (netto oppvarmingsbehov) evt. } P = 10 \text{ W/m}^2 \text{ (netto effektbehov)}$$

$$E_{p,t} = 120 \text{ kWh/m}^2\text{år (totalt behov for primærenergi)}$$

For søreuropeiske lokaliseringer er det i tillegg gitt en ramme på 15 kWh/m²år for kjølebehov, men også denne definisjonen har et totalt rammekrav for forbruk av primærenergi på 120 kWh/m²år.

Ifølge Passivhusinstituttet er ikke passivhuskonseptet kun en standard for energiytelse. Det overordnede målet er et bygg med høy standard for inneklime til lave bygningskostnader. For å oppnå dette må det opprinnelige bygningssystemet forenkles uten at det går på bekostning av termisk komfort eller øker varmebelastene [Feist, 1995].

Om man oppnår god nok varmeisolasjon av ytterflaten skal det for eksempel ikke være nødvendig med varmekilder under vinduer og på ytterflater for å motvirke kulderas. På denne måten skal det konvensjonelle oppvarmingssystemet kunne reduseres samtidig som man opprettholder den termiske komforten [Janson, 2008]. For den tyske standarden har dette blitt overført til følgende mål:

"Et Passivhus er en bygning med komfortabelt inneklime, som er mulig å oppnå kun med ettervarming eller etterkjøling av uansett nødvendige ventilasjonsluftmengder." [Lassen *et al.*, 2009]

3 Nasjonale tilpasninger

Det er påvist at det som tilsvarer passivhuskomponenter i Sentral-Europa ikke oppfyller kravene til energiytelse i kalde nordiske klima. Det medfører store isolasjonsmengder og veldig strenge krav til ytelse for bygningskomponentene [Dokka and Thyholt, 2006; Nieminen *et al.*, 2008].

Kravene innebærer spesiell oppmerksomhet rundt kuldebroer og tetthet. Sammen med store isolasjonstykker kommer også større fare for fuktproblemer og, for kalde klima, tele i grunnen og frostbeskyttelse.

Ved høyere varmeeffekttap vil også kravet til å dekke hele varmebehovet ved ventilasjonsluft være krevende. I tillegg vil årsvirkningsgraden til varmegjenvinner bli påvirket på grunn av avising og frostsikring [Nieminen *et al.*, 2002].

Videre er det dokumentert at det konstante spesifikke kravet til energibehov enklest vil kunne tilfredsstilles ved kjedehus og flerbostader på grunn av redusert andel ytterflate [Thyholt, 2006].

4 Sverige

I Sverige har det offentlig støttede Forum for energieffektive bygninger (FEBY) utarbeidet en svensk versjon av passivhusstandard. De operer på linje med de offentlige byggereglene (Boverkets Byggregler BBR06) med tre klimasoner; En for sørlige del av landet, en for midtre del og en for nord-Sverige.

$$n_{50} = 0,30 \text{ l/s m}^2 \text{ (tetthetstall)}$$

$$u_v < 0.9 \text{ W/m}^2\text{K} \text{ (u-verdi vinduer)}$$

$$P = 10, 11 \text{ eller } 12 \text{ W/m}^2 \text{ (netto effektbehov ved dimensjonerende utetemperatur boligblokker)}$$

$$P = 12, 13 \text{ eller } 14 \text{ W/m}^2 \text{ (netto effektbehov ved dimensjonerende utetemperatur eneboliger (< 200 m}^2\text{))}$$

$$E_{v,t} = 60, 64 \text{ eller } 68 \text{ kWh/m}^2\text{år} \text{ (totalt behov for vektet levert energi)}$$

evt.

$$E_{l,t} = 30, 32 \text{ eller } 34 \text{ kWh/m}^2\text{år} \text{ (totalt behov for levert energi ved el.-varme)}$$

$$E_{l,t} = 50, 54 \text{ eller } 58 \text{ kWh/m}^2\text{år} \text{ (totalt behov for levert energi for andre systemer enn el.)}$$

Energibehovet beregnes som summen av bygningens kjøpte energi til oppvarming, varmtvann og elektrisitet. For energiberegningene angis det et årlig varmvannsbehov på 18 000 liter per person og et temperaturløft på 55 °C.

Vektet levert energi blir beregnet ved lokalt forankrede energifaktorer. Om disse ikke finnes tilgjengelig anbefales det å bruke $e_{el} = 2$ (elektrisitet), $e_{fv} = e_{bp} = 1$ (fjernvarme og bio) og $e_{s,v} = 0$ (sol og vind).

Det er anslått et spesifikt energibehov til elektrisk utstyr på 5 kWh/m². Eventuelt kan det brukes krav til levert energi hvor det skilles mellom bygninger som er varmet med elektrisitet og andre oppvarmingskilder.

For å tilfredsstillere kravet til effektbehov blir det tilgodesett for interne varmetilskudd (4 W/m²) og dimensjonerende utetemperatur juster etter tidskonstant for bygningskroppen; Fra lett bygg (80h) til tungt (300h) er det differanser på 5 °C. Kravene er satt ved en innetemperatur på 20 °C.

Av andre generelle krav eller forutsetninger kan det nevnes:

- Krav til støy fra ventilasjonsanlegg og en øvre temperatur på 52 °C for tilluftstemperatur ved bruk av ventilasjon til oppvarming.

- Det er medregnet en halvtime daglig kjøkkenventilasjon
- Det er i tillegg råd om å forsøke å redusere varmtvannsbehovet og ha SFP under $1.5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

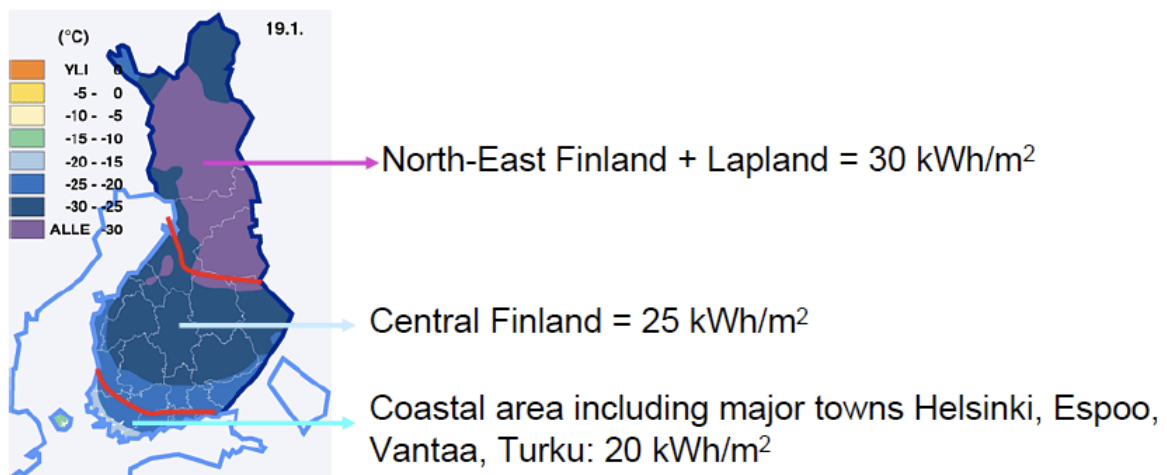
5 Finland

I Finland er det det teknologiske forskningscenteret VTT som står for den nasjonale passivhusstandarden. De følger de offentlige byggereglene angitt for tre klimasoner.

$$n_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1} \text{ (tetthetstall)}$$

$$E_{n,o} = 20, 25 \text{ eller } 30 \text{ kWh/m}^2\text{år (netto oppvarmingsbehov) (og anbefalt } P = 10 \text{ W/m}^2 \text{ (netto effektbehov))}$$

$$E_{p,t} = 130 - 140 \text{ kWh/m}^2\text{år (totalt behov for primærenergi)}$$



Figur 1: Finsk geografisk oppdeling av passivhuskravene [Nieminen *et al.*, 2002]

Ved kontroll mot veiledende krav til effektbehov er det justert for et internt varmetilskudd med 3.1 W/m^2 .

Ved implementering av den finske versjonen har man vært ekstra oppmerksom på eventuelle effekter som kommer som konsekvenser av kravet til lavt varmetap i svært kalde klima. Frostforholdene i grunnen, manglende dokumentasjon og prøving av de isolasjonstykkelsene det kreves for å oppnå kravene, risiko for tele i grunnen under bygget og effekten av frostsikring for varmegjenvinning av luft har vært avgjørende ved justeringen av kravet til energibehov.

Det er vist ved beregninger at det er teoretisk mulig å oppnå kravene for de fleste klima i Finland [Nieminen *et al.*, 2002].

6 Norge

6.1 Behovet for en standardisering

I Norge har vi inntil våren 2010 ikke hatt noen offisielle krav til energieffektive boliger. En del har fulgt Husbanken sine veiledende retningslinjer [Lavenergiboliger.no, 2005], mens andre har forsøkt seg på den tyske passivhusstandarden [Klinski *et al.*, 2008]. Allikevel har det blitt sett på som problematisk at man ikke har en overordnet standard tilpasset norske forhold.

Aktører innenfor ferdighusmarkedet har for eksempel kunnet selge produkter som verken tilfredsstillers Husbankens ramme eller nødvendigvis er mer energieffektive enn de myndighetspålagte reglene. For eksempel ved kun å øke varmeisolasjonen uten å ta kuldebroer og tetthet i betraktning.

De opprinnelige rammekravene til energiforbruk som ble brukt av Husbanken ved søknadsvurdering var angitt i netto energi. For lavenergi var det cirka 30 kWh/m² til oppvarming og 100 for total energibruk. For passivhus var dette angitt til henholdsvis 15 og 65 kWh/m² [Lavenergiboliger.no, 2005].

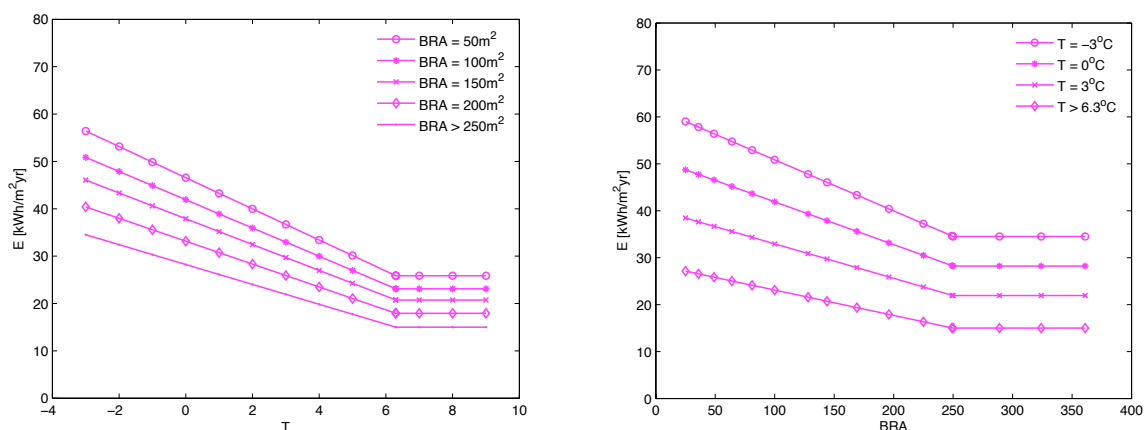
6.2 NS3700: Krav og metodikk

Den norske standarden er delt inn i tre klasser. Den ene er basert på passivhusstandarden, de to andre er såkalte lavenergiklasser.

For passivhusklassen er det i forhold til energiltakene i den tekniske forskriften (TEK07) [BE, 2007a] innstramminger for alle poster utenom kravet til normalisert kuldebro og u-verdi i gulv og tak. Standarden følger opp kravet til tetthetstall $n_{50} = 0.6 \text{ h}^{-1}$ fra den tyske versjonen. Lavenergi klasse 1 har like krav til u-verdier og normalisert kuldebro som energiltakene i TEK07, men har strengere krav til SFP og tetthetstall. Klasse 2 samsvarer med minstekravene.

Tabell 2: Minstekrav til bygningsdeler, komponenter og lekkasjetall (NS3700:tabell 5)

		Passivhus	Lavenergi 1	Lavenergi 2
Yttervegg	W/m ² K	0.15	0.18	0.22
Gulv	W/m ² K	0.15	0.15	0.18
Tak	W/m ² K	0.13	0.13	0.18
Vindu og dør	W/m ² K	0.80	1.20	1.60
Normalisert kuldebro	W/m ² K	0.03	0.04	-
Temperaturvirkningsgrad varmegjenv.	-	0.80	0.70	-
Spes. vifteeffekt	kW/m ³ /s	1.5	2	-
Lufttetthet	h ⁻¹	0.6	1	3



(a) Krav med hensyn på årsmiddeltemperatur for ulike BRA (b) Krav med hensyn på BRA for ulike årsmiddeltemperaturer

Figur 2: Spesifikke energikrav til netto oppvarmingsbehov for passivhus

Kravene til varmetapstall er regulert etter oppvarmet bruksareal. For passivhus er det følgende:

- 0-100 m²: $H = 0.60 \text{ W/m}^2\text{K}$
- 100-250 m²: $H = 0.55 \text{ W/m}^2\text{K}$
- > 250m²: $H = 0.50 \text{ W/m}^2\text{K}$

For å dokumentere energiytelsen i NS3700 er det krav om å benytte den norske energiberegningsstandarden NS3031 [Pronorm, 2007] eller dynamisk programvare som tilfredstiller minst klasse C for den europeiske valideringsstandarden EN15265.

Det er krav om å benytte faste inndata fra NS3031, men med tilpassede driftstider og lavere internlastere oppgitt i NS3700. Internlastene er angitt som middelveier over bruksarealet og tar ikke hensyn til variasjoner over døgnet eller brukertilknyttet påvirkning. Man regner heller ikke med varmetap fra varmtvann.

Passivhus er unntatt kravet om 40 % fornybarandel i TEK, men har eget krav om at levert energimengde fra el og fossile brennstoffer skal være mindre enn netto energibehov til oppvarming minus halvparten av netto årlig varmebehov til varmtvann.

Tabell 3: Krav til levert energibehov ifølge NS3700

$E_e + E_o + E_g < E_{n,t} - 0.5Q_{vv}$	Levert energibehov [kWh]
E_e	Levert energi fra elektrisitet [kWh]
E_o	Levert energi fra olje [kWh]
E_g	Levert energi fra gass [kWh]
$E_{n,t}$	Netto energibehov til oppvarming [kWh]
Q_{vv}	Netto energibehov til varmtvann [kWh]

Del B

Beregninger og kartlegging

1 Premisser

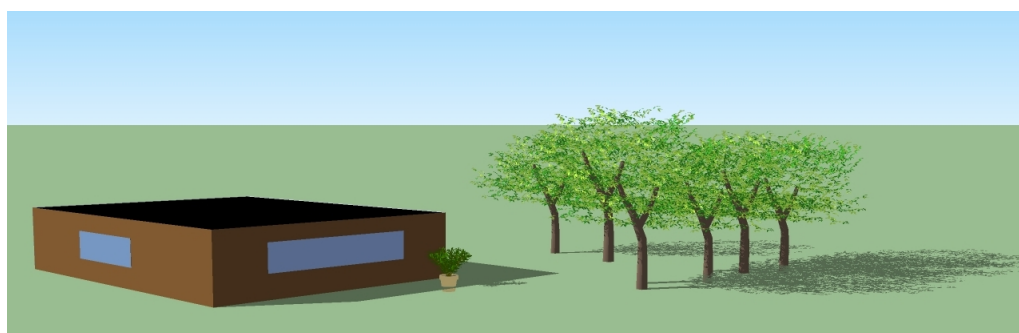
For de følgende analysene er det sett på noen av premissene som er lagt til grunn ved utarbeiding av standarden NS3700. Standarden tar blant annet utgangspunkt i energiberegninger med lokale klimadata, den har en lineær tilpassing av de spesifikke energikravene til netto oppvarming og forutsetter en årsvirkningsgrad på 80 % for varmegjenvinning.

Det er gjort beregninger for å se på sammenheng mellom bruksareal og spesifikt effekt- og energibehov, og hvordan dette slår ut for kravene satt i standarden. Videre er det generert lokale klimadata til bruk for beregning av energibehov i standarden, disse er sammenlignet med referansedata tilgjengelige for de ulike klima. Det er også utført energi- og effektberegninger ved bruk av de lokale data.

Det er også sett på varmegjenvinning av luft og hvordan dette påvirker byggets evne til å oppnå standardkravene, samt effekten av tap på grunn av kjøkkenventilasjon. Ellers er det sett på ulike scenarier for varmtvannets andel av det totale varmebehovet når oppvarmingsbehovet tilfredsstiller passivhusnivå.

For beregningene er det tatt utgangspunkt i eneboliger mellom 50 og 200 m², da det er dette som er den dominerende boligtypen i Norge [SSB, 2002].

Energiberegningene for oppvarmingsbehov av rom og ventilasjonsluft er utført på en enkel referansem modell bestående av én sone. Modellen har kvadratisk gulvareal og boksform. Vindusflatene utgjør 20 % av bruksarealet og er orientert 40 % mot sør og 20 % i de resterende himmelretningene. Inndata for driftstider, settpunktstemperaturer og internlast er gitt ifølge NS3700, eller fra NS3031 der det ikke er oppgitt annet.



(a) Én etasje



(b) To etasjer

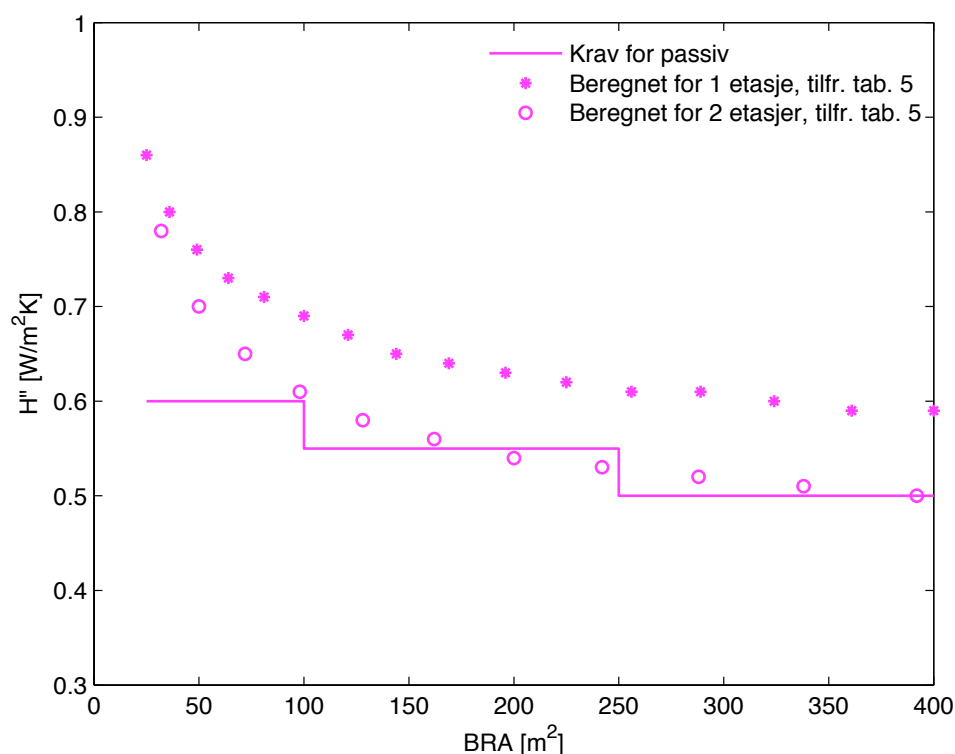
Figur 3: Utforming av referansem modell

2 Oppvarmet bruksareal og tap av varmeeffekt

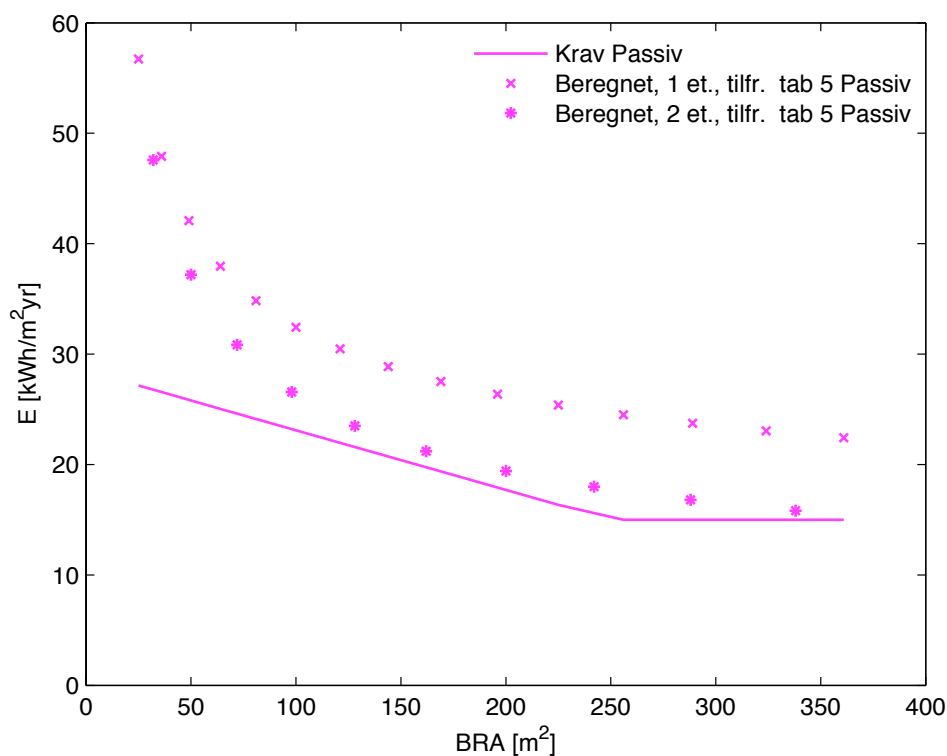
For beregning av oppvarmingsbehov er det her benyttet månedsstasjonære beregninger. Modellen er skalert for ulike bruksarealer, men med en konstant takhøyde på 2.4 m. Den er beregnet for tilfeller med én og to etasjer.

Beregningene ble først utført for en bygningskropp med de oppgitte kravene til bygningskomponenter for passivhus (se tabell 5 s. 16). Ingen av referansemødelene tilfredsstilte da oppvarmingskravet, men de større modellene nærmet seg kravene for varmetapstall (figur 4 og 5).

Som vist i figur 5 øker varmetapstallet og det korresponderende spesifikke energibehovet ved reduksjon i bruksareal. Videre vil modellen over to etasjer ha opp i mot 10 kWh/m²år lavere energibehov ved samme areal som én etasje, ved større arealer.



Figur 4: Krav til varmetapstall sammen med beregning av kvadratiske bygninger over 1 og 2 etasjer som tilfredsstillt energiltak.

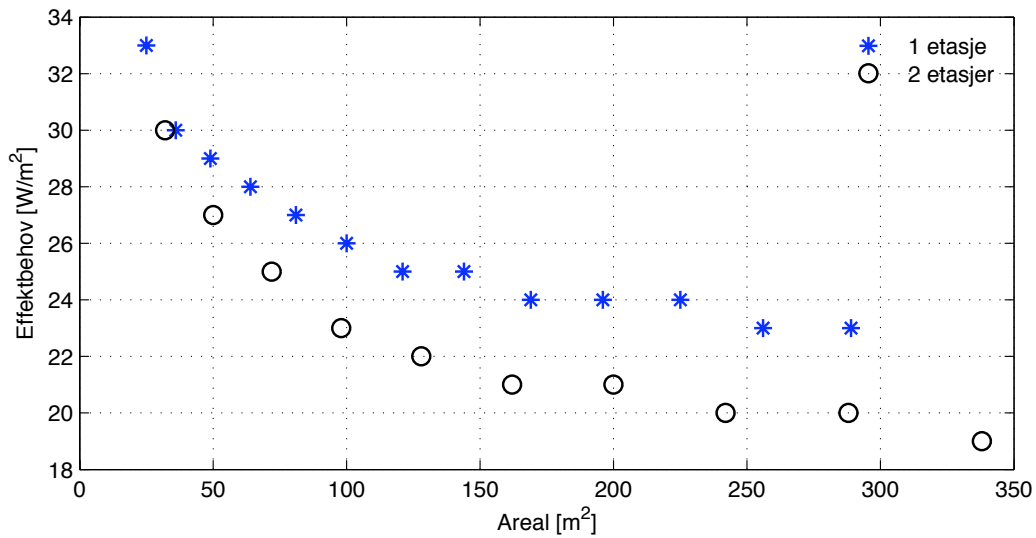


Figur 5: Beregnet oppvarmingsbehov mot krav. Kvadratisk utformede bygg som tilfredsstiller energiltak, standardisert Oslo klima

2.1 Effektbehov

Det korresponderende effektbehovet for standard Oslo klima (dimensjonerende utetemperatur $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) ved krav om å opprettholde $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ innetemperatur, vil for bygninger over én og to etasjer som tilfredsstiller komponentkravene til passivhus, men ikke nødvendigvis varmetapstall eller energibehov, gi et korresponderende effektbehov vist i figur 6 og tabell 4.

Det gir en variasjon i spesifikt effektbehov fra 20 til 29 W/m^2 uten tilfredsstilt varmetapstall for bygninger fra 50 til 250 m^2 . Effektbehovet ved tilfredsstilt varmetapstall for passivhus vil tilsvarende være mellom 19 og 23 W/m^2 for hhv store og små bygg, med noe instramming for å oppnå kravet til energibehov (se figur 7).



Figur 6: Dimensjonerende effektbehov ved krav om 18 °C innetemperatur og dimensjonerende utetemperatur -20 °C for bygg med like dimensjoner på bygningskomponentene skalert for ulike bruksareal.

Tabell 4:

1 etasje		2 etasje	
Areal [m²]	Effektbehov [W/m²]	Areal [m²]	Effektbehov [W/m²]
49	29	50	27
64	28	72	25
81	27	98	23
100	26	128	22
121	25	162	21
144	25	200	21
169	24	242	20
196	24		
225	24		
256	23		

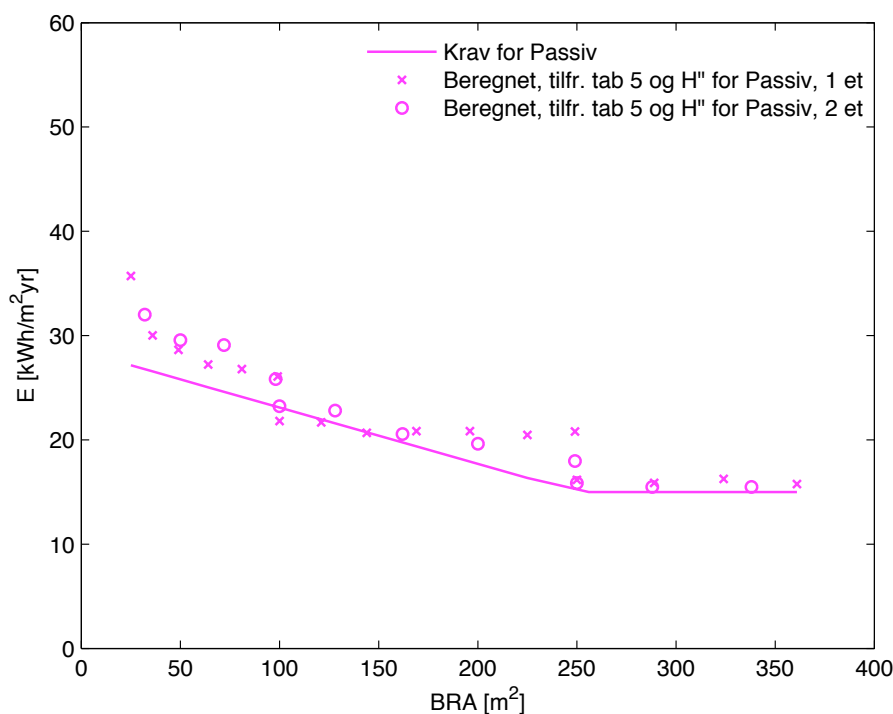
2.2 Energibehov

I figur 7 er det gjort tiltak for å tilfredsstille kravene til varmetapstall for de forskjellige størrelsene. Kravene til oppvarmingsbehov ble fremdeles ikke tilfredsstilt ved dette tiltaket.

For å nå passivhuskravene for netto oppvarming i Oslo klima må en for små bruksarealer ned i u-verdier på $0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det tilsvarer 400 mm isolasjon med en konduktivitet på 0.037 W/mK i en bindingsverksvegg. Det er også gjort innstramminger i tetthetskravet.

Modeller rundt 250 m^2 tilfredsstilte kravene ved u-verdier mellom 0.13 og $0.14 \text{ W/m}^2\text{K}$. Det tilsvarer isolasjonsdimensjoner på mellom 300 og 350 mm. Begge modellene hadde $0.7 \text{ W/m}^2\text{K}$ i vinduene og krav til normalisert kuldebro på $0.03 \text{ W/m}^2\text{K}$.

For modellene på én etasje var komponentkravene ned mot $0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$ for ytterflatene i små bygninger. Dette tilsvarer dimensjonerer opp mot 500 mm. For et lite bygg vil dette utgjøre en stor andel av det totale bygningsarealet.



Figur 7: Beregnet oppvarmingsbehov mot krav for passivhus. Kvadratisk utformet modell som tilfredsstiller energiltak og varmetapstall, standardisert Oslo klima,

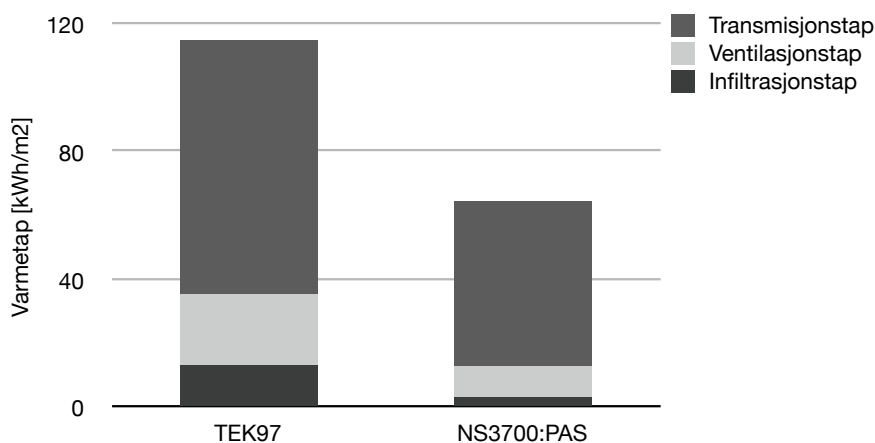
Tabell 5: Eksempel på komponentverdier ved tilfredstilte energikrav for to etasjer ved ulikt bruksareal

		50 m ²	250 m ²
Yttervegg	W/m ² K	0.12	0.14
Gulv	W/m ² K	0.10	0.14
Tak	W/m ² K	0.10	0.13
Vindu og dør	W/m ² K	0.70	0.70
Normalisert kuldebro	W/m ² K	0.03	0.03
Temperaturvirkningsgrad varmegjenv.	-	0.80	0.80
Lufttetthet	h ⁻¹	0.5	0.6

Transmisjonstap gjennom ytterflatene er den største varmetapsposten for de fleste boliger. Og selv ved u-verdier tilsvarende passivhusstandard vil de strenge kravene til tetthet og varmegjenvinning gjøre at transmisjonen fremdeles er dominerende (Se figur 8).

Arealet av ytterflaten til en bygning er gitt ved summen av arealet til gulv mot grunn, yttertak og ytterveggene. Om vi antar at takhøyden er konstant vil det relative forholdet mellom ytterflate og gulvareal øke når man reduserer størrelsen på gulvflaten.

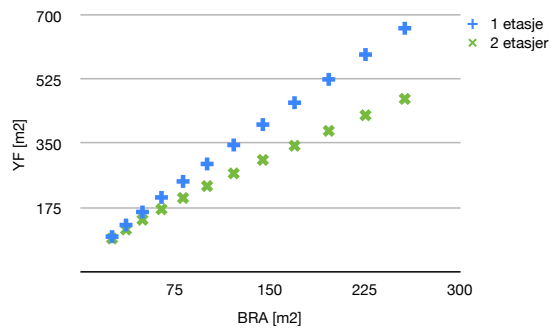
For en firkantet utformet bygning vil forholdet mellom ytterflate og areal ha kurver tilsvarende figur 9. Her kan man se hvordan den mer kompakte bygningen over to etasjer har et lavere forholdstall enn et bygg med kun én etasje. Videre ser man hvordan forholdstallet for begge bygninger øker når gulvarealet reduseres.



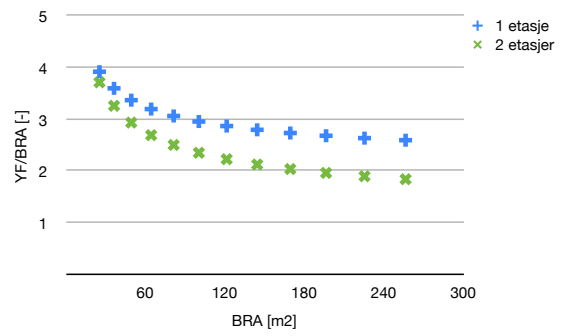
Figur 8: Eksempel på fordeling av varmetap for bygg som tilfredsstiller TEK97 og NS3700:Passivhus.

$$YF = 2 \cdot BRA + 4 \cdot h \cdot BRA^{0.5}$$

$$YF/BRA = 2 + 4 \cdot h \cdot BRA^{-0.5}$$



(a) Ytterflate og bruksareal



(b) Spesifikk ytterflate og bruksareal

Figur 9: Ytterflate til kvadratisk bygning med konstant takhøyde på 2.4 m

3 Tilgang på klimadata for dynamiske energiberegninger

3.1 Klimadata for dynamiske beregninger

Ved timebaserte dynamiske beregninger og standard inndata for internlast og driftstider (se tabell 25 s. 65) vil parametere relatert til værforholdene være den største påvirkningsfaktoren for beregnet energibehov over året. Fordi værforholdene varierer er det en utfordring å gi representasjoner som gir et godt nok bilde på det lokale klimaet.

Per dags dato finnes det kun standardiserte timebaserte klimadata for Andøya, Bergen og Oslo i Norge. Disse er såkalte DRY (design referanseår) og er utarbeidet fra sett på 10 klimaår med utvalg av typiske værmåneder [Skartveit *et al.*, 1994].

Meteorologisk Institutt tilbyr timesbaserte målte verdier for noen av de nødvendige klimaparametrene, men disse data vil være gjengitt kun for enkeltår og er ikke standardisert [Met.no, 2009].

3.2 Klimadata ved interpolering

De siste årene har man fått tilgang på programvare som ved stedsangivelse og beskrivelse av område (kyst eller fjellstrøk, skjermet eller eksponert) interpolerer mellom de nærmest tilgjengelige målestasjonene og generer kunstige klimadata etter standardisert metodikk.

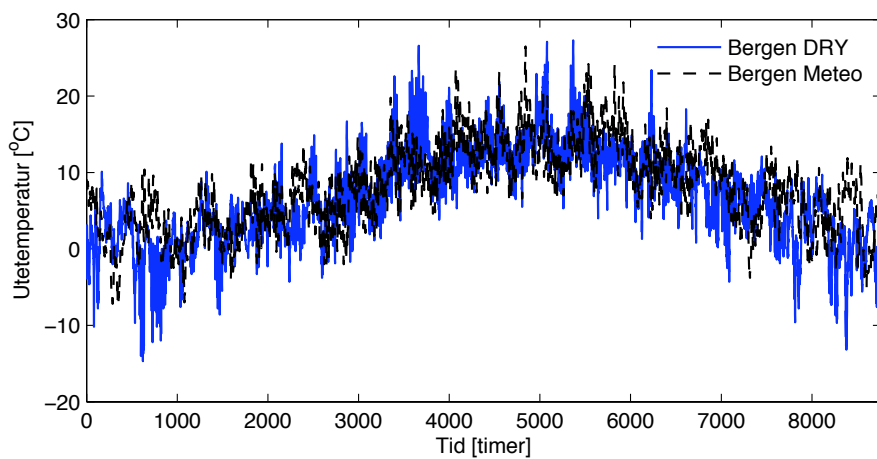
I denne gjennomgangen er programvaren Meteororm [Meteotest, 2009] benyttet for generering av kunstige klimadata. Dette beregningsverktøyet generer lokale klimadata ved bruk av databaser med tilgang på værdata fra målestasjoner og standardiserte klimafilere fra nærliggende steder. I tillegg kan det benytte brukerdefinerte inndata.

Meteororm generer data for valgbare oppsett og format slik at de skal kunne benyttes av forskjellige beregningsprogrammer. Programmet har parametere med hensyn til geografiske koordinater, høyde over havet, terrengskjerming og beskrivelse av nærhet til hav eller innlandsområde. Videre kan det endres på algoritmer for beregning av soldata.

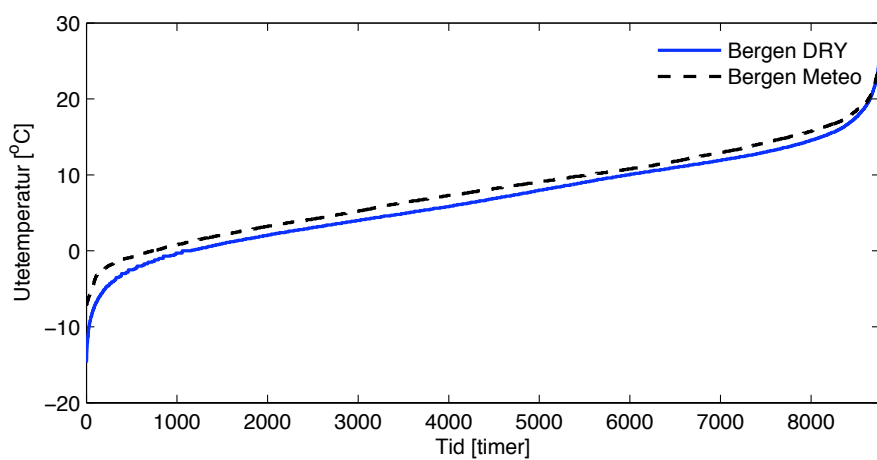
Ved generering av klimadata for denne oppgaven ble det gjort et utvalg for geografiske steder som beregningsprogrammet Simien har inkludert i sin klimadatabase. Disse klimadata er også generert av Meteororm og ved sammenligning med de egengenererte dataene ga de samsvarende verdier ved valg av de forutsatte parametere som beliggenhet og høyde over havet.

For alle genereringene oppga programmet interpolering mellom to til tre databaser med vektning for avstander for de beregnede verdiene. Dette er målestasjoner fra større byer eller design referanseår for de tre ovennevnte byene.

For de tre DRY-stedene ble det gjort en sammenligning som viste stor grad av samsvar mellom det genererte materialet og standarddataene. I figur 10 og 11 kan man se plot av temperatur og temperaturvarighet for henholdsvis Bergen og Andøya.

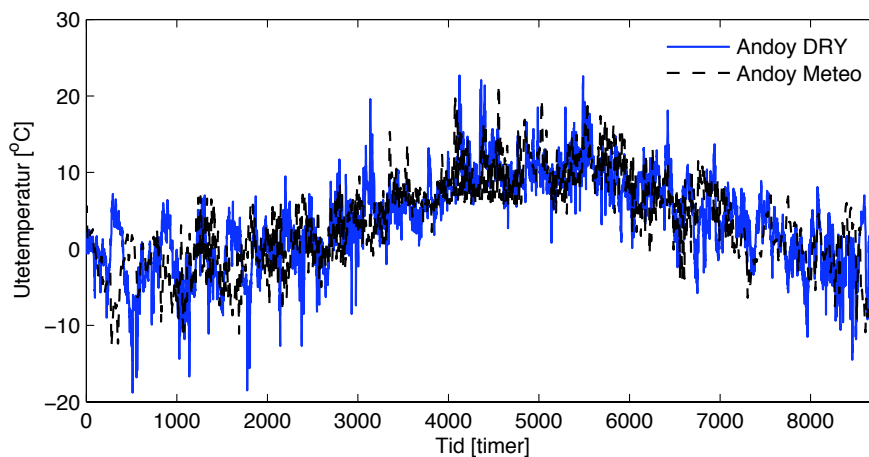


(a) Temperaturkurver

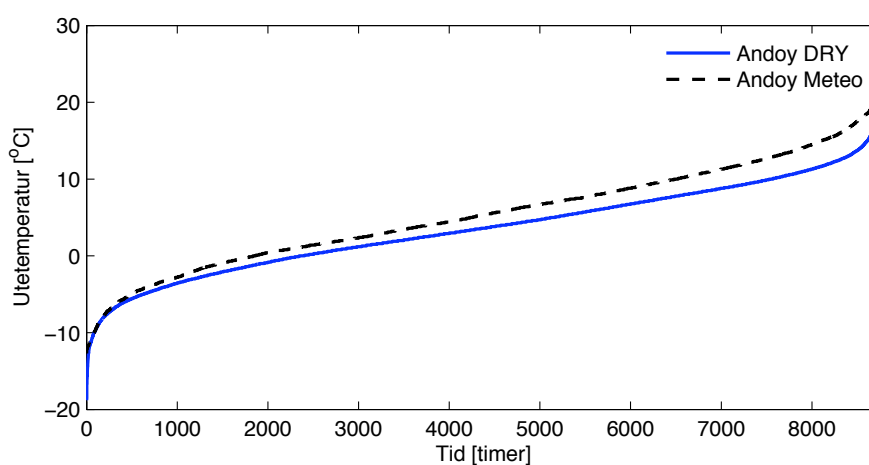


(b) Temperaturvarighetskurver

Figur 10: Standardiserte (DRY) og kunstig genererte (Meteonorm) klimadata for Bergen



(a) Temperaturkurver



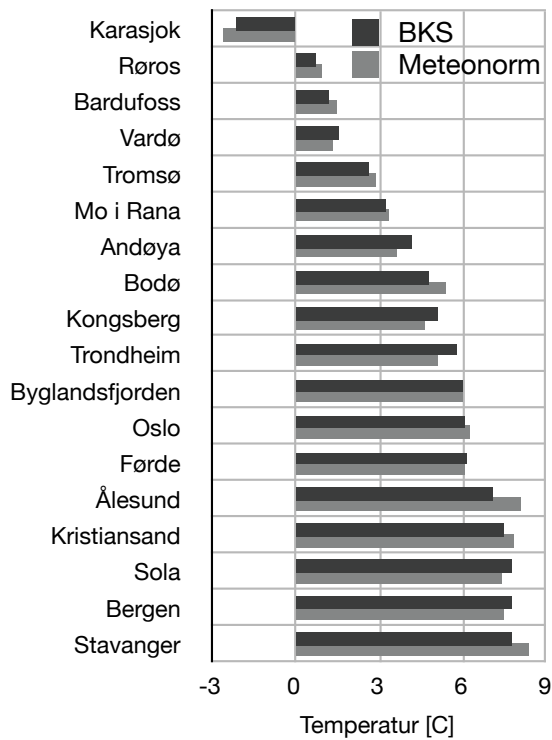
(b) Temperaturvarighetskurver

Figur 11: Standardiserte (DRY) og kunstig genererte (Meteonorm) klimadata for Andøya

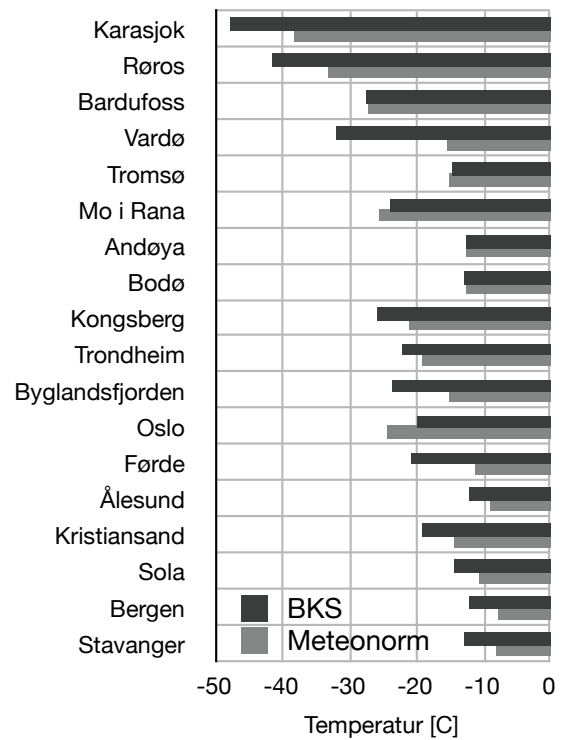
I mangel på timebaserte referansetall for de andre lokaliseringene er det i det følgende vist en oversikt over årsmiddeltemperatur og laveste tredøgns vintertemperatur for de genererte data sammen med gjennomsnittlig årsmiddel og laveste gjennomsnittlige tredøgnsstemperatur for perioden 1971 - 2000 [Kvande *et al.*, 2009] (se figur 12, samt tabell 22 og 23 s. 61 og 62).

Som det fremkommer av figurene er det differanser mellom de kunstig genererte værddata og de standardiserte middelverdier. For årsmiddeltemperaturer ligger avviket innenfor 1 °C, mens det for dimensjonerende vintertemperatur er avvik på opptil 16.5 °C.

Denne ovennevnte differanse fremkommer for kystklimaet i Vardø og tilsvarer en standardisert middeltemperatur på -31.7 °C og en interpolert verdi på -15.2 °C. Karasjok, Røros, Byglandsfjord og Førde har avvik i størrelsesorden 10 °C samme retning. Oslo har det største avviket i andre retning med 4.3 °C.

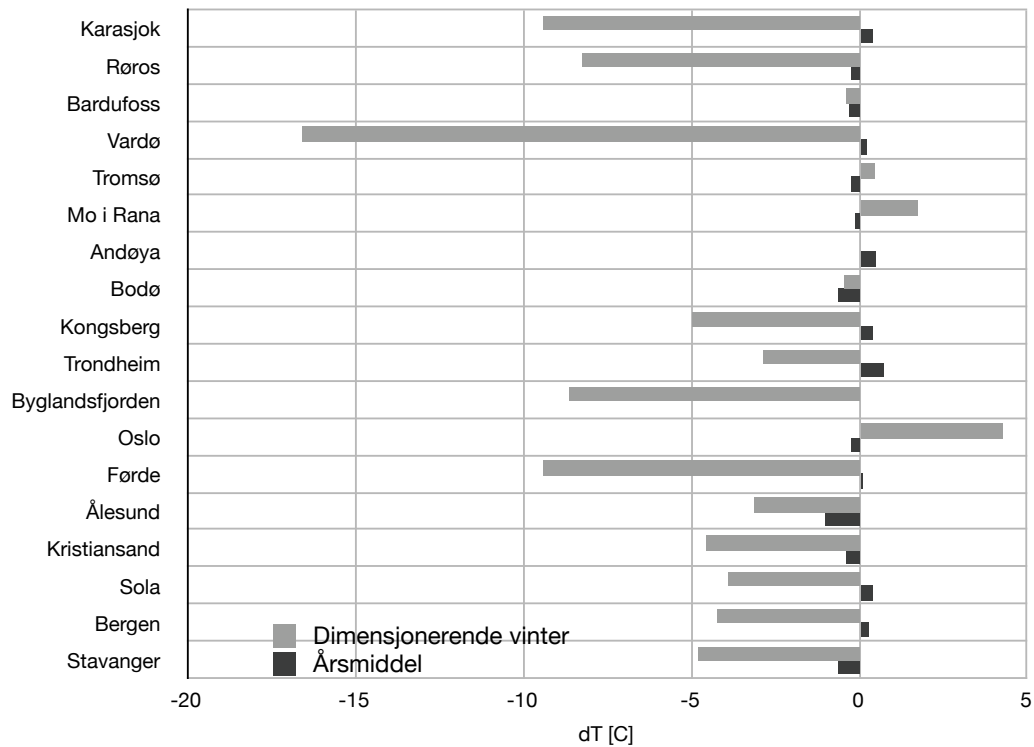


(a) årsmiddeltemperatur



(b) Laveste tredøgns utetemperatur for vinterforhold

Figur 12: Oversikt over temperaturer ifølge Byggforsk (BKS) [Kvande *et al.*, 2009] og Meteonorm klimadata



Figur 13: Avvik mellom standardiserte og interpolerte klimadata

4 Klimatilpassede beregninger

I det følgende er det utført klimatilpassede beregninger av en frittliggende enebolig. Boligen har et kvadratisk gulvareal på 128 m² over to etasjer og boksform. Modellen består av én sone. Beregningene er gjennomført med det dynamiske energiberegningsprogrammet Simien [Dokka, 2009] da dette verktøyet hadde forholdsvis enkle funksjoner for å endre klimadata. De lokale klimadata som er benyttet ble generert med klimadata-programmet Meteonorm.

Det er gjort en sammenligning mot kravene til netto oppvarmingsbehov i NS3700 som er korrigeret for årsmiddeltemperatur. Det ble først sett på hvordan en modell som tilfredsstiller kravene til passivhus i Oslo klima presterer for dimensjonerende effektbehov og netto energibehov til oppvarming i de andre klima (for komponentverdier se tabell 6). Deretter er det sett på tilsvarende verdier ved tilfredsstilt energikrav for lokalt klima.

4.1 Energibehov ved ulike klima

For å bli godkjent som passivhus ved standard Oslo klima måtte bygningskroppen ned på et varmetapstall tilsvarende 0.52 W/m²K (kravet for bruksarealer mellom 100 og 250 m² er 0.55 W/m²K). Ved lokale klimadata hadde denne et beregnet netto oppvarmingsbehov vist i figur 14. Plottet mot de lineært årsmiddelkorrigerede energikravene gir dette et bilde av kravene til passivhusstandard i andre deler av Norge.

Man ser at klima med tilnærmet like årsmiddelverdier vil ha differanser i energibehov. For referansemodellen vil det eksempelvis være en forskjell i energibehov på nesten 10 kWh/m² mellom kystklimaet i Vardø og innlandsforholdene i Bardufoss. For å oppnå kravene kan Vardø redusere sine krav til bygningskroppen, mens Bardufoss må stramme inn for å få godkjent energiytelse.

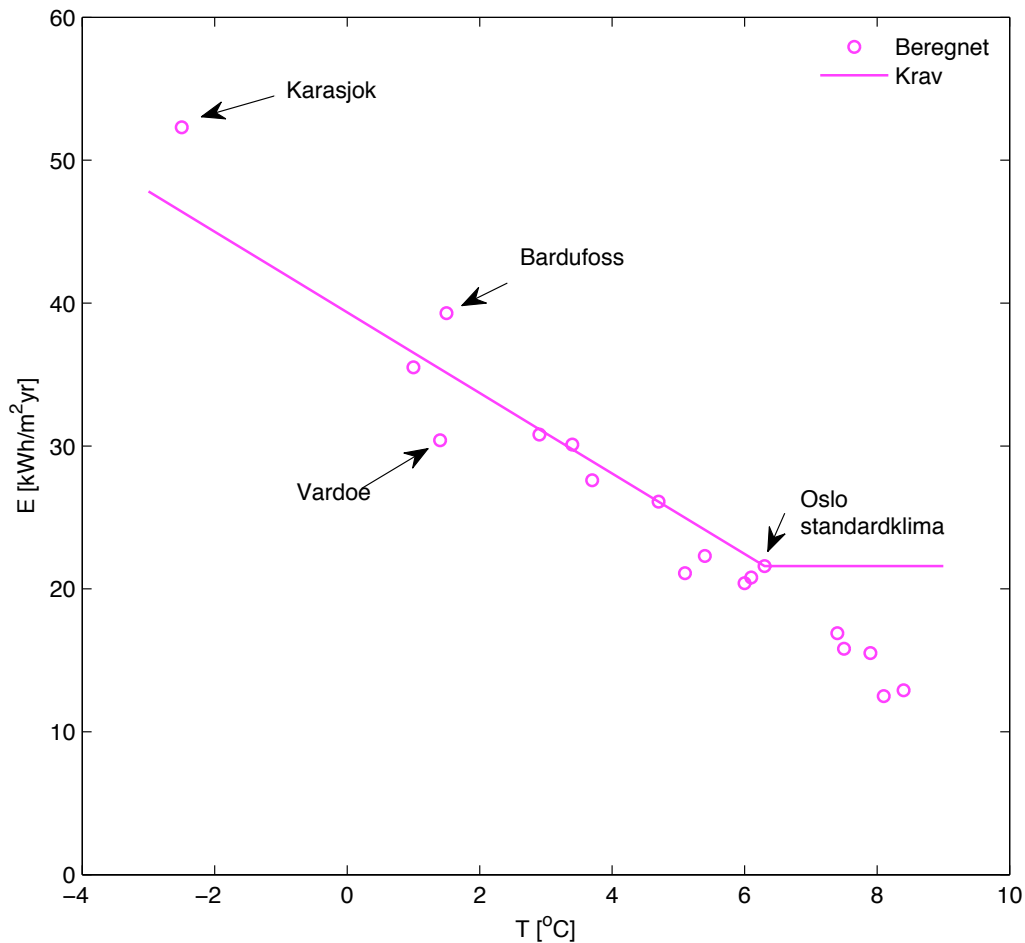
I tabell 6 følger en oversikt over komponentverdiene som måtte til for å nå energikravene i NS3700. Tabell 7 inneholder de korresponderende varmetapstallene. I Karasjok vil det være krav om u-verdier på 0.09 W/m²K i gulv og 0.11 W/m²K for vegger og tak. Dette gir et resulterende varmetapstall på 0.48 W/m²K. For Vardø vil det være tilstrekkelig med et varmetapstall på 0.54 W/m²K, mens Bardufoss må ned på 0.49 W/m²K. For bygningen lokalisert i mildere klima vil minimumskravene til varmetapstall og bygningskrav gjelde.

Tabell 6: Bygningskomponenter for å oppnå krav til netto oppvarming for passivhus

Inndata		Oslo	Vardø	Bardufoss	Karasjok
U-verdi Gulv	W/m ² K	0.11	0.11	0.10	0.09
U-verdi Tak	W/m ² K	0.11	0.12	0.11	0.11
U-verdi Yttervegg	W/m ² K	0.12	0.15	0.11	0.11
U-verdi Vinduer/dører	W/m ² K	0.8	0.8	0.7	0.7
ψ Normalisert kuldebro	W/m ² K	0.03	0.03	0.03	0.03
n ₅₀ Tetthetstall	h ⁻¹	0.5	0.5	0.5	0.5

Tabell 7: Korresponderende varmetapstall for å oppnå krav til netto oppvarming for passivhus

Inndata		Oslo	Vardø	Bardufoss	Karasjok
Varmetapstall	W/m ² K	0.52	0.54	0.49	0.48



Figur 14: Beregning for klima med ulik årsmiddel for bolig (to etasjer, 128 m²) med varmetapstall 0.52 W/m²K

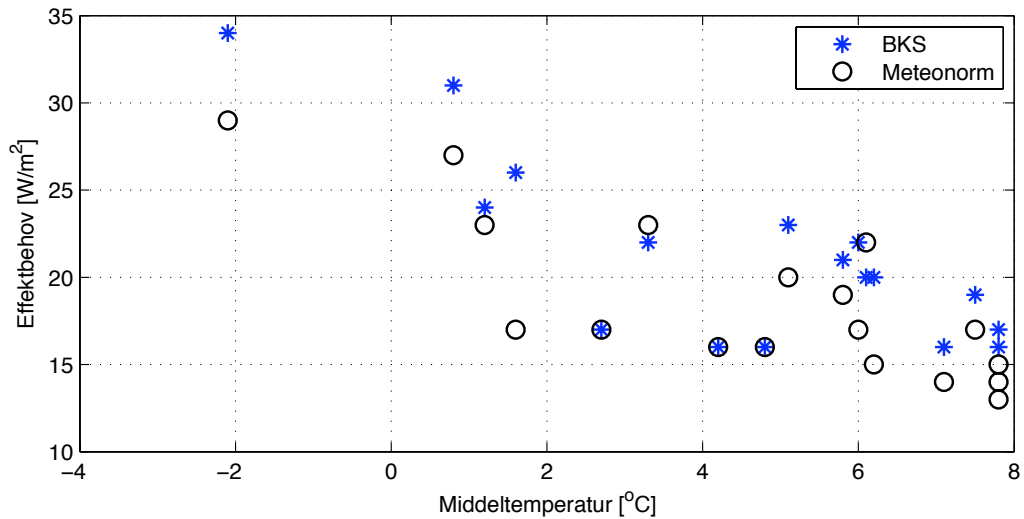
4.2 Effektbehov ved ulike klima

For å beregne det dimensjonerende effektbehovet til en bolig kan man se på varmetransporten som følge av temperaturdifferansen mellom inne og ute ved dimensjonerende vintertemperatur (se tabell 16 s.45).

Veiledende verdier for prosjektering av varmeanlegg er laveste tredøgnsmiddel over 30 år og rom for tre grader senkning av innnetemperaturen ved dimensjonerende forhold (se del 8.1.2 s. 63). I tillegg til denne standardiserte verdien er det her også beregnet effektbehov for laveste tredøgnsmiddel for de benyttede interpolerte klimadata (se tabell 23 s. 62). For det angitte varmetapstall på 0.52 W/m²K og en laveste innnetemperatur på 18 °C vil dette gi effektbehov tilsvarende de oppgitte verdier i tabell 9.

De dimensjonerende verdiene ifølge tredøgns middeltemperatur er også plottet mot de standardiserte årsmiddeltemperaturer for perioden 1971-2000 (se figur 15). Her ser man at det for samme årsmiddeltemperatur vil være et stort sprang i effektbehov for de ulike stedene. Videre vil det beregnede tredøgns middel fra Meteonorm jevnt over generere et lavere effektbehov enn de standardiserte verdiene på grunn av de høyere temperaturene.

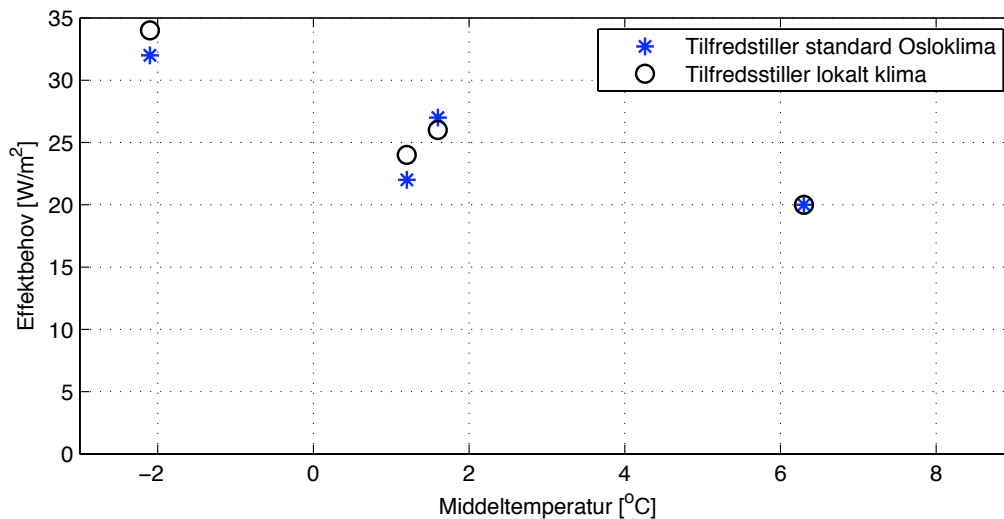
Videre vil man ved bygningskropp som akkurat tilsvarer passivhuskravet til netto oppvarming for de fire stedene oppgitt i tabell 6 og 7 få et korresponderende effektbehov oppgitt i figur 16. Fra figuren kan man se at det er små differanser i behovet sammenlignet med varmetapstall etter Oslo klima.



Figur 15: Effektbehov etter standard dimensjonerende tredøgnsmiddel og beregnet tredøgnsmiddel for Meteonormdata

Tabell 8: Korresponderende effektbehov for krav til varmetapstall ifølge Osloklima og lokalt klima

Effektbehov [W/m ²]	Oslo	Vardø	Bardufoss	Karasjok
Ved varmetapstall for Osloklima	20	27	22	32
Ved varmetapstall for lokalt klima	20	26	24	34



Figur 16: Effektbehov etter standard dimensjonerende tredøgnsmiddel ved tilfredsstilt varmetapstall for Osloklima og lokalt klima

Tabell 9: Oversikt over effektbehov [W/m^2] ifølge dimensjonerende temperatur fra Byggforsk og beregnet tredøgnsmiddel for Meteonorm klimadata

Stedsnavn	Byggforsk	Meteonorm
Karasjok	34	29
Røros	31	27
Bardufoss	24	23
Vardø	26	17
Tromsø	17	17
Mo i Rana	22	23
Andøya	16	16
Bodø	16	16
Kongsberg	23	20
Trondheim	21	19
Byglandsfjorden	22	17
Oslo	20	22
Førde	20	15
Ålesund	16	14
Kristiansand	19	17
Sola	17	15
Bergen	16	13
Stavanger	16	14

5 Varmtvannets andel av varmebehovet

I denne analysen blir det sett på hvor stor andel av varmebehovet varmtvann vil utgjøre i en bolig som tilfredsstiller passivhusstandard. I gjennomsnitt for alle bygningskategorier er forbruket i dag angitt å utgjøre omtrent 24 % av det totale energibehovet til en husholdning [Skjønhaug, 2004]. Forbrukerundersøkelser anslår en stor grad av variasjon i vannforbruk, men angir et gjennomsnitt på rundt 25 000 liter årlig per person [Ljones *et al.*, 1992; Ulverud *et al.*, 1999].

Med hensyn til Norges boligmasse kan man se at tyngden av norske eneboliger ligger innenfor rammen av 50-200 m², med en tyngde rundt 150 m² (figur 41 s. 66). Det er derfor sett nærmere på boliger innenfor denne rammen.

Forbruk av varmt vann per husholdning er nært tilknyttet personbelastningen. På grunn av manglende forbruksmåling finnes det lite empiriske tall for varmtvannsforbruk i husholdninger. Det er her tatt utgangspunkt i et gjennomsnittlig varmtvannsforbruk på 25 000 liter, samt to scenarier hvor forbruket er henholdsvis 25 % lavere og 25 % høyere (18750 og 31250 l).

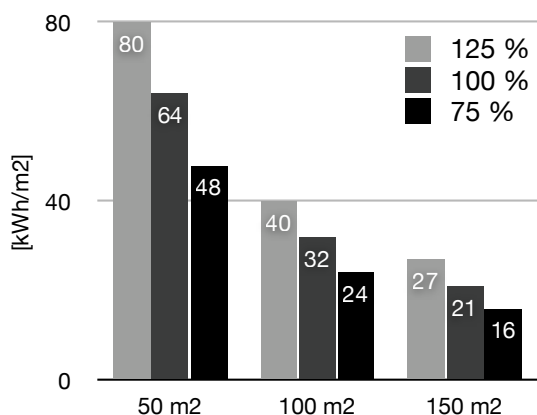
Det er antatt et temperaturløft på 55 °C for varmtvannsoppvarmingen, dette gir et årlig energiforbruk på omtrent 1600, 1200 og 2000 kWh per person for de tre scenariene (se seksjon 2.2 s. 46).

$$Q = mc_p dT = 25\,000 \text{ kg} \cdot 4.2 \text{ kJ/kgK} \cdot 55 \text{ K} = 1604 \text{ kWh}$$

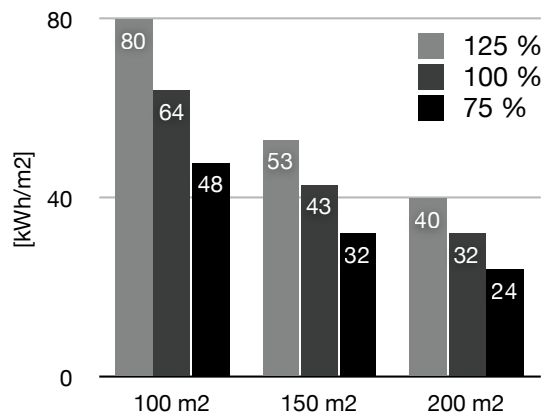
Om man ser bort i fra eventuelle stordriftsfordeler eller andre justeringer og beregner energiforbruk for en husholdning bestående av 1, 2 og 4 personer får man fordelingen vist i tabell 10. For husholdningene på 2 og 4 personer presenteres det spesifikke energiforbruket for husholdninger med ulikt bruksareal i tabell 11 og figur 17.

Tabell 10: Årlig energibehov til varmtvann [kWh]

Varmtvannsforbruk	1 pers	2 pers	4 pers
125 %	2000	4000	8000
100 %	1600	3200	6400
75 %	1200	2400	4800



(a) Husholdning på to personer



(b) Husholdning på fire personer

Figur 17: Spesifikt energibehov til varmtvann for ulike scenarier

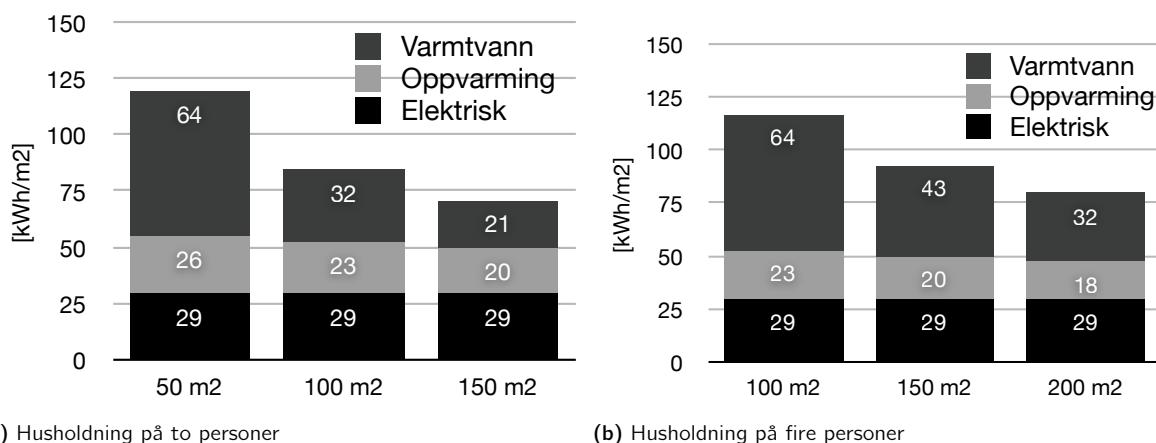
Tabell 11: Spesifikt energibehov til varmtvann [kWh/m²år]

Husholdning på to personer	50 m ²	100 m ²	150 m ²
125 %	80	40	27
100 %	64	32	21
75 %	48	24	16
Husholdning på fire personer	100 m ²	150 m ²	200 m ²
125 %	80	53	40
100 %	64	43	32
75 %	48	32	24

De angitte bruksarealene vil i Oslo klima ha energikrav til passivhus oppgitt i tabell 12. Ved et antatt forbruk på 25 000 liter per person og inndata for energiberegning i henhold til NS3700 (belysning 11,4 kWh/m² og teknisk utstyr 17 kWh/m²) vil dette gi en formålsdeling av det totale netto energiforbruket som vist i figur 18.

Med hensyn på varmebehovet utgjør varmtvannsbehovet her en andel på rundt 50 til 70 % for husholdningen på to personer, og rundt 65 til 75 % for husholdningen på fire. For et antatt vannforbruk på 31 250 l/pers vil de tilsvarende andelene ligge mellom cirka 55-75 % for to personer og 70-80 % for fire. Ved en antatt reduksjon i vannforbruket (18 750 l/pers) vil tallene være henholdsvis 45-65 % og 60-70 % (se tabell 13).

Ved det antatte standardforbruket vil det for husholdningen med to personer på 100 m² utgjøre 58 % av varmebehovet, mens for 4 personer på 200 m² vil det være i størrelsesorden 64 %. For sparescenarioet vil de to husholdningene bruke henholdsvis 51 % og 58 % av varmebehovet til varmtvann, mens det forhøyede forbruket vil ha en andel på henholdsvis 63 % og 69 %.

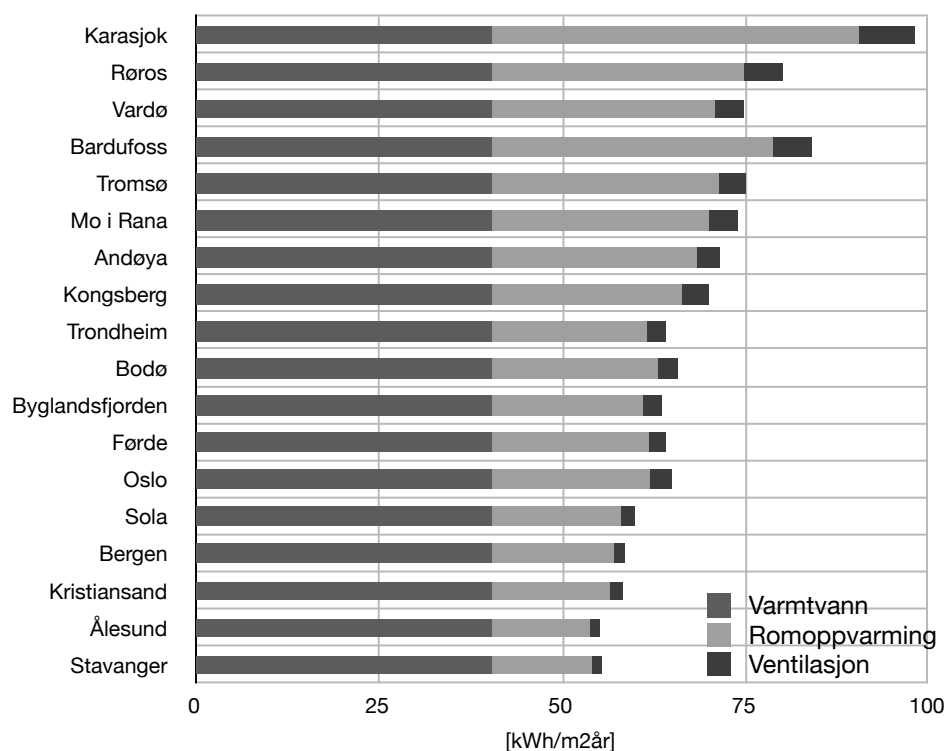
**Figur 18:** Spesifikt energibehov til varmtvann (25000 l vann per pers.), oppvarming og el.-spesifikt utstyr**Tabell 12:** Krav til netto oppvarming for passivhus i Oslo klima [kWh/m²år]

Boligstørrelse:	50 m ²	100 m ²	150 m ²	200 m ²
Energikrav:	25.8	23.1	20.4	17.7

Tabell 13: Andel energi til varmtvann av det totale varmebehovet

Husholdning på to personer	50 m ²	100 m ²	150 m ²
125 %	76%	63%	57%
100 %	71%	58%	51%
75 %	65%	51%	44%
Husholdning på fire personer	100 m ²	150 m ²	200 m ²
125 %	78%	72%	69%
100 %	74%	68%	64%
75 %	68%	61%	58%

Det er videre utført en sammenligning av de gitte forutsetninger for passivhus i ulike klima. Det er benyttet kunstig genererte klimadata og forutsatt bolig som tilfredsstillende passivhusstandard. Figur 19 viser en oversikt over fordelingen ved en husholdning på fire personer med et sparescenario for vannforbruket.



Figur 19: Fordeling av energibehovet til varmtvann, ventilasjon og romoppvarming for ulike klimadata. Det er forutsatt passivhus med gulvareal på 128 m², 80% varmegjenvinning og en husholdning på 4 personer.

Tabell 14: Fordeling mellom energi til varmtvann, ventilasjon og romoppvarming [kWh/m²år]

Stedsnavn	Varmtvann	Ventilasjon	Rom
Karasjok	36	50	7.6
Røros	36	34.5	5.3
Vardø	36	30.5	4.1
Bardufoss	36	38.5	5.2
Tromsø	36	31	3.8
Mo i Rana	36	29.8	4.1
Andøya	36	28	3.2
Kongsberg	36	25.9	3.7
Trondheim	36	21.3	2.
Bodø	36	22.8	2.6
Byglandsfjorden	36	20.7	2.7
Førde	36	21.4	2.4
Oslo	36	21.7	3
Sola	36	17.7	1.8
Bergen	36	16.7	1.7
Kristiansand	36	16.1	1.9
Ålesund	36	13.4	1.2
Stavanger	36	13.8	1.3

6 Varmegjenvinning av luft

I følge [Sintef/NTNU, 2007] vil det være mulig å oppnå virkningsgrader opp til 90 % for roterende varmegjennvinnere, men dette krever store dimensjoner i forhold til luftmengdene og vil være upraktisk i mindre boenheter og med tanke på økonomi i forhold til besparelse.

I det følgende kommer beskrivelse av varmegjenvinningens innflytelse på varmebehovet. Det er sett på generell besparelse og på eksempel med tap. Det er tatt utgangspunkt i veiledende grunnavtrekk for bolig med ett bad og ett kjøkken (se figur 38 s. 64).

6.1 Besparelser

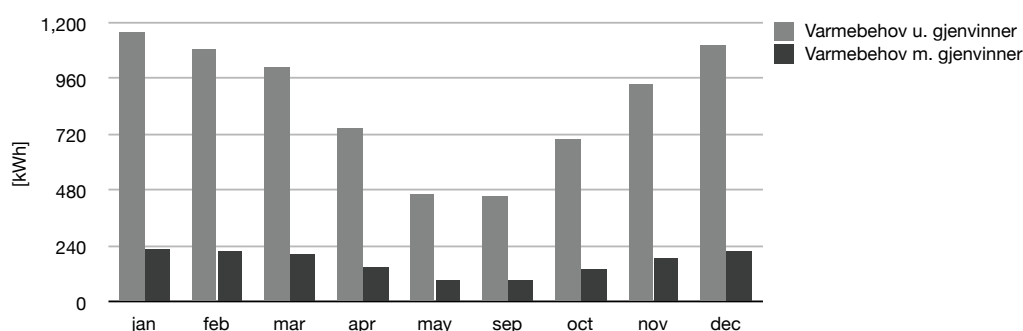
For å ta hensyn til redusert gjenvinningsbehov om sommeren er det i det følgende forenklete beregninger antatt at gjenvinneren ikke er i drift i de tre sommermånedene juni, juli og august. Det er da beregnet gjenvunnet varmemengde fra ventilasjonsluften ved en avtrekkstemperatur på 22 °C og en konstant virkningsgrad på 80 % (se tabell 20 s. 48).

Ved de gitte forhold vil det være en varmemengde på opptil 4 300 kWh netto tilført energi for balanserte luftmengder på 126 m³/h (minimum grunnavtrekk for boliger under 110 m²) og standard Oslo klima. For en bolig på 150 m² (180 m³/h) vil det tilsvarende tallet være over 6000 kWh (se figur 20). Dette tilsvarer en årlig spesifikk reduksjon på omtrent 40 kWh/m².

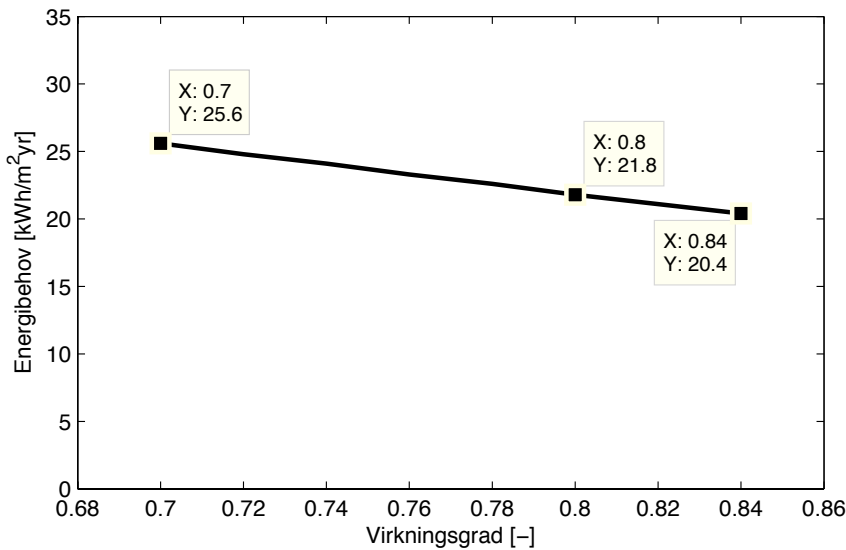
For sammenligningsgrunnlag er det utført månedsstasjonære energiberegninger som tar hensyn til byggets varmebalanse. En kompakt utformet bolig på 150 m², som tilfredsstillter komponentkravene og varmetapstallet til passivhus, vil ha et spesifikt netto oppvarmingsbehov på 55 kWh/m²år uten varmegjenvinning.

Ved varmegjenvinning med årsvirkningsgrad på 80 % vil det samme bygget ha et energibehov på om lag 21.8 kWh/m²år. Dette innebærer en differanse på 33.2 kWh/m²år eller omtrent 5000 kWh årlig. I figur 21 er det vist sammenheng mellom spesifikt energibehov og årsvirkningsgrad for bygget. Fra figuren kan man se en differanse på om lag 4 kWh/m² (600 kWh) for en økning fra 70 til 80 % i virkningsgrad i Oslo klima.

Da det er uvanlig å ha 0.5 luftskiftninger per time uten balansert ventilasjon, vil ikke dette være en realistisk besparelse. Varmepotensialet i avtrekksluften vil heller ikke bli utnyttet fullt ut på grunn av byggets varmebalanse og justering av virkningsgrad ved for høy tilluftstemperatur (utetemperatur over 6 °C).



Figur 20: Sammenligning mellom varmebehov til tilluft med og uten varmegjenvinner ($\eta = 0.8$).



Figur 21: Spesifikt energibehov og årsvirkningsgrad på varmegjenvinner.

6.2 Mulige tap

For å tilfredsstille offentlige krav til avtrekk er veiledende verdier for forsert luftmengde 30 l/s (108 m³/h) fra kjøkkenavtrekk [BE, 2007b]. På grunn av fare for forurensningsoverføring i roterende gjenvinnere vil dette vanligvis gå utenom varmegjenvinneren. Her følger en oversikt for å se hva dette innebærer for et årlig varmebehov.

Ved en utetemperatur på 6.3 °C (årsmiddeltemperatur for standard Oslo klima) og avtrekkstemperatur på 22 °C vil en bolig med balansert ventilasjon på 126 m³/h og temperaturvirkningsgrad på 80 % få en tilluftstemperatur på 19 °C. Ved en reduksjon i luftmengden på 108 m³/h vil den tilsvarende temperaturen være 8.1 °C ved samme virkningsgrad. Selv ved økning i virkningsgraden på grunn av økt nedkjøling av avtrekksluften, vil det maksimalt være mulig å oppnå en temperatur på 8.5 °C.

$$T = 0.8 \cdot (126) \text{ m}^3/\text{h} \cdot (22 - 6.3)^\circ\text{C} / 126 \text{ m}^3/\text{h} + 6.3^\circ\text{C} = 18.9^\circ\text{C}$$

$$T = 0.8 \cdot (126 - 108) \text{ m}^3/\text{h} \cdot (22 - 6.3)^\circ\text{C} / 126 \text{ m}^3/\text{h} + 6.3^\circ\text{C} = 8.1^\circ\text{C}$$

Dette gir en temperaturdifferanse på over 10 °C for luften etter gjenvinneren og et effekttap på rundt 0.4 kW med kjøkkenavtrekket i drift. Ved varighet på en halvtime vil det utgjøre omtrent 0.2 kWh i tapt energi.

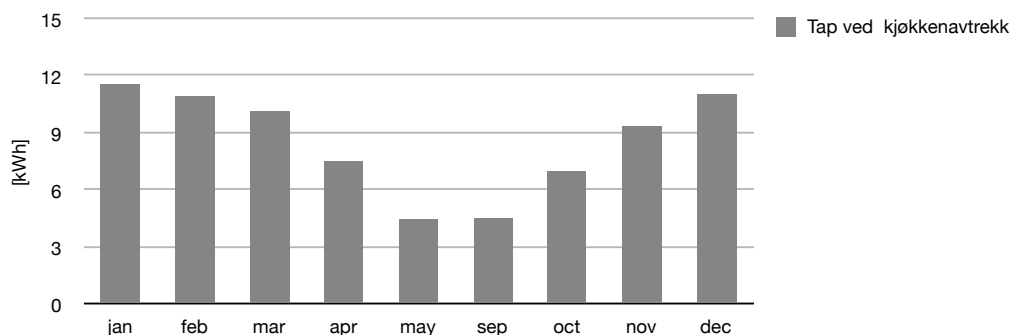
$$\dot{Q} = \dot{V} \rho c_p dT = 108 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1.2 \text{ kg/m}^3 \cdot 1.01 \text{ kJ/kgK} \cdot 10.8 \text{ K} = 0.4 \text{ kW}$$

Med daglig driftstid på en halvtime for kjøkkenavtrekket vil månedsmiddeltemperaturer for standard Oslo klima gi et beregnet varmetap på cirka 96 kWh årlig i perioden september til mai. Dette vil gjelde alle boligstørrelser for husholdninger med ett kjøkken. Boliger fra 50 til 250 m² vil altså ha et direkte tap tilsvarende 2 - 0.5 kWh/m² på grunn av kjøkkenavtrekk.

Om man trekker luftmengden som går til kjøkkenavtrekk fra grunnavtrekket vil dette kun gi en maksimal reduksjon på 77 kWh/år (96-80 %) i gjenvunnet varmemengde for boliger. På grunn av boligens varmebalanse og ønske om kontrollert tilluftstemperatur vil all denne varmen ikke være nyttbar slik at tapene sannsynligvis vil være lavere.

I figur 22 vises en oversikt over de potensielle månedlige tapene for en bolig med tilluftsmengder på 126 m³/h. Tapene tilsvarer en energimengde på 1.5 kWh/m²år for en bolig på 50 m² eller 0.8 for en bolig på

100 m².



Figur 22: Tap ved 0.5 h daglig drift av kjøkkenavtrekk på 108 m³/h for bolig med 126 m³/h balansert ventilasjon

Ifølge NS3031 er frostsikringstemperaturen -10 °C for roterende gjenvinnere. I standard Oslo klima vil dette ikke føre til signifikant reduksjon i årsvirkningsgrad. Mens for klima med mer ekstreme kuldeforhold og lengre varighet på kuldeperiodene vil det føre til en korrigeringsfaktor. Dette kan reduseres ved å føre luften under grunn før den går til gjenvinner [Nieminen *et al.*, 2008], men dette kan føre til fuktproblematikk ved temperaturovergang.

Virkningsgraden for en varmegjenvinner vil i tillegg til temperaturdifferansen mellom inne og ut være avhengig av varmegjenvinnerens generelle varmevekslingsevne, samt forholdstallet mellom de tilførte luftmengdene (som vist i del 2.3 s. 49).

For ubalanserte systemer med mindre avtrekksluft enn tilluft vil det sannsynligvis være en økt nedkjøling av avtrekksluften, men ved store ubalanser vil dette ikke kunne kompensere for mindre den mindre varmemengden ut. Undersøkelser av eksisterende anlegg for varmegjenvinnere [Lassen *et al.*, 2009; Schild *et al.*, 2008] har vist at det på grunn av dårlig innjustering og driftsforhold gir opptil 20 % avvik mellom dokumenterte og målte virkningsgrader. Ved riktig driftede anlegg yter varmegjenvinnerne som dokumentert.

Menneskelig påvirkning ved reduserte luftmengder på grunn av støy fra systemet vil også kunne påvirke den totale besparelsen [Mathisen, 2009].

7 Passivhusstandarden for nordiske forhold

Begge de undersøkte implementeringene av passivhusstandarden har spesifikk kravangivelse for energi- og effektbehov. Den svenske korrigerer for bygninger over og under 200 m², mens den finske har konstante energikrav uansett bygningsstørrelse.

Den svenske versjonen av har anslått et spesifikt energibehov til elektrisk utstyr på 5 kWh/m²år. Ved bruk av elektrisitet (energiformsfaktor på 2) til oppvarming vil dette innebære et netto krav til varmebehov på mellom 25 og 29 kWh/m²år (justert for klima). Ved tilsvarende bruk av bio eller fjernvarme vil dette kravet være 50 til 58, mens sol og vindenergi ikke blir inkludert i energibudsjettet og dermed gir rom for enda høyere oppvarmingsbehov.

For en familie på fire i en bolig på 150 m² vil netto behov for varmtvann ligge i området 30 kWh/m² ved de angitte svenske beregningsverdiene (18000 l/pers, dT = 55 K). Det betyr i praksis at man i stor grad må unngå elektrisitet til oppvarming for å nå standarden. Ved bruk av bioenergi eller fjernvarme vil kravet til tilført energi i den kaldeste regionen være rundt 30 kWh/m²år.

Med hensyn på effektbehov i den svenske versjonen, vil tidskonstantjusteringen for dimensjonerende utetemperatur, samt tilgodesette internlaster tilsvarende 4 W/m^2 , gi et dimensjonerende effektbehov på 18 W/m^2 for de kaldeste sonene. Dette tilsvarer et varmetapstall på $H = 18 / (20 - (-23.5)) = 0.42 \text{ W/m}^2\text{K}$ for Luleå.

I Finland er det satt krav til netto behov for oppvarming på $20\text{-}30 \text{ kWh/m}^2\text{år}$ etter lokalisering. Med det veiledende kravet til netto effektbehov på 10 W/m^2 korrigert for internlaster på 3.1 W/m^2 og tidskonstant gir dette krav om varmetapstall ned mot $0.35 \text{ W/m}^2\text{K}$ for de kaldeste regionene.

Del C

Vurdering

1 Oppvarmet bruksareal og tap av varmeeffekt

For å finne hvordan gulvareal påvirket bygningens energiytelse ble det gjennomført effekt- og energiberegninger for et sett ulike bygningsstørrelser. Det ble regnet på to modeller, ett med én etasje og ett med to. Begge modellene var boksformede med kvadratisk gulvareal.

Resultatene viste en sammenheng i energibehov med forholdstallet mellom ytterflate og gulvareal for en kurve som er omvendt proporsjonal med kvadratroten av gulvarealet. Dette er naturlig da varmetransport gjennom konstruksjonen fremdeles er den mest dominerende posten for varmetap. Dette er ikke en lineær sammenheng, kravene til spesifikt energibehov vil derfor bli klart strengest for små boliger, selv med den lineære korrigeringen

Både størrelsen på gulvarealet og utformingen av selve bygningskroppen påvirker dette forholdstallet. Bygninger over én etasje hadde derfor i alle de beregnede tilfeller strengere krav til bygningskomponentene enn bygget over to etasjer.

Med hensyn på kravene til energiytelse i passivhusstandarden, viser beregningene at for de fleste bygningsstørrelser er det kravene til netto oppvarming som blir de overordnede. For store boliger vil kravet til varmetapstall samsvare med kravet til energibehov noe som er naturlig da standarden er utformet for i størrelsesorden større bygninger enn norske frittliggende eneboliger.

2 Tilgang på klimadata for dynamiske energiberegninger

Ved vurdering av de genererte klimadata fra programmet Meteonorm ser det ut til å være en del avvikende tendenser. På grunn av interpolering mellom få målepunkter vil avsidesliggende steder, eller lokaliseringer som ligger nærmest målestasjoner i annen type klima få stor innflytelse.

DRY-data er brukt som grunnlag i programmet, det betyr at for de tre genererte datasettene som ble sammenlignet mot Norges designår i fra Bergen, Andøya og Oslo var det stor grad av samsvar for varighetskurve og dimensjonerende temperaturer.

De andre datasettene uten referanseår ble vurdert mot standardiserte gjennomsnittstemperaturer for perioden 1971-200. Disse samsvarte i stor grad for årsmiddeltemperaturer, men hadde markerte avvik for noen av lokaliseringene når det gjaldt tredøgns laveste vintertemperatur hvor de fleste viste en høyere temperatur enn den standardiserte. Selv med tanke på at klimaet skulle ha blitt varmere for de benyttede data til interpolering er avvikene så store at det ikke kan være hovedårsaken.

De største avvikene var fra steder med stor avstand til de benyttede stasjoner for interpolering. Oslo hadde en overraskende differanse da det som få lokasjoner hadde lavere dimensjonerende verdi for de kunstig genererte data. Dette kan muligens knyttes opp mot nær målestasjon som har markert lavere temperaturer.

For bruk av de genererte datasettene i dynamiske energiberegninger innebærer de høyere dimensjonerende vintertemperaturene at det ikke regnes riktig for effektbehov ved lave ekstremer. Så selv med lik årsmiddeltemperatur vil det beregnede årlige energibehovet bli underestimert.

3 Klimatilpassede beregninger

De gjeldende byggeregler i Norge angir energikrav ut i fra et standard Osloklima. Andre land med nordisk kaldt klima, som Sverige og Finland, bruker klimasoner for å differensiere de tilsvarende kravene i de offentlige byggereglene, og for de lokale tilpasningene av passivhusstandarden.

I NS3700 er energikravene korrigert for årsmiddeltemperatur og det er lagt opp til bruk av lokale klimadata for energiberegningene. Beregningene utført i dette arbeidet viser at den manglende korrelasjonen mellom årsmiddeltemperatur og temperaturvarighet gir varierende utslag for ulike steder.

Den lineære korrigeringen etter årsmiddeltemperatur gir rom for at det er praktisk mulig å oppnå passivstandard for en frittliggende liten bolig i kaldt klima. Det var faktisk så stor korrelasjon for den lineære tilnærmingen at majoriteten av de benyttede klimadata ga passivhus for en bygningskropp som tilfredsstilte standard Osloklimate.

Videre fører det faktum at standarden har satt krav til maksimum varmetapstall og ikke effektbehov, samt at energikravene er korrigert for årsmiddeltemperatur, til at effektbehovet vil variere svært mye for ulike steder i landet selv ved godkjente krav til oppvarmingsbehov.

Om målet for passivhusstandard er en forenkling av varmesystemet kan det vurderes slik at det hadde vært mer formålstjenlig å sette krav til effektbehov enn bruk av klimakorrigerede energikrav.

På grunn av fremdeles manglende benchmark for de genererte data hadde det muligens også vært mer gunstig å beregne energibehov etter det standardiserte Osloklimate eller tilsvarende istedenfor de lokalt baserte data som kan gi overraskende utfall. Det kan allikevel tenkes at de lokale klimadata kan være fullt brukbare for parameterstudier på innelimate og ved planlegging og tilpassing av bygningskroppen for lokale forhold.

4 Varmtvannets andel av varmebehovet

I de gjennomførte beregninger av ulike scenarier for varmtvannsforbruk er det sett på hvordan det spesifikke energibehovet endrer seg for husholdninger med forskjellig personbelastning og bruksareal.

Det kan vurderes slik at varmebehovet til varmtvann vil være det dominerende energibehovet for en enebolig av passivhusstandard. Selv ved en markert reduksjon i vannbehovet vil det utgjøre om lag halvparten for de aller fleste tilfellene undersøkt.

Beregninger av oppvarmingsbehov til rom og ventilasjonsluft ved tilfredsstilte energikrav for ulike klima viste at ved et tilfelle med angitt 18 000 liter varmtvann per person, i en husholdning på 128 m² med fire personer vil varmemengden til varmtvann fremdeles utgjøre 40 % i svært kalde klima, mens for mildere klima langs sørvestkysten vil varmtvannet tilsvare 70 %.

Dette kan gi indikasjoner på mulig behov for varmeeffekt selv med redusert boligoppvarming. Det andelsmessige høye varmtvannsbehovet vil muligens gjøre vannbårne varmesystemer som både håndterer vannoppvarming, ventilasjon og eventuelt romoppvarmingsbehov mer gunstig. Dette er varmesystemer som kan gi gode muligheter for stordriftsfordeler og forenklinger, noe som er noe av grunnlaget for å investere så mye ressurser i bygningskroppen.

5 Varmegjenvinning av luft

Beregningene utført for varmegjenvinning av luft ga et bilde på hvor stor del av energikravet som kan dekkes inn med høyeffektiv varmegjenvinning. Den store avhengigheten av systemer som fungerer slik de skal gjør at denne delen av energibesparelsen kan bli høyst usikker.

Allikevel viser de forenklete beregninger av tap på grunn av kjøkkenavtrekk at dette ikke vil være den største usikkerheten for årsvirkningsgraden og utgjør anslagsvis kun få prosent i tap.

For kaldere klima vil energi spart på grunn av varmegjenvinning bli redusert på grunn av frostsikring, dette

kan beregnes for årsvirkningsgraden. Det er ikke utført nærmere gjennomgang av fenomenet her, men det antas at for kalde klima i innlandet og høyfjellet vil dette gi utslag på den årlige energibesparelsen.

Det som sannsynligvis er den største usikkerheten rundt faktisk årsvirkningsgrad er systemets oppsett og innjustering hvor det er dokumentert opptil 20 % avvik fra dokumenterte verdier. Det krever forståelse for de ulike trykkforhold og overføringer for å få et riktig driftet system. Riktig oppsatte system ser i stor grad ut til å fungere etter dokumentasjonen.

En kan derfor anta at et minimumskrav om årsvirkningsgrad på 80 % kan føre til en større differanse mellom teoretisk og virkelig energiytelse, men at det allikevel kan forebygges ved nøyere oppsett og kontroll av de gjeldende systemene.

6 Passivhusstandarden

De to undersøkte nordiske passivhusstandardene har videreført krav til spesifikk energiytelse har de også opprettholdt fordelingen til fordel for større bygninger. Dette kan være fordi man fokuserer på blokkbebyggelse og andre flerbostader på grunn av at dette også gir andre stordriftsfordeler for fremtidig bebyggelse.

Som de undersøkte eksempler i del B 7 viste, har den svenske standarden rom for økning i energibehov ved substituering av energikilder. Den har også mulighet for å hensynta vannbesparende installasjoner og energieffektivt utstyr slik at det kan foregå en omfordeling mellom postene i energibudsjettet.

De undersøkte nordiske standardene krever med sine krav svært høy energiytelse fra alle bygningskomponentene, blant annet graden av varmegjenvinning fra luft vil være krevende å opprettholde i kalde klima, men da det ikke er satt noe krav til komponentene kan dette bli tatt hensyn til ved omfordeling blant varmetapspostene. Sverige og Finland har altså tilsvarende kalde klima som i Norge, men ser ut til å ha strengere krav til oppvarmingsbehov enn Norge.

For den norske standarden med sitt høye krav til varmegjenvinning vil det muligens også være vanskelig å oppnå høy nok grad av varmegjenvinning i kalde klima. De detaljerte komponentkravene kan muligens medføre større utfordringer enn nødvendig for å oppnå passivytelse.

Del D

Konklusjon

For små bygninger vil det være vanskeligere å oppnå lav spesifikk energiytelse på grunn av stor overflate i forhold til gulvareal. Den lineære arealjusteringen av passivhuskravene gjør det derfor praktisk mulig å oppnå standarden også for små bygg.

For timebaserte klimadata generert ved interpolering vil det i stor grad kunne oppstå avvik fra de lokale forhold. Spesielt med tanke på temperaturekstremere vil dette være faktorer som har stor innflytelse på en bygnings beregnede energiytelse. Klimatilpassede beregninger for kontrollberegning mot krav kan derfor gi noe avvik fra faktisk ytelse på det angitte sted bygget skal lokaliseres. Det er allikevel vanskelig å dokumentere i hvor stor grad dette skjer på grunn av manglende referansedata.

For de utførte beregninger viser de temperaturkorrigerede kravene til netto oppvarming at det er mulig å oppnå passivhusstandard også i svært kalde klima i Norge. Beregningene viser faktisk at det i stor grad vil være mulig å oppnå standarden med en bygningskropp som tilfredsstillter Oslo klima.

Beregningene på de ulike forbruksscenarioene for varmtvann ga et pekepinn på varmvannets innflytelse på varmebehovet i passivhus. For alle tilfellene undersøkt lå det andelsvis på minimum halvparten av det totale behovet. I milde klima er det beregnet å utgjøre 70 % av det totale behovet, og for svært kalde klima er det fremdeles om lag 40 %. Valg av varmesystemer som kan kombinere oppvarming av det totale varmebehovet vil derfor være fordelaktig. Spesielt i et bygg hvor det er rom for forenklinger.

Varmegjenvinning fra ventilasjonsluft utgjør en svært stor del av besparelsen for å oppnå passivhuskrav. Virkningsgraden vil kunne påvirkes av utallige forhold. I denne oppgaven konkluderes det allikevel med at riktig innjustering og drift er det viktigste virkemiddel for å oppnå dokumentert ytelse.

Overordnet sett er standarden svært detaljfokusert med tanke på komponenter, men sammenlignet med den opprinnelige utgaven og versjonene i Finland og Sverige er den allikevel mindre rigid på kravene til beregnet oppvarmingsbehov. Da det heller ikke er noe krav til dimensjonerende effektbehov for det lokale klima varierer energiytelsen mye. Når det i tillegg ikke er satt noe krav på totalt energibehov for den norske standarden (utover de norske byggereglene), kun en maksimal andel fossil/el, vil det kunne bygges boliger etter den norske passivhusstandard som er svært langt fra det opprinnelige passivhusbegrepet.

Del E

Videre arbeid

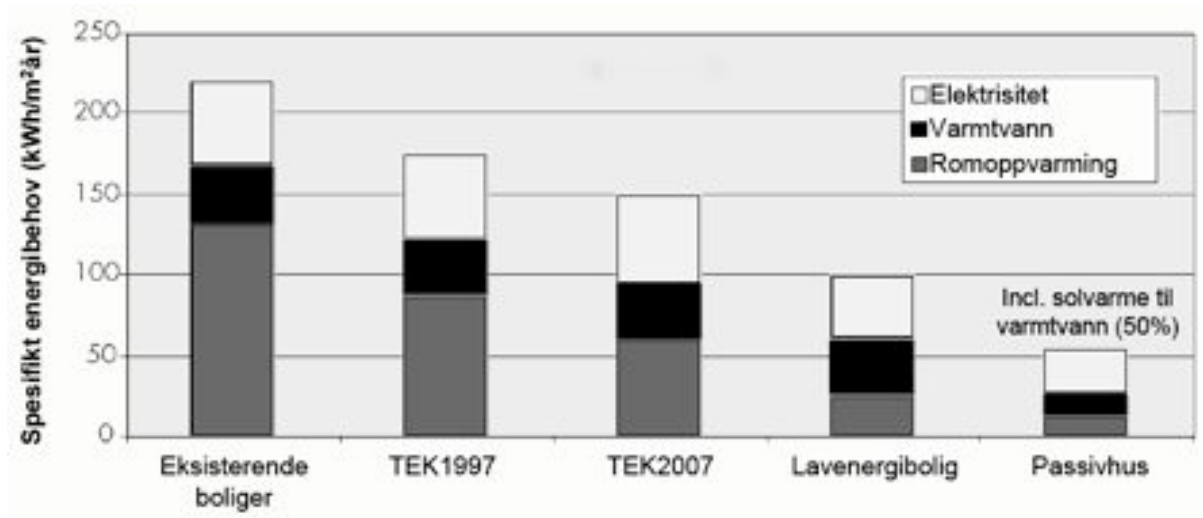
Anbefalt videre arbeid for standarden er blant annet:

- Større undersøkelser på samsvaret mellom beregnet oppvarmingsbehov og faktisk energibruk ved ferdig bygg.
- Vurdere om klimatilpassede beregninger gir for mange usikkerhetsmomenter til å dokumentere energiytelse og om de faktisk tilfører ekstra handlingsrom for bygg i ulike klima.
- Vurdere om varmtvannets innflytelse på energibruken i større grad bør hensyntas ved planlegging av oppvarmingssystem.
- En mer nøye kartlegging av mulig varmegjenvinning i kalde klima bør gjennomføres for å se hva som er gjennomførbare krav for virkningsgrad.

Del F

Vedlegg

1 Energiposter



Figur 23: Scenario for utvikling av norske boligers varmebehov [Stene, 2009]

Man kan grovt sett gruppere bygningers energibehov i varmebehov, kjølebehov og el.-spesifikt energibehov, som igjen kan deles inn i ulike energiposter. I norske boliger er det ikke vanlig med mekanisk kjøling. (Figur 23 viser et eksempel på energibehov etter ulike byggestandard.)

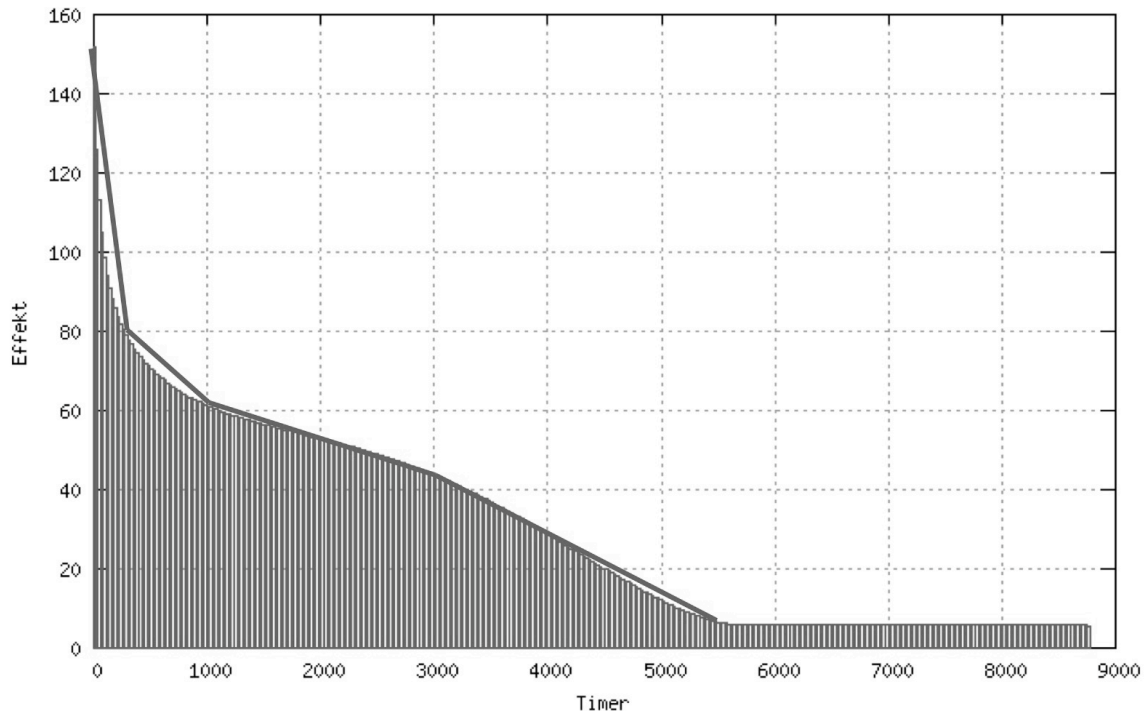
Varmebehov Romoppvarming, ventilasjonsvarme, varmtvann

Kjølebehov Romkjøling, ventilasjonskjøling

El.-spesifikt Belysning, teknisk utstyr, vifter og pumper

Det totale energibehovet er gitt av effektbehovet for hver av postene over driftstiden. For en gitt effektfordeling vil man altså kunne finne energibehovet som integralet av effektbruk over tid.

I figur 24 kan man se en effektvarighetskurve for varmebehovet til en bolig. Her ser man varigheten for effekttopper ved kalde vinterforhold, fordelingen utover året og grunnbehovet for varmtvann selv om det ikke er behov for romoppvarming.



Figur 24: Eksempel på effektvarighetsdiagram for varmebeholdning i bolig [Ulseth, 2008]

2 Varmebeholdning

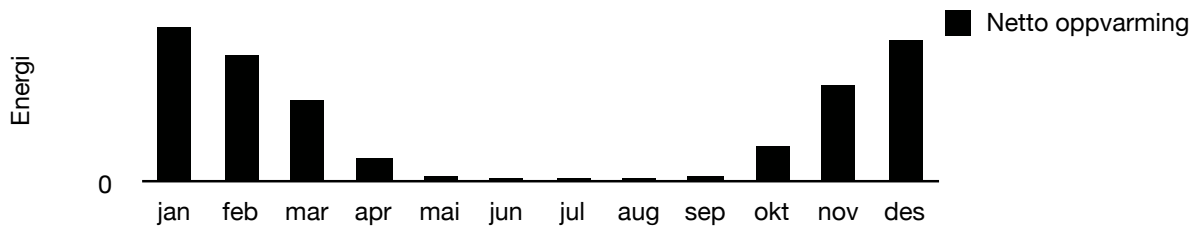
2.1 Oppvarmingsbeholdning

Oppholdsarealer må vanligvis ha tilførsel av varmeeffekt for å opprettholde ønsket innetemperatur. Varmeeffekten kan tilføres ved varmekilder i rommet eller ved forvarmet ventilasjonsluft.

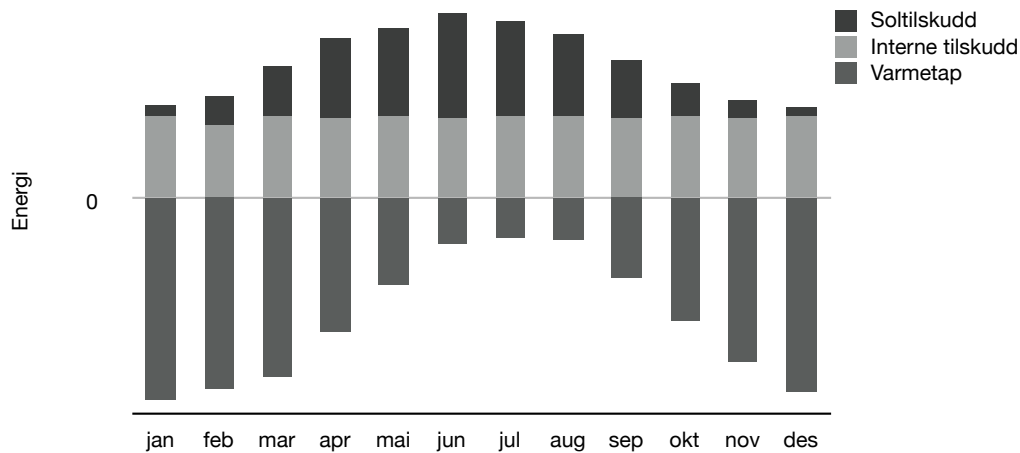
Netto oppvarmingsbeholdning (se figur 25 og tabell 15) for en bygning er gitt av varmebalansen. Det vil si balansen mellom nyttgjort varmetilskudd fra sol- og internlast og varmetapet til omgivelsene (se figur 26).

Tabell 15: Varmebalanse [Pronorm, 2007]

$\sum Q_{H,nd,i}$	$= \sum (Q_{H,ls,i} - \eta_H Q_{gn,i})$	Netto oppvarmingsbeholdning [kWh]
$Q_{H,ls,i}$		Varmetap i måned i [kWh]
$Q_{gn,i}$		Varmetilskudd i måned i [kWh]
η_H		Utnyttingsfaktor (avhenger bl.a. av bygningens varmetreghet)



Figur 25: Netto energibehov til oppvarming i en bolig fordelt over året.



Figur 26: Eksempel på fordeling av varmetap og varmetilskudd over et år i en bolig.

2.1.1 Varmetap

Varmetapet til et gitt bygg kan fordeles på tap gjennom bygningsflatene, i utettheter og ved avtrekksluft. Henholdsvis varmetransport ved transmisjon-, infiltrasjon- og ventilasjon. Disse avhenger av materialbruk, installasjon av varmegjenvinning, utførelse og håndverk [Sintef/NTNU, 2007].

Sammen med bygningens egenskaper for varmetransport og den termiske massen, varierer varmetapet med temperaturdifferansen mellom ute og inne og lokale vindforhold.

Tapet av varmeeffekt kan grovt sett beregnes som summen av produktene mellom bygningsdelenes varme-transportkoeffisienter for transmisjon, ventilasjon og infiltrasjon sammen med differansen mellom innetemperatur og utetemperaturen.

Tabell 16: Varmeeffekt

$\dot{Q} = H \cdot (T_i - T_u)$	Effektbehov [W]
H	Varmetransportkoeffisient for forskjellige bygningsdeler [W/K]
T_i	Innetemperatur [°C]
T_u	Utetemperatur [°C]

Transmisjonstap er gitt av varmegjennomgangen gjennom vegg, vindu, tak og gulv mot omgivelsene.

Varmetregnet i grunnen fører til en forskyving for gulvets varmetap over året. Varmegjennomgangskoeffisientene, H , til ytterflatene ganget med det aktuelle flatearealet, A , samt den økte varmetransport gjennom kuldebroer, $\psi \cdot l$, gir transmisjonstap over året.

Ventilasjonstap er den varmemengden som føres ut med luft som går til avtrekk. Det er proporsjonalt med temperaturvirkningsgraden, η , til varmegjenvinneren og mengden avtrekksluft, \dot{V} .

Infiltrasjonstap forekommer på grunn av utettheter i bygningskroppen. Det er proporsjonalt med volumet i bygget, V , og tetthetstallet for infiltrasjon, n_{inf} , som er gitt av tettheten og vindskjerming.

2.1.2 Varmetilskudd

Varmetilskudd, eller såkalt gratisvarme kommer fra bruken av elektrisitet, menneskelig tilstedeværelse og solinnstråling. Derfor vil et tomt bygg nattetid ha et annet behov for varmeeffekt enn et med full aktivitet på dagen.

Mennesker avgir en varmeeffekt på rundt regnet 100 W per person, mens teknisk utstyr i bruk vil i perioder avgi alt fra noen få watt til flere kilowatt. Ved beregning med interne varmetilskudd angis det vanligvis midlede verdier for drift og utenfor driftstid som er proporsjonale med gulvarealet.

Tabell 17: Varmetilskudd fra sol

$Q_s =$	$Q_a \cdot S \cdot A_g \cdot a$	Energitilskudd fra solstråling inne i et rom [kWh]
	Q_a	strålingsenergi på utsiden av vinduet (uskjernet flate) [kW/m ²]
	S	sofaktorer for glasset
	A_g	vinduets glassareal [m ²]
	a	avskjermingsfaktor

2.1.3 Beregning av oppvarmingsbehov

Det finnes flere fremgangsmåter for å beregne bygningers energibehov til oppvarming. For enkle beregninger kan man basere seg på temperaturvarighetskurver og graddøgn sammen med varmetapstall og finne effektbehovet over året [Ulseth, 2008]. For en høyere tidsoppløsning kan man basere seg på månedsstasjonære beregninger eller mer detaljert; dynamiske energiberegningsprogrammer [Pronorm, 2007; ESRU, 2009; Dokka, 2009].

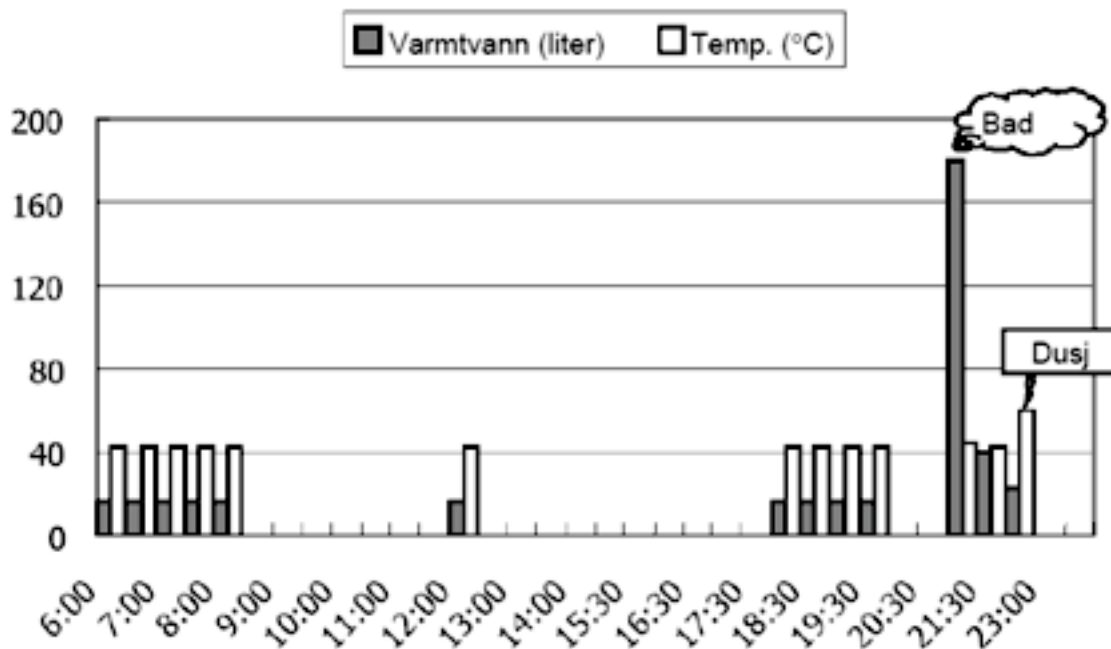
Ved månedsstasjonære beregninger regnes det med månedsmiddel for utetemperatur og solinnstråling i tillegg til grad av skjerming fra omgivelsene for den aktuelle lokaliseringen. For dynamiske simuleringer kreves det mer informasjon. Timesverdier for utetemperatur, vindretning, vindhastighet, diffus og direkte solinnstråling.

2.2 Varmerbehov til varmtvann

2.2.1 Forbruk av varmt vann

Forbruket av varmt vann til matlaging, vask og hygiene er ujevnt fordelt over døgnet (se figur 27). Varmerbehovet avhenger av temperaturkrav, tapperutiner og varmesystem.

I de fleste norske småhus er det lokal varmtvannsproduksjon ved hjelp av elektrisk oppvarming i varmtvannsbereder. I de senere år har også kombinasjon med varmepumpe eller solfanger blitt mer vanlig. I større blokker og i boliger tilknyttet fjernvarmenett er varmeproduksjonen sentralisert og oppvarmingen av tappevannet skjer vanligvis ved direkte varmeveksling i en lokal abonnentsentral.



Figur 27: Eksempel på varmtvannsforbruk i en enebolig [Stene, 2009]

Varming av forbruksvann fra kaldtvannstemperatur tilført bygget til et nivå som tilfredstiller komfort og helsekrav kan foregå ved direkte effektoverføring eller akkumulering.

For direkte effektoverføring kan effektbehovet beregnes ved en varmebalanse der man angir vannstrøm og temperatur på kaldtvannet sammen med ønsket varmtvannstemperatur. Ved akkumulering kan effektbehovet midles ved energibehov til varmtvann over en periode. For eneboliger er det anslått et effektbehov på under 10 % for beredere i størrelsesorden 120 til 300 liter i forhold til direkte system [Stene, 2009].

Tabell 18: Direkte effektbehov

$\dot{Q} = \dot{m}c_p(T_v - T_k)$ Effektbehov [kW]	
\dot{m}	massestrømmen [kg/s]
c_p	Vannets varmekapasitet [kJ/kgK]
T_k	Kaldtvannstemperatur [°C]
T_v	Varmtvannstemperatur [°C]

Tabell 19: Effektbehov ved akkumulering

$\dot{Q} = Q/t$	Effektbehov [kW]
Q	Varmebehov til varmtvann [kWh]
t	tidsperiode [h]

2.2.2 Varmetap

Energibehov til varmtvann er i tillegg til forbruk knyttet til produksjonsmåte og tap fra distribusjonssystemet [Skjønhaug, 2004], i tillegg går størstedelen av varmemengden rett til sluk etter bruk.

Tradisjonelle norske varmtvannsberedere er isolert med mineralull. Ifølge Byggforsk har en bereder på 200 liter et kontinuerlig varmetap på 130-140 watt når den er full [Skjønhaug, 2004]. Dette gir et årlig tap i størrelsesorden 1200 kWh.

Om man setter systemgrensen rundt husholdningen vil direkte varmeveksling fra sentralt distribusjonsnett ikke gi noe varmetap på grunn av akkumulering, men rørsystemets isolering vil virke inn, spesielt ved lengre rørstrekk i boligblokker og ved bruk av sirkulasjonsrør.

2.3 Varmegjenvinning fra luft

2.3.1 Prinsipper

Oppvarmet inneluft vil ha en økt varmemengde i forhold til uteluften (se tabell 20). Varmegjenvinning fra avtrekksluft kan foregå på flere måter. Ved avtrekksventilasjon kan en varmepumpe plassert i avtrekket være en løsning. Den kan brukes både til oppvarming av tappevann og oppvarming.

Mens det for balansert ventilasjon vil kunne være direkte blanding med tilluft (omluft) eller varmeoverføring i en varmeveksler. Omluft er ikke anbefalt på grunn av tilbakeførsel av forurensinger.

Tabell 20: Varmepotensial i inneluft

$\dot{Q} = \dot{V}\rho c_p(T_a - T_u)$	Effektbehov [kW]
\dot{V}	volumstrømmen [m^3/s]
ρ	tetthet [kg/m^3]
c_p	Luftens varmekapasitet [kJ/kgK]
T_a	Avtrekkstemperatur [$^{\circ}C$]
T_u	Utetemperatur [$^{\circ}C$]

2.3.2 Varmevekslere

Det finnes to hovedtyper varmegjennvinnere ved varmeveksler i dag, regenerative og rekuperative. Rekuperative gjennvinnere overfører varmen indirekte gjennom flater og væsker, mens regenerative vekselvis bringer flater i kontakt med den kalde og varme luften. Rekuperative er sikrere mot overføring av forurensninger,

men blant annet på grunn av frostsikring har de en lavere årsvirkningsgrad enn regenerative gjenvinnere [Sintef/NTNU, 2007].

En regenerativ gjenvinner av den roterende typen kan oppnå virkningsgrad opp mot 90 % for små luftmengder, men for å unngå store dimensjoner blir det anbefalt gjenvinnere som gir mellom 70 - 80 % for boligventilasjon.

Roterende gjenvinnere blir regulert ved å la luften gå utenom, periodisk drift eller turtallsregulering. Det gunstigste turtallet er rundt 10 omdreininger per minutt [Sintef/NTNU, 2007].

2.3.3 Beregning av virkningsgrad

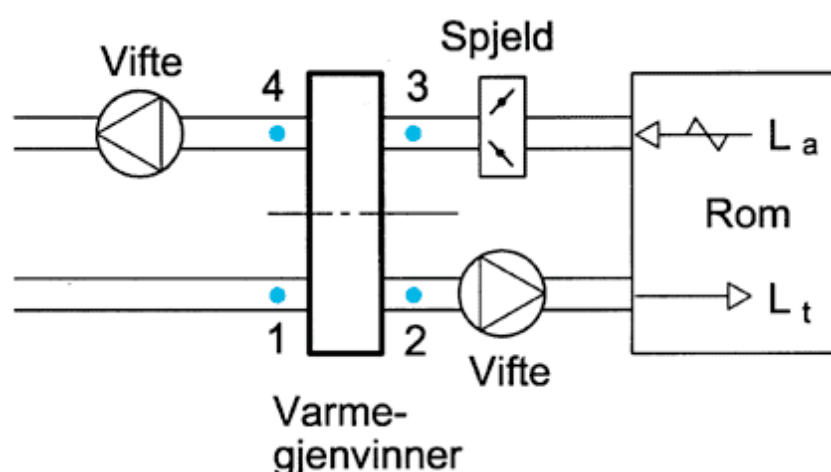
For varmeoverføring ved varmeveksler er det flere måter å beregne effektiviteten på. Det skilles mellom virkningsgrader for temperatur, entalpi og fukt. I det videre skal vi fokusere på temperaturvirkningsgraden som er den det stilles krav til i TEK og NS3700.

I Sintef Byggforsk byggdetaljblad om varmegjenvinnere velger de å omtale denne virkningsgraden som varmegjenvinningsgrad og skiller mellom ulike systemgrenser og forskjellige tidsintervaller [Schild and Hestad, 2002].

Momentan virkningsgrad: Den momentane virkningsgraden for selve varmeveksleren uten korreksjon for omluft og lekkasjer kalles vekslersens virkningsgrad. Den måles tradisjonelt med hensyn på tilluften og er det som vanligvis oppgis i dokumentasjon (se figur 28).

Tabell 21: Momentan virkningsgrad

$\eta_t = \frac{L_t(T_2 - T_1)}{L_{min}(T_3 - T_1)}$	Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad [-]
L_t	tilluftsmengde [m^3/h]
L_{min}	Minste av tilluft- og avtrekksmengde [m^3/h]
T	Tørrkuletemperatur [$^{\circ}C$]



Figur 28: Luftstrøm og temperaturer for beregning av momentan temperaturvirkningsgrad. [Schild and Hestad, 2002]

Varmevirkningsgrad: Den momentane virkningsgraden korrigert for systemtap ved gitt luftmengde, utetemperatur og innetemperatur gir aggregatets varmevirkningsgrad. Den inkluderer også varmetilskudd fra eventuelle drivkomponenter i aggregatet.

$$\eta_v = \frac{T_a - T_{avk}}{T_a - T_u} \quad \text{Varmevekslerens temperaturvirkningsgrad [-]}$$

T_a	Avtrekkstemperatur [°C]
T_{avk}	Avkasttemperatur [°C]
T_u	Utetemperatur [°C]

Årsvirkningsgrad: Som et mål for spart energi per år, i forhold til energibehovet til luftoppvarming uten gjenvinner, bruker man begrepet årsvirkningsgrad.

Denne avhenger av luftmengde, utetemperatur, fyringssesongens lengde, innetemperaturen og luftfuktigheten. For balanserte systemer med regenerative gjenvinnere er årsvirkningsgraden vanligvis lik den momentane, mens for rekuperative vil det være en reduksjon på grunn av frostsikring.

Det er denne virkningsgraden som brukes ved dokumentasjon mot byggereglene, såkalt årsmidlere temperaturvirkningsgrad [BE, 2007a].

Ved kalde utetemperaturen risikerer det frysing i varmegjenvinnere. Spesielt ved adskilte luftstrømmer vil den kalde luften kjøle ned overflaten slik at det blir rim og risiko for frostskafer. For å kompensere for dette blir det blant annet kjørt med reduserte luftmengder eller varmeelementer.

Dette har en effekt på ved redusert besparelse i total energibruk. NS3031 har et medberegnet tap for frostsikring som kan beregnes for hver måned. Dette tillegges det totale energibudsjettet.

Ved beregning av årsvirkningsgrad skal det også tas hensyn til energibehovet brukt til avising. For beregning mot offentlige energikrav er det oppgitt korrigerede virkningsgrader for Oslo klima for ulike gjenvinnere ut i fra nivået på frostsikringstemperaturen.

Roterende varmegjenvinner, som er den vanligste høyeffektive gjenvinner som benyttes, er oppgitt å ha en typisk frostsikringstemperatur på -10 °C og vil ifølge standarden ikke ha noe signifikant tap for frostsikring ved standard Oslo klima. Ved kaldere klima vil årsvirkningsgraden være lavere, mens for mildere klima vil den være høyere.

2.3.4 Ubalansert ventilasjon

Ved lekkasjer eller trykkforskjeller vil det oppstå ubalanse i luftmengdene gjennom aggregatet selv om det i teorien skal være balansert ventilasjon. Roterende varmegjenvinner er spesielt utsatt på grunn av renblåsningssektoren.

Lekkasjer fra avtrekk til tilluft kan gi forurensings- og energimessige effekter på ventilasjonen. Studier har vist en reduksjon i virkningsgrad på opptil 20 % av hva som er dokumentert [Lassen *et al.*, 2009][Schild *et al.*, 2008]. Dette er hovedsakelig knyttet til feil oppsett av systemet. Studiene har også vist at ved korrekt installasjon vil gjenvinnere ha lekkasjer under 5 %. Korrekt monterte anlegg vil i stor grad yte den oppgitte virkningsgraden fra produsent.

2.4 Varmegjenvinning fra vann

Varmt forbruksvann går i de fleste husholdninger rett til sluk med store varmemengder. Muligheten til å varmeveksle noe av denne energien over til forvarming av varmtvann eller tilsvarende er i dag teknologisk

mulig. Det finnes produkter på markedet som gjenvinner varme fra avløpsvann, men dette har fremdeles en del praktiske utfordringer i boligenheter på grunn av problemer med tiltetting og smuss.

3 Kjølebehov

Kjølebehov er resultat av varmeoverskudd, vanligvis fra soltilskudd og høye utetemperaturer, men også ved høye internlaste og dårlig varmeregulering.

Man kan kjøle ved å skape naturlig gjennomtrekk eller plassere mekaniske kjølemaskiner lokalt. I tillegg gir balansert ventilasjon muligheten for fjerning av varmeoverskudd med ventilasjonsluft. Dette innebærer at tilluften må kunne tilføres i tilstrekkelige mengder og med lavere temperatur enn inne. Høye utetemperaturer eller solutsatt luftinntak kan føre til uønsket varme inn i boligen. Kjøling av tilluft kan eksempelvis skje ved lufttilførsel gjennom kulvert eller kjølemaskin.

Solskjerming og vinduslufting har til nå vært de vanligste tiltakene for å unngå ubehagelige overtemperaturer i norske boliger. Det har ikke vært vanlig med mekanisk kjøling, men i de senere årene har allikevel luft-til-luft-varmepumper gitt større tilgang på lokal luftkjøling.

De nye byggereglene med krav om 70 % varmegjenvinning av ventilasjonsluften gjør at de fleste nybygg vil bli installert med balansert ventilasjon og muligheten til å fjerne varmeoverskudd ved luftskifte. For å tilfredsstille energitiltakene i TEK [BE, 2007a] er det ikke lov å installere lokal kjøling.

4 El.-spesifikt energibehov

El.-spesifikt energiforbruk er de postene som per i dag ikke kan substitueres av andre energityper. Dette inkluderer energi til belysning, kjøkkenutstyr, vaskemaskiner, datamaskiner og lignende, vifter og pumper for ventilering og oppvarming.

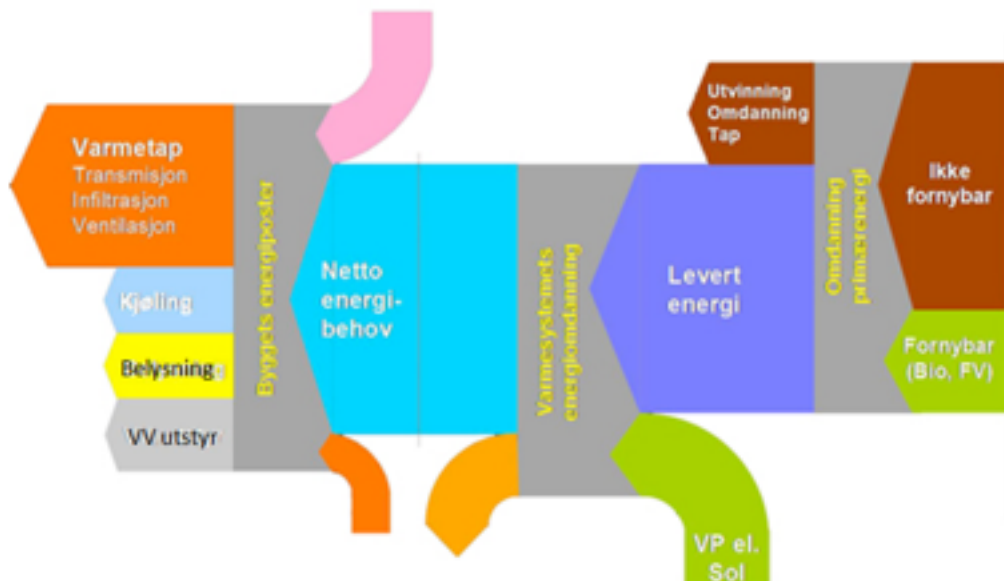
Energibehovet til det el.-spesifikke utstyret varierer med energieffektiviteten og bruken. Man har hatt en stor økning i bruk av elektrisk utstyr de senere år. I dag er det en egen merkeordning for energiytelsen til teknisk utstyr og det stilles blant annet krav til maksimal spesifikk vifteeffekt for ventilasjonsanlegg slik at man må ta hensyn til dette ved utforming av ventilasjonssystemet.

5 Total ressursbelastning

5.1 Systemgrenser for energibruk

Avhengig av hvor man setter systemgrensen vil det være forskjellige mengdebegreper for all energibruk. Ved omtale av bygningers energiforbruk snakkes det vanligvis om levert energi. Det vil si antall kilowattimer angitt på strømgregningen, antall liter olje kjøpt eller hvor mange fang med ved man har brukt i løp av en fyringssesong.

Til sammenligning er netto energibehov den energien man får levert som faktisk blir nyttegjort og ikke forsvinner ut pipa eller liknende. Det totale forbruket av primærenergi for å dekke dette sluttbehovet inkluderer, i tillegg til den leverte mengden, alle tap som finner sted fra utvinning til husvegg.



Figur 29: Flyttdiagram for energi til bygg [Byggenergidirektivet.no, 2009]

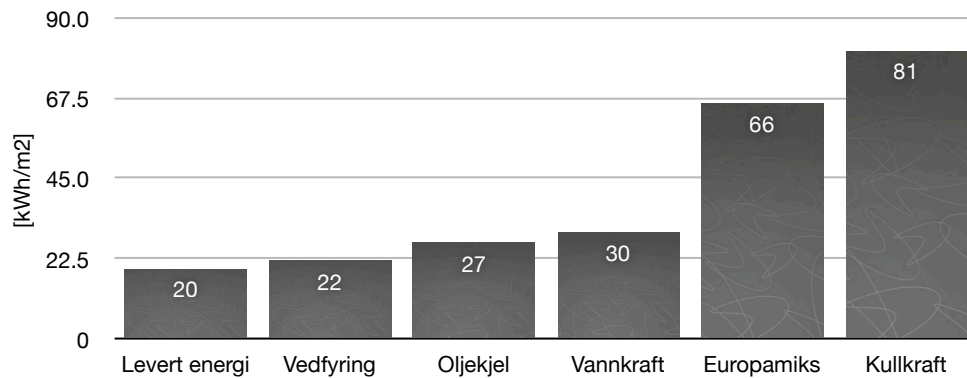
Primærenergi er den totale energimengden som forbrukes for å dekke levert energibehov minus tap ved utvinning, omdanning og transport.

Levert energi blir gjerne sammenlignet med kjøpt energimengde tilført huset. Dekker netto energibehov minus systemtap sammen med eventuell varmeenergi fra solfangere og varmepumper.

Netto energi er energimengden som må til for å dekke byggets energiposter etter at varmetilskudd fra sol og internlast er trukket fra.

5.2 Energiforsyning

Total energibruk vil med ovennevnte tankegang være svært avhengig av valgt energiforsyning. Et bygg med et levert oppvarmingsbehov på 20 kWh/m² vil bruke 21.8 ved vedfyring, 27 ved oljekjel, eller ved elektrisk oppvarming henholdsvis 30, 66.2 eller 81 kWh/m² ved vannkraft, kullkraft, eller den europeiske kraftmiksen (se figur 30).



Figur 30: Forbruk av primærenergi ved forskjellige energikilder [Pronorm, 2008]

5.3 Ressursforbruk til materialer og tekniske systemer

Bygninger krever store mengder energi allerede før de er i drift. Fremstilling av materialer og teknisk utstyr, transport, og selve oppføringen krever alle sitt energibidrag. Det er en økende bevissthet rundt bygningens ressursforbruk i hele levetiden, og livsløpsanalyser ved planlegging og prosjektering kan være avgjørende for den totale energibesparelsen.

Et eksempel på dette er en svensk rapport som tar for seg ressursbelastningen til passivhus med hensyn på produksjon av materialer, valg av energikilde og varmedistribusjon, samt krav til energieffektivt elektrisk utstyr [Brunklaus *et al.*, 2009].

6 Energieffektivisering

Det finnes ulike fremgangsmåter for å redusere bygningers energibehov, men det grunnleggende faktum er at energibruk er effektbruk over driftstid. Dette betyr at en reduksjon i effektbehov eller driftstid for de forskjellige postene vil redusere energibruken.

I et energieffektiviseringsperspektiv anbefales følgende rekkefølge for den som skal bygge bygninger med lavt energibehov [Erlandsson and Lindholm, 2009]:

- 1) Optimalisering av bygningens energiytelse
- 2) Optimalisering av bygningen i en energisystemperspektiv

6.1 Optimalisere energiytelse

For varmebehovet kan man blant annet redusere varmetapet, utnytte soltilskudd, øke graden av varme-gjenvinning eller redusere forbruket av varmtvann. Bedre styring av varmesystemene, med regulering som tar høyde for transportforsinkelser og ikke jobber mot eventuelle kjølebehov, vil også være viktige faktorer, spesielt for større systemer. Videre kan oppvarmingsbehovet gi svært forskjellig forbruk av primærenergi ved ulike energikilder.

For å få en bygningskropp med minimalt varmetap, er man i tillegg til isolerende materialer avhengig av at bygget blir oppført på en gjennomtenkt måte. Gjennomført bruk av tetteprodukter og en bygningskonstruk-

sjon som minimerer forekomsten av kuldebroer vil begge deler gi store bidrag til varmekonservering. I tillegg vil en kompakt bygningskropp bidra til lavere varmetap

Med mål om redusering av varmebehov kan solen, selv på våre nordlige breddegrader, bidra med store varmetilskudd over året. Dette kan skje ved plassering og orientering av glassflater slik at man blant annet får inn den lave solen fra sør om vinteren.

Selv om det ikke blir gjennomgått i dette arbeidet, er det stor sannsynlighet for at overtemperaturer kan bli et større problem ved lavere varmetap. Plassering av glassareal, bruk av solskjerming og termisk masse er områder som bør tas i betraktning om man ikke ønsker boliger med økende avhengighet til mekanisk kjøling.

For å redusere det el.-spesifikke forbruket vil det på samme måte som for annen energibruk involvere lavere effektbehov og kortere brukstid. Dette kan være bruk av energieffektivt utstyr, tids- eller sensorstyring for oppholdsaktivering av belysning og vifter, samt utforming av bygning og klimatiseringssystemer på en slik måte at det minimerer bruken av elektrisk energi.

6.2 Optimalisere energisystemet

I et systemperspektiv vil det være ønskelig å velge en energiforsyning som gir et lavt forbruk av primærenergi. Dette kan gjøres ved å benytte et energifleksibelt system for varmedistribusjon samt en størst mulig andel fornybar energi.

Sentrale systemer for vannbåren eller luftbåren varme er eksempler på energifleksible løsninger. For energiforsyning til varmtvann har det de senere år blitt mer vanlig å kombinere elektrisk beredning med varmepumpe eller solfangersystem [Stene, 2009]. Et solfangersystem for bolig lokalisert i Norge dimensjoneres vanligvis for å kunne dekke 50 % av varmebehovet til varmtvann [Andresen, 2007].

I boliger med lavt varmebehov er man også interessert i å forenkle varmesystemet for å spare kostnader, og det er i de senere år blitt utarbeidet flere rapporter om varmeforsyning i lavenergibygg. (Se for eksempel [Andresen, 2009; Dokka and Amdahl, 2008]).

6.3 Energibruk og brukervalg

Bygningens klimasystem til oppvarming og klimatisering inkluderer hele bygningskroppen sammen med distribusjonssystemene for luft og varme. Brukernes krav til komfort og helse spiller inn på energibruken ved prioriteringer og valg av løsninger.

Viljen til å investere i energibesparende komponenter påvirkes av investeringskostnad i forhold til energikostnaden. Sammen med økonomi er komfortkravene vanligvis de mest synlige kriteriene ved valg og bruk av komponenter til klimasystemet. Et eksempel på dette er tendensen til at boliger som har installert varmepumpe ikke nødvendigvis reduserer energibruken så mye som effekt faktoren skulle tilsi, sannsynligvis på grunn av økte komfortkrav [SSB, 2008].

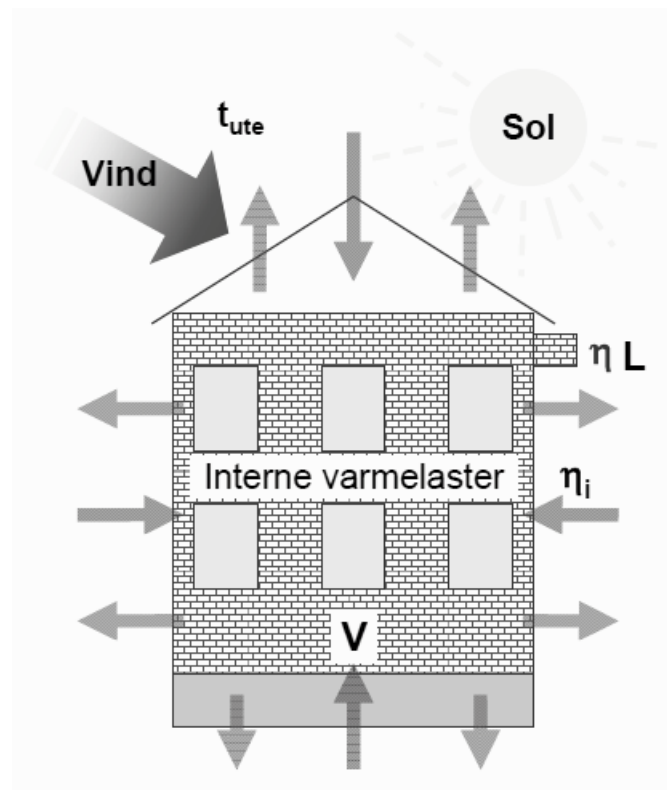
Med tanke på inneklima kan manglende tetting og varmeisolering, samt dårlig regulerte varmesystemer gi temperaturdifferanser og trekkforekomst som påvirker det termiske miljøet. For det atmosfæriske miljøet kan svidd støv fra høytemperatur varmekilder eller manglende luftskifte føre til skadelige konsentrasjoner av forurensninger. Brukere kan med vilje unngå å bruke klimatisering for eksempel på grunn av at støv fra vifter og tekniske installasjoner plager brukerne, eller de kan øke varmetapet ved å la avtrekk direkte til omgivelsene gå mer enn nødvendig.

For helse og komfort vil innetemperaturen være den mest følbare faktor. Termisk komfort favner et spekter hvor mennesker har veldig forskjellige preferanser og det er vist ved studier [Sintef/NTNU, 2007] at det alltid

vil være en andel misfornøyde. Dette gir differanser mellom krav om oppvarming for livsopphold, anbefalte temperaturer og personlig komforttemperatur.

7 Klima og energibehov

7.1 Værets påvirkning



Figur 31: Bygningers klimasystem [Stene, 2009]

Forskjellige klimaparametere påvirker effekt- og energibehovet. Temperatur kontra oppvarming og kjøling, vind kontra oppvarming, solstråling kontra kjøling og belysning, timer dagslys kontra belysning, og skydekke kontra oppvarmingsbehov. Det lokale klimaet varierer fra år til år og med dette også bygningens energibehov [Pedersen, 2007]. De varierende forholdene gjelder også for om bygningen er lokalisert i en fjellside eller dalbunn innenfor små geografiske avstander.

For dynamiske energiberegninger opererer man med årlige timesbaserte verdier for utetemperatur, vindhastighet og -retning, diffus og direkte solinnstråling, samt markreflektert stråling. Mens månedsstasjonære data bruker månedsmiddelverdier for temperatur og solinnstråling.

Som vist i tabell 16 (s. 16) vil temperaturdifferansen mellom inne og ute angi varmetransporten mellom bygningen og omgivelsene. For dynamiske beregninger gjelder dette på et timebasert nivå, mens stasjonære beregninger bruker månedsmiddelverdier.

Vindforholdene påvirker luftskifte i bygninger gjennom utettheter og ventilasjon.

Ved beregninger blir det angitt en lokal skjermingskoeffisient sammen med tetthetstallet for bygget. Dette blir

brukt for å beregne infiltrasjonstap ved månedsstasjonære beregninger i NS3031. For dynamiske beregninger tar man høyde for skiftende forhold ved at de angitte faktorene blir anvendt sammen med timesbaserte tall for retning og hastighet på vinden.

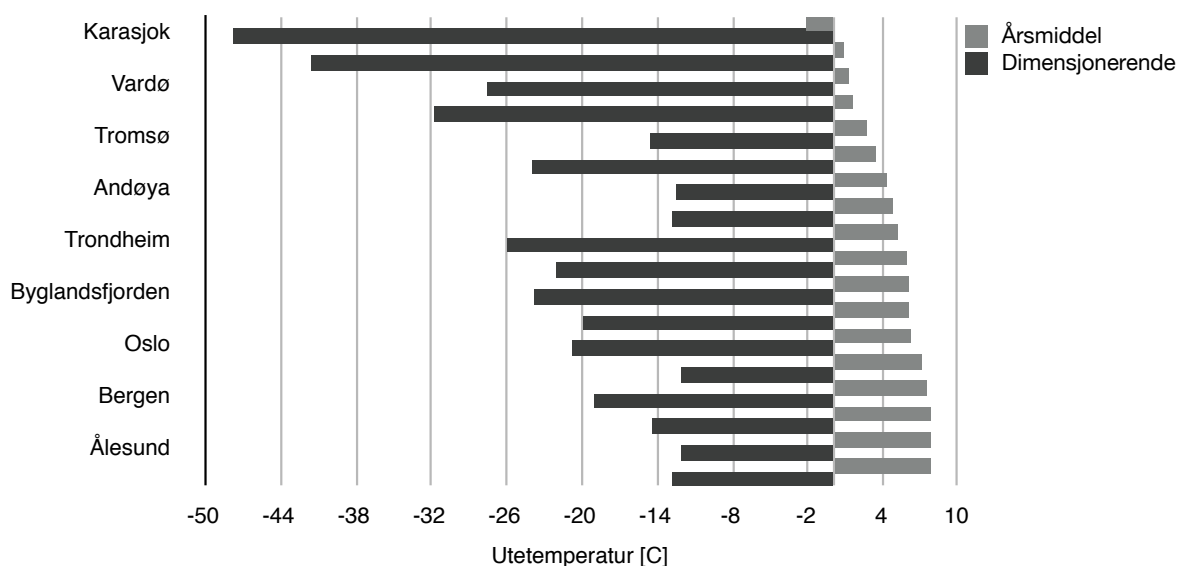
Solinnstråling vil som angitt i tabell 17 (s. 46) gi et varmetilskudd gjennom glassflater.

Varmeeffekten fra sol beregnes fra solhøyde, asimutvinkel, markrefleksjon og skygge fra horisont. Den totale innstrålingen mot en flate beregnes som summen av direkte, diffus og markreflektert stråling. Varmetilskudd inn i et bygg er sammen med innstrålingseffekten avhengig av avskjerming, orientering, størrelse og type glassflate.

7.2 Norges klimatiske forhold

I Norge er klimaet påvirket av den varme Golfstrømmen langs kysten som gir forholdsvis milde temperaturer i forhold til den nordlige lokaliseringen. Polarfronten skaper en vestlig luftstrøm som har spesielt stor innvirkning på kystområdene, mens innlandsstrøkene er mer påvirket av solinnstråling [Met.no, 2009].

Standardiserte årsmiddeltemperaturer i Norge er angitt som gjennomsnittet av årets døgnmiddeltemperaturer over en trettiårsperiode. Figur 32 gir eksempler på årsmiddeltemperatur og dimensjonerende tredøgns utetemperatur for perioden 1971-2000 [Kvande *et al.*, 2009].



Figur 32: Årsmiddel- og tredøgns dimensjonerende utetemperatur for ulike lokaliseringer i Norge [Kvande *et al.*, 2009]

Utetemperaturen varierer ut i fra årstid og lokalt klima. Dette kan vi se igjen fra figur 33a. I figur 33b har timeverdiene blitt sortert i stigende rekkefølge og viser varigheten for de ulike temperatuere.

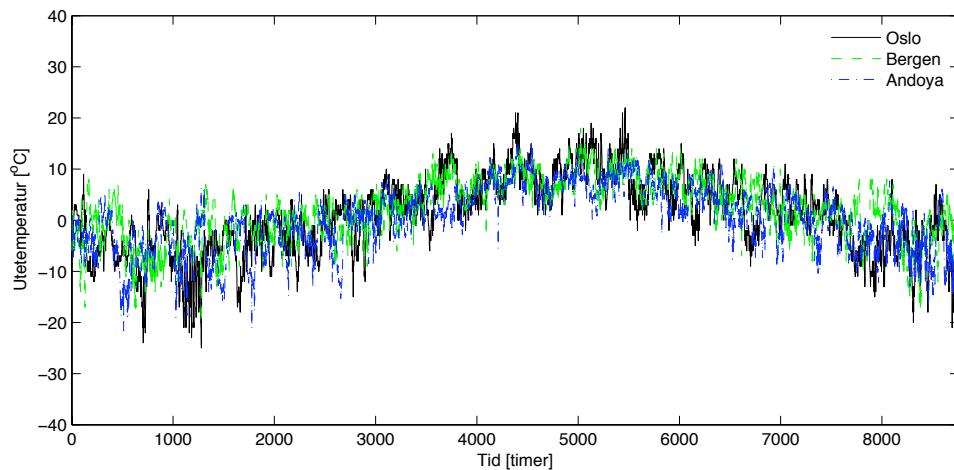
Fra figurene ser man at samme årsmiddeltemperatur kan ha svært forskjellige dimensjonerende temperaturer og varighetskurver ut i fra beliggenheten. I figur 33 kan man se hvordan kystklimaene i vest og nord ligger mer stabilt enn østlandsklimaet. Selv om Oslo og Bergen har liten forskjell på den årsmidlede temperaturen er topper og bunner for Oslo-klimaet mer markante enn for kurven med Bergensdata.

Det er anslått at nesten 3/4 av Norges nåværende og fremtidige bebyggelse er på steder med årsmiddel-

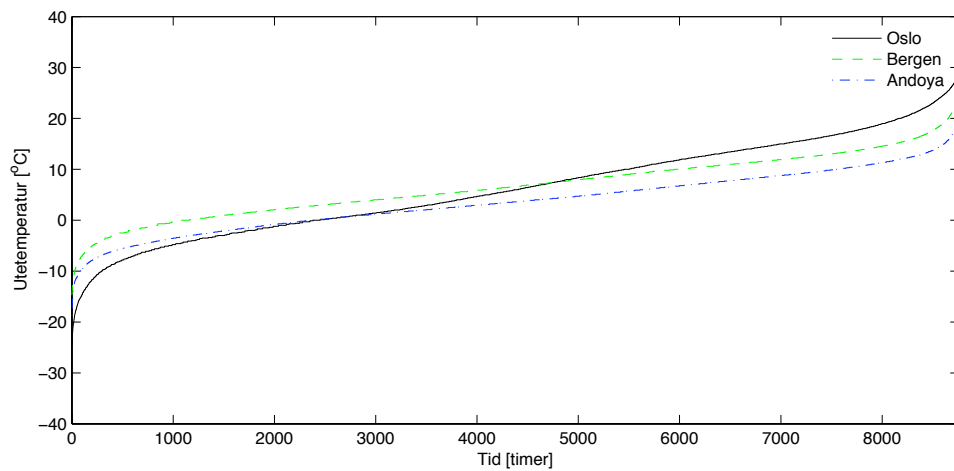
temperatur høyere enn årsmiddeltemperatur for normert Osloklima (6.3°C) [Lassen *et al.*, 2009]. For en grafisk oversikt over fordelingen av årsmiddeltemperaturer i Norge se figur 36 side 59.

I figur 34 kan man se varighetskurver som karakteriserer forskjellige lokaliseringer i Norge. For kode A refererer de øverste kurvene til varmt kystklima i den sørlige delen av landet. Disse har en forholdsvis svak helning og kort varighet for kalde temperaturer.

De lavere kurvene vil tilsvare utetemperatur i Finnmark med kaldere klima og større ekstremer. For kode B refererer de nederste kurvene til høyfjellsområder med kortvarige ekstremer for både sommer og vinter.

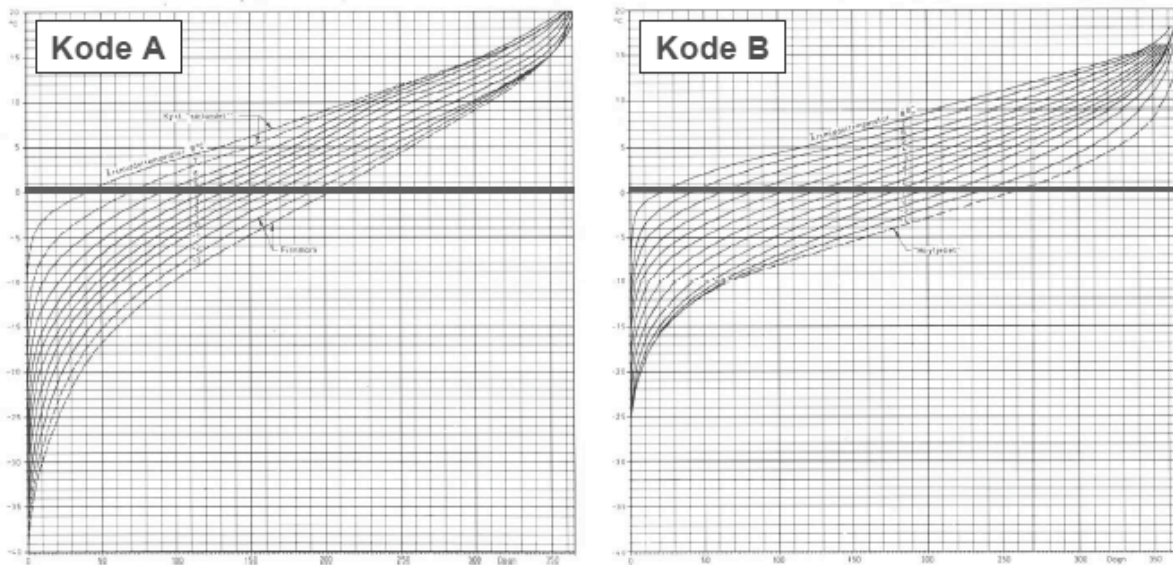


(a) Temperaturkurver



(b) Temperaturvarighetskurver

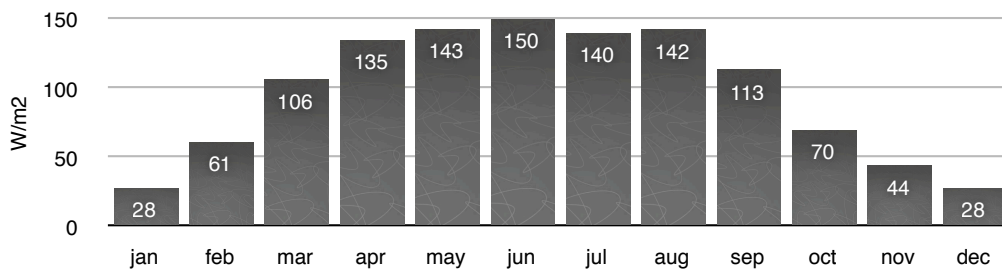
Figur 33: Standardiserte klimadata (DRY) for Andøya, Bergen og Oslo



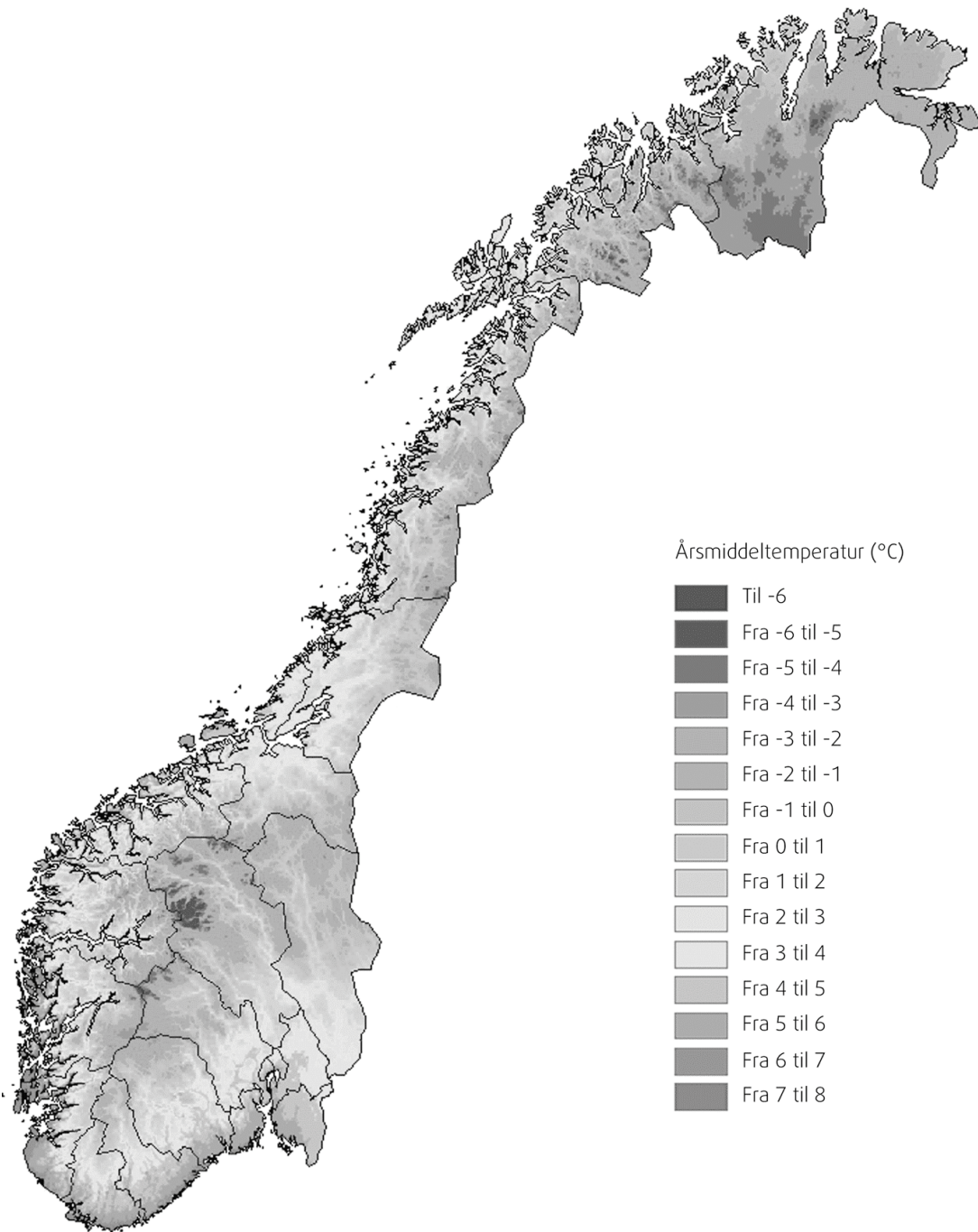
Figur 34: Varighetskurver for utetemperaturer over et år [Wolleng, 1979].

Lokale vindforhold vil variere etter klima, landskapsform og skjermingsfaktor rundt bygget. Det såkalte vestavindbeltet gir mye vind fra sør og vest inn over landet [Met.no, 2009]. Kyststrøkene vil ha pålandsvind om sommeren og fralandsvind om vinteren. I tillegg til det være solgangsbris om sommeren. På høsten er det vanlig med vindhastighet mot storm i utsatte kyststrøk.

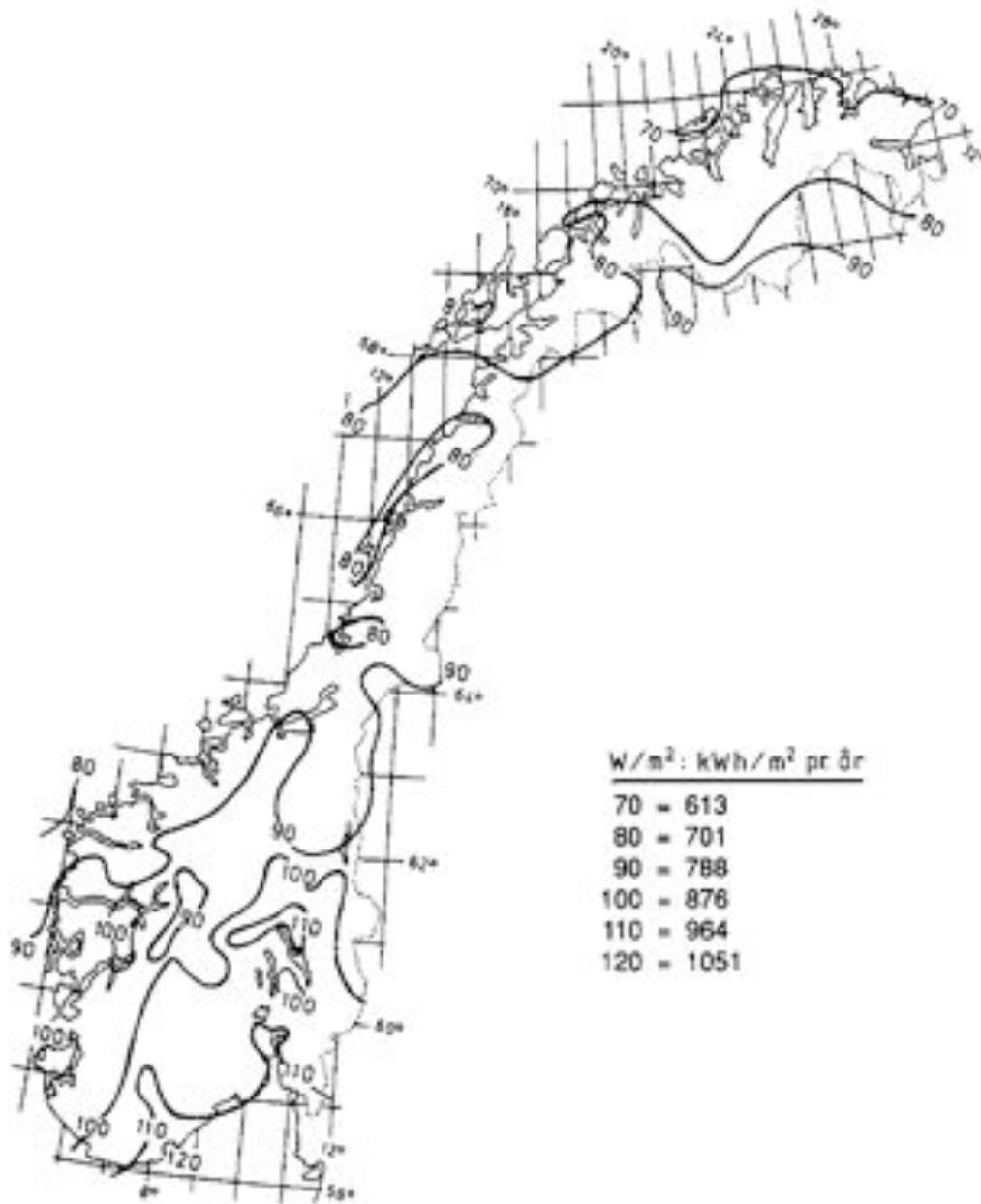
Figur 37 (s. 60) angir den spesifikke solinnstrålingen i Norge for ulike breddegrader. Den varierer fra 70 W/m² i nord til 120 W/m² på Norges sørlige breddegrader.



Figur 35: Månedsmiddelverdier for spesifikk soleffekt mot sørlig vendt flate i standard Osloklima [Pronorm, 2007].



Figur 36: Luftas midlere årsmiddeltemperaturer for normalperioden 1971–2000 [Kvande *et al.*, 2009].



Figur 37: Solinnstråling i Norge [Blom, 1991]

Tabell 22: Oversikt over årsmiddeltemperatur ifølge Byggforsk [Kvande *et al.*, 2009] og Meteonorm klimadata

Stedsnavn	Byggforsk	Meteonorm
Karasjok	-2.1	-2.5
Røros	0.8	1.0
Bardufoss	1.2	1.5
Vardø	1.6	1.4
Tromsø	2.7	2.9
Mo i Rana	3.3	3.4
Andøya	4.2	3.7
Bodø	4.8	5.4
Kongsberg	5.1	4.7
Trondheim	5.8	5.1
Byglandsfjorden	6	6
Oslo	6.1	6.3
Førde	6.2	6.1
Ålesund	7.1	8.1
Kristiansand	7.5	7.9
Sola	7.8	7.4
Bergen	7.8	7.5
Stavanger	7.8	8.4

Tabell 23: Oversikt over dimensjonerende tredøgns vintertemperatur ifølge Byggforsk [Kvande *et al.*, 2009] og Meteonorm klimadata

Stedsnavn	Byggforsk	Meteonorm
Karasjok	-47.7	-38.3
Røros	-41.5	-27.1
Bardufoss	-27.5	-15.2
Vardø	-31.7	-15.0
Tromsø	-14.6	-25.6
Mo i Rana	-12.5	-12.6
Andøya	-12.5	-27.1
Bodø	-12.8	-12.3
Kongsberg	-25.9	-20.9
Trondheim	-22	-19.2
Byglandsfjorden	-23.7	-15.1
Oslo	-19.8	-24.1
Førde	-20.7	-11.3
Ålesund	-12	-8.9
Kristiansand	-19	-14.4
Sola	-14.3	-10.4
Bergen	-12	-7.8
Stavanger	-12.8	-8.0

8 Norge i tall og regler

8.1 Offentlige krav og veiledende tall

8.1.1 Oppvarming

I Norge opereres det i dag med to mulige måter å tilfredsstille krav til energieffektivitet i bygninger, enten ved å tilfredsstille gitte energitiltak eller en energiramme som avhenger av oppvarmet bruksareal. Spesifikasjonene er gitt under §8-2 i TEK [BE, 2007a]. Frem til 1. juli vil den tekniske forskriften vedtatt i 2007 gjelde, da trer TEK10 i kraft.

Energiltakene for bolig gitt i §8-21a vil bli videreført for den nye forskriften, mens det vil bli en innstramning i rammekravet §8-21b på 5 kWh/m² i samlet netto energibehov for bygningen. Rammekravet for småhus er i dag gitt ved en grunnlast på 1600 kWh summert med produktet av oppvarmet bruksareal og en faktor som fra 1. juli blir satt til 120. Eller gitt ved spesifikke tall:

$$\text{TEK10: } E = 120 + 1600/\text{BRA} \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

8.1.2 Beregning av effekt- og energibehov

For beregning av energibehov mot de gjeldende energikrav skal det beregnes ifølge NS3031:2007 [Pronorm, 2007] eller beregningsprogrammer basert på denne standarden. I tillegg kan det benyttes dynamiske beregningsprogrammer validert etter den europeiske standarden EN15625:2007.

Ved beregning av bygningers dimensjonerende effektbehov til oppvarming benyttes den europeiske standarden NS-EN12831 [Pronorm, 2003]. Ifølge Veiledning til TEK [BE, 2007b] kan man regne med følgende temperaturer for effektberegningene:

"Varmeanlegget bør ha slik kapasitet at romtemperaturen ikke synker mer enn 3 °C under laveste anbefalte temperatur ved ekstrem utetemperatur. Ekstrem utetemperatur kan settes lik gjennomsnittstemperaturen i de kaldeste sammenhengende tre døgn i løpet av en 30-års periode."

8.1.3 Varmtvann

Ifølge Veiledning til teknisk forskrift [BE, 2007b] er det anbefalt en maksimumstemperatur på 55 °C ved tappested i boliger. Ved akkumulering av varmt vann er det videre anbefalt å holde lagringstemperaturen over 60 °C for å unngå vekst av legionella.

8.1.4 Energiforsyning

Når TEK10 trer i kraft 1. juli vil det ikke være tillatt å bruke forbrenning av fossilt brensel som grunnlast i bygg [KRD, 2010]. For bygninger under 500 m², som gjelder de fleste boliger, vil det være krav om at 40 % av netto varmebehov dekkes av annet enn elektrisitet og fossile brensel (60 % for de over 500 m²). Dette kan eksempelvis være vedovner, biopelletsaminer, biokjeler, fjernvarme, nærvarme, varmepumper og solvarme.

Dette kravet gjelder ikke for boligbygg dersom det dokumenteres at naturforhold gjør det praktisk umulig å tilfredsstille kravet, netto varmebehov for bygget er beregnet til mindre enn 15 000 kWh/år eller kravet fører til merkostnader gjennom boligbyggets levetid. Disse har isteden krav om skorstein og lukket ildsted.

Boliger under 50 m² er unntatt de ovennevnte krav, mens bygg som tilfredsstillt passivhusstandarden skal følge krav for denne.

8.1.5 Energimerking

Etter krav fra det europeiske Bygningsenergidirektivet innfører Norge et energisertifiseringssystem for bygninger den 1. juli 2010.

Dette innebærer et merkesystem hvor bygningens energiytelse og oppvarmingssystem blir vurdert og gitt en karakter og fargekode etter hvor godt det tilfredsstillt kriterier for levert energibehov og energiforsyning. Alle boliger for salg og utleie skal være energimerket.

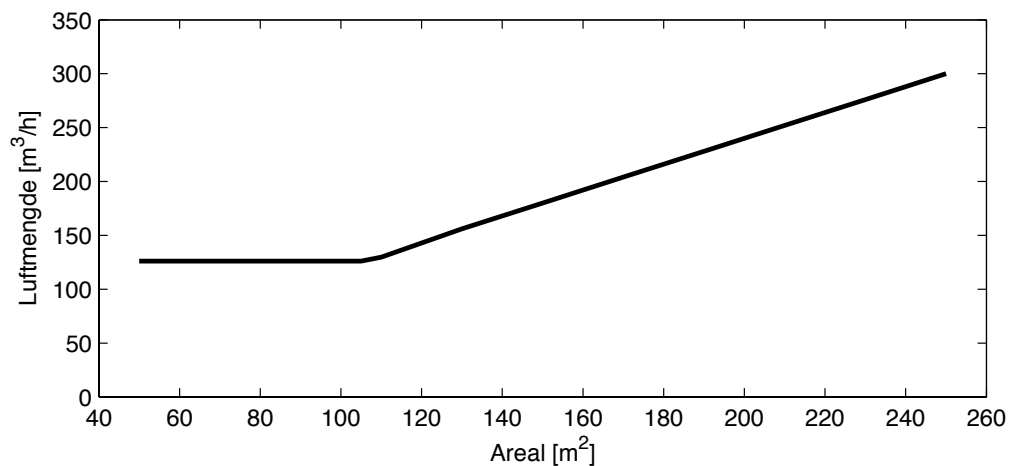
8.1.6 Luftmengder i bolig

Ubalanse mellom tilluft- og avtrekksmengder på grunn av avtrekk over tak, lekkasjer eller tap i renblåsningssektoren vil gi seg utslag i gjenvinnerens virkningsgrad.

For en bolig er det et veiledende krav om luftskifte på 0.5 h⁻¹. Det tilsvarer en tilluftsmengde på 1.2 m³/m²h ved en takhøyde på 2.4 m. I passivhusstandarden er dette korrigert med høyere luftmengder for bygninger mindre enn 110 m² ved beregning mot energikrav [Pronorm, 2010].

For praktisk formål vil allikevel de veiledende kravene til avtrekk fra kjøkken, bad og eventuelle vaskerom [BE, 2007b] være de dimensjonerende for luftmengdene. For en mindre bolig med ett kjøkken og ett bad tilsvarer dette henholdsvis 10 og 15 l/s. Samlet gir dette et grunnavtrekk på 35 l/s eller 126 m³/h.

Man kan dermed anta at for boliger med areal under 105 m² vil det allikevel måtte tilføres luft tilsvarende denne mengden. Figur 38 viser veiledende luftmengder for boliger med takhøyde på 2.4 meter.



Figur 38: Veiledende luftmengder i bolig med takhøyde 2.4

For beregning mot energikrav oppgis en spesifikk luftmengde på 1.2 m³/hm² i NS3031 [Pronorm, 2007]. I NS3700 er denne justert med en økning for boliger mindre enn 110 m² [Pronorm, 2010].

8.2 NS3700:2010 Krav til energiytelse

Tabell 24: Krav til netto oppvarmingsbehov

Passivhus	< 250 m ²	≥ 250 m ²
T ≥ 6.3 °C	$15 + 5.4 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}$	15
T < 6.3 °C	$15 + 5.4 \cdot \frac{(250-BRA)}{100} + (2.1 + 0.59 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}) \cdot (6.3 - T)$	$15 + 2.1 \cdot (6.3 - T)$
Lavenergi 1		
T ≥ 6.3 °C	$30 + 8 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}$	30
T < 6.3 °C	$30 + 8 \cdot \frac{(250-BRA)}{100} + (3.3 + 0.75 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}) \cdot (6.3 - T)$	$30 + 3.3 \cdot (6.3 - T)$
Lavenergi 2		
T ≥ 6.3 °C	$45 + 10 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}$	45
T < 6.3 °C	$45 + 10 \cdot \frac{(250-BRA)}{100} + (4.8 + 1.05 \cdot \frac{(250-BRA)}{100}) \cdot (6.3 - T)$	$45 + 4.8 \cdot (6.3 - T)$

Tabell 25: Internlaster energiberegning for småhus, tabell A.2 NS3700

	Driftstid	Netto effektbehov	Årlig netto energibehov	Varmetilskudd
	[timer/døgn/uker]	[W/m ²]	[kWh/m ² år]	[W/m ²]
Belysning	16/7/52	1.95	11.4	1.95
Utstyr	16/7/52	3.00	17.5	1.80
Varmtvann	16/7/52	5.10	29.8	0.00
Personer	24/7/52	-	-	1.50

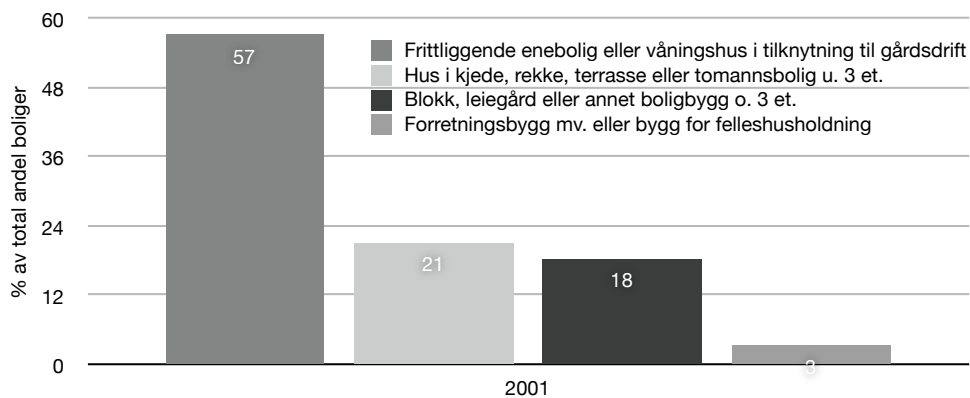
8.3 Husholdningene

Ifølge befolkningsstatistikken til SSB var det per 1. januar 2010 over 2.1 millioner husholdninger i Norge [SSB, 2010]. Det har da økt fra de rundt 1.9 millionene som ble registrert ved den siste detaljerte bolig tellingen utført i 2001 [SSB, 2002].

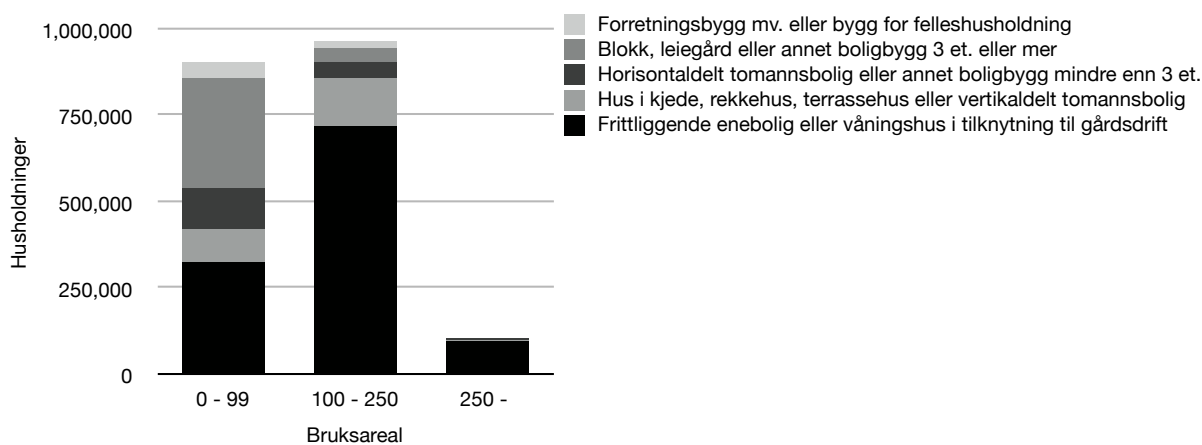
I 2001 besto nesten 3/5 av husholdningene av frittliggende eneboliger, mens flerbostadsboliger og blokkbebyggelse utgjorde 1/5 hver. En svært liten andel av boligmassen var felleshusholdninger (se figur 39).

Ut i fra figur 40 kan man se at den store majoriteten av husholdningene er under 250 m² i bruksareal. Blokkbebyggelsen har hovedsakelig enheter under 100 m², mens eneboligene har tyngden mellom 100 og 250 m².

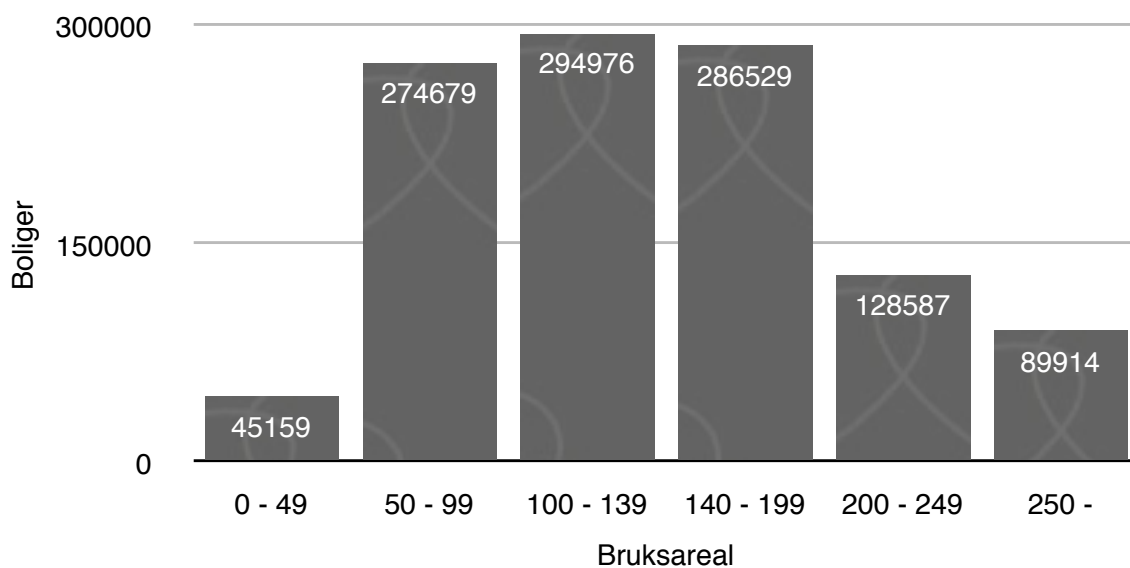
I en mer detaljert oppløsning av tallene finner man at eneboliger mellom henholdsvis 50-99, 100-139 og 140-200 m² utgjorde cirka en 1/4 hver av det totale antallet eneboliger (figur 41).



Figur 39: Prosentvis fordeling av boliger etter boligtype [SSB, 2002]

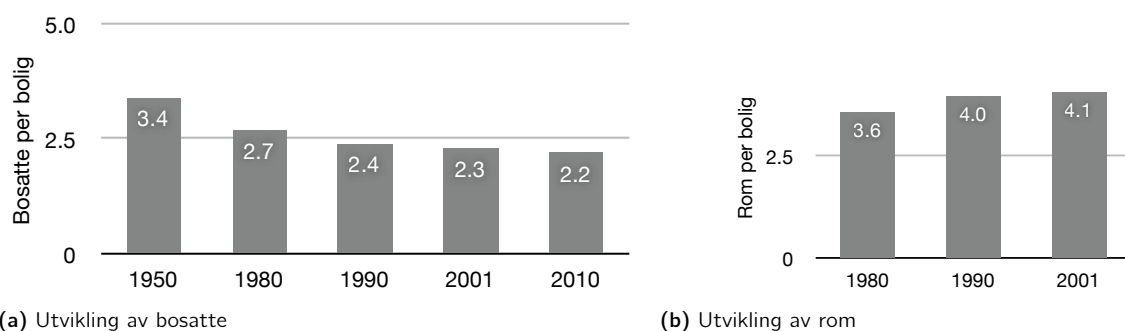


Figur 40: Arealfordeling av boligtyper [SSB, 2002]



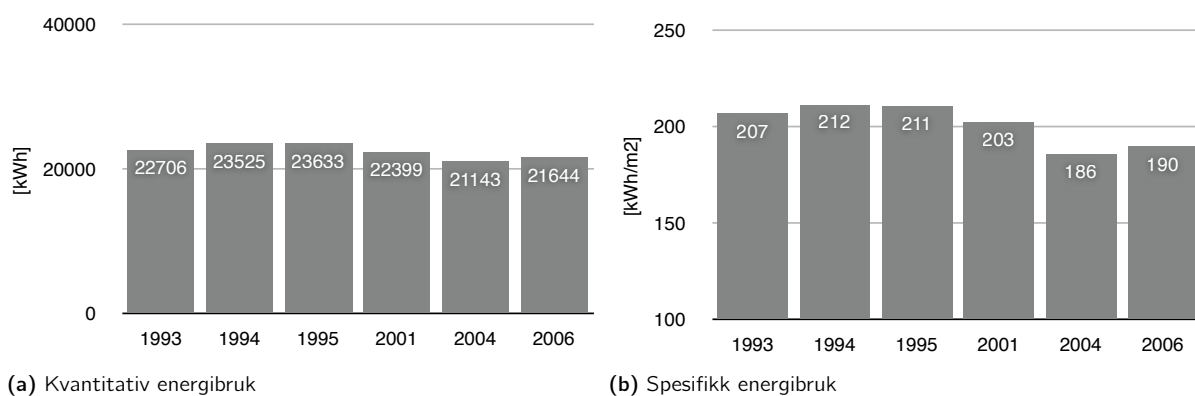
Figur 41: Antall enebolighusholdninger fordelt på areal [SSB, 2002]

Gjennomsnittlig antall bosatte per husholdning var 2.2 personer den 1.1 2010 [SSB, 2010]. Utvikling fra 3.4 i 1950 og 2.7 i 1980 viser en jevnt nedadgående trend (figur 42a). Samtidig har middelverdien for antall rom per husholdning økt (figur 42b) slik at gjennomsnittshusholdningen har økt i boareal, men betjener færre mennesker.

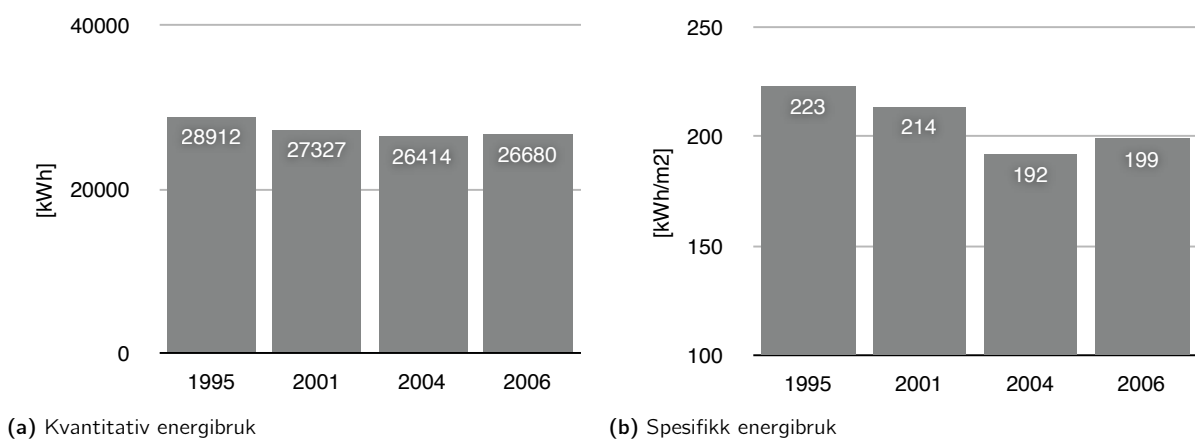


Figur 42: Oversikt over gjennomsnittlig bosatte og rom per husholdning [SSB, 2002]

8.4 Utvikling i forbruk av levert energi



Figur 43: Utvikling i gjennomsnittlig energibruk per husholdning fra 1993 til 2006 [SSB, 2008]



Figur 44: Utvikling i energibruk per husholdning for eneboliger [SSB, 2008]

Bibliografi

- Inger Andresen. *Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon*. Sintef Byggforsk, 2007.
- Inger Andresen. *Ny standard for lavenergiboliger og passivhus – Hva kreves det av tekniske løsninger og installasjoner?* NTNU, 2009.
- BE. *Forskrift om krav til byggverk og produkter til byggverk*, volume 4. utgave. Statens Bygningstekniske Etat, 2007.
- BE. *Veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven*, volume 4. utgave. Statens Bygningstekniske Etat, 2007.
- Lise Bergflødt. *Kunsten å skape et grønt marked! (Landsmøtet 09 VVS-foreningen)*. Skanska, 2009.
- Peter Blom. *BKS 472.411 Solstrålingsdata for energi- og effektberegninger*. Sintef Byggforsk, 1991.
- Birgit Brunklaus, Henrikke Baumann, and Catarina Thormark. *Passivhusens miljøpåverkan under lupp*. Samhallsbyggaren 2, 2009.
- Byggenegidirektivet.no. *Beregning av karakter*. Norges vassdrags og energidirektorat (NVE), 2009.
- Tor Helge Dokka and Leif Amdahl. *Forenklet og kostnadseffektiv vannbåren varme skreddersydd til passivhus-leiligheter*. SINTEF Byggforsk, 2008.
- Tor Helge Dokka and Marit Thyholt. *Passive houses in cold Norwegian climate*. SINTEF, Department of Architecture and building technology, 2006.
- Dokka. *Programvare: Simien 4.504*. ProgramByggerne, 2009.
- M Erlandsson and T Lindholm. *Klassningssystem för fastigheter och dess inverkan på fjärrvärme*. Energi-effektiv bebyggelse och fjärrvärme i framtiden, 2009.
- ESRU. *Programvare: ESP-r V11.1*. University of Strathclyde, Scotland, 2009.
- Wolfgang Feist. *Passive House Research Project*. Aims of the project - with a comment of the author to 2. Edition 1995. 1995.
- Wolfgang Feist. *Certification as "Quality Approved Passive House" Criteria for Residential-Use Passive Houses*. Passivhaus Institut, 2007.
- <http://ec.europa.eu>. *Low energy buildings in europe: current state of play, definitions and best practice*. European Commission, 2009.
- Ulla Janson. *Passive houses in Sweden*. Lund Universitet, 2008.
- Michael Klinski, Lars K. Halleraker, and Harald Ringstad. *Det første sertifiserte passivhus i Norge*. Husbanken Region Øst, 2008.

- KRD. *Forskrift om endring i forskrift 26. mars 2010 nr. 489 om tekniske krav til byggverk (byggteknisk forskrift)*. Kommunal- og Regionaldepartementet, 2010.
- Tore Kvande, Kim Robert Lisø, and Hans Olav Hygen. *BKS 451.021 Klimadata for termisk dimensjonering og frostsikring*. Sintef Byggforsk, 2009.
- Niels Lassen, Anders Fylling, Mads Mysen, Tor Helge Dokka, and Lilly Bordewich. *Passivbygg som forskriftskrav i 2020*. Multiconsult, Sintef, 2009.
- Lavenergiboliger.no. *Lavenergiboliger og Passivhus - Skjematisk oversikt over kriterier og typiske egenskaper*. Husbanken, 2005.
- Arne Ljones, Runa Nesbakken, Svein Sandbakken, and Asbjørn Aaheim. *Energibruk i husholdningene: energundersøkelsen 1990*, volume 92/2 of *Rapporter fra Statistisk sentralbyrå*. Statistisk sentralbyrå, Oslo, 1992.
- Hans Martin Mathisen. *Behovsstyrt ventilasjon i passivhus og lavenergiboliger*. Husbanken, 2009.
- Meteotest. *Programvare: Meteonorm 6.1, Global Meteorological Database for Engineers, Planners and Education*. Meteotest, 2009.
- Met.no. *Meteorologisk leksikon*. Meteorologisk Institutt, 2009.
- Jyri Nieminen, Riikka Holopainen, and Kimmo Lylykangas. *Concepts and market acceptance of a cold climate Passive House*. VTT Technical Research centre of Finland TKK Helsinki University of Technology, 2002.
- Jyri Nieminen, Riikka Holopainen, and Kimmo Lylykangas. *Passive House for a cold climate*. VTT, 2008.
- Linda Pedersen. *Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems*. NTNU, 2007.
- Pronorm. *NS-EN12831:2003 Varmesystemer i bygninger - Metode for beregning av dimensjonerende effektbehov*. Standard Norge, 2003.
- Pronorm. *NS3031:2007 Beregning av bygningers energiytelse*. Standard Norge, 2007.
- Pronorm. *NS-EN 15603:2008, Bygningers energiytelse, bestemmelse av total energibruk og energiytelse*. Standard Norge, 2008.
- Pronorm. *NS3700:2010 Kriterier for passivhus og lavenergihus*. Standard Norge, 2010.
- Ya Roderick, David McEwan, Craig Wheatley, and Carlos Alonso. *Comparison of energy performance assessment between LEED, BREEAM and Green Star*. Eleventh International IBPSA Conference, 2009.
- Peter G. Schild and Trygve Hestad. *BKS 552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg Del I*. Sintef Byggforsk, 2002.
- Peter Schild, Arnkell Petersen, Ida Bryn, Elisabeth Haugen, Gertrud Nilsson, and Kjell Høydahl. *Forhold tilknyttet bruk av roterende gjenvinnere i skoler*. Erichsen og Horgen and Sintef, 2008.
- Sintef/NTNU. *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. Gyldendal undervisning, 2007. 1. utg. Oslo : Universitetsforl., 1992 3. utg.
- A Skartveit, H. Lund, and J. A. Olseth. *DNMI klima, The Design Reference Year. Report no. 11/94 klima*. Meteorologisk Institutt, 1994.
- Johan B. Skjønhaug. *BKS 553.163 Energieffektive sanitæranlegg*. Sintef Byggforsk, 2004.
- SSB. *Folke- og bolig tellingen 2001. Boliger*. Statistisk sentralbyrå, 2002.
- SSB. *Husholdningenes energibruk 2006*. Statistisk sentralbyrå, 2008.
- SSB. *Befolkningsstatistikk. Familier og husholdninger 1. januar 2010*. Statistisk Sentralbyrå, 2010.

- Jørn Stene. *TEP4260 Varmepumper for bygningsklimatisering*. NTNU, 2009.
- Marit Thyholt. *Varmeforsyning til lavenergiboliger i områder med fjernvarmekonsesjon*. PhD thesis, 2006.
- Sverre Tiltnes. *Miljøklassifisering bringer utbyggere i forkant av kravene (Kursdagene 2010)*. Grønn byggallianse, 2010.
- Rolf Ulseth. *TEP14: Bygningers Energiforsyning*. EPT, NTNU, 2008.
- Svein Erik Ulverud, Norges byggforskningsinstitutt, Lyskultur, and Nemko. *Enøk i hjemmet: Ditt idéhefte for å bo bedre og billigere*. NVEs informasjons- og opplæringsoperatør, 1999.
- Terje Wolleng. *VVS-tekniske klimadata for Norge, Håndbok 33*. Norges byggforskningsinstitutt, 1979.