

TORE WIGENSTAD, KARI THUNSHELLE OG MARK MURPHY

Mot et lavutslippsamfunn Energi og energiforsyning

– En mulighetsstudie: Case Brøset

Prosjektrapport 62

2010



SINTEF Byggforsk

Tore Wigenstad, Kari Thunshelle og Mark Murphy

Mot et lavutslippsamfunn Energi og energiforsyning

– En mulighetsstudie: Case Brøset

Prosjektrapport 62 – 2010

Prosjektrapport nr. 62
Tore Wigenstad, Kari Thunshelle og Mark Murphy
Mot et lavutslippsamfunn
Energi og energiforsyning
– En mulighetsstudie: Case Brøset

Emneord:
Energi, energiforsyning og klimautslipp

Omslagsfoto: «Brøset»

ISSN 1504-6958
ISBN 978-82-536-1171-6 (pdf)

© Copyright SINTEF akademisk forlag 2010

Materialet i denne publikasjonen er omfattet av åndsverklovens bestemmelser. Uten særskilt avtale med SINTEF akademisk forlag er enhver eksemplarframstilling og tilgjengeliggjøring bare tillatt i den utstrekning det er hjemlet i lov eller tillatt gjennom avtale med Kopinor, interesseorgan for rettighetshavere til åndsverk.

Utnyttelse i strid med lov eller avtale kan medføre erstatningsansvar og inndragning, og kan straffes med bøter eller fengsel.

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 124 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 55
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 08

www.sintef.no/byggforsk

Forord

Trondheim kommune har gjennom sitt ”Planprogram Brøset – en klimanøytral bydel”, datert 15.09.2009, bestemt at byutvikling av et 350 dekar stort område på Brøset skal bidra til nasjonale målsetninger om reduksjon i klimagassutslipp.

Her skal det i tråd med kommunens fortettingspolitikk, utvikles en framtidsrettet bydel med gode livsvilkår hvor det enkleste skal være å velge å leve miljøvennlig, et ”lav-utslippsliv”.

På verdensbasis finnes det eksempler på utbyggingsområder som kan betegnes som lavutslipps-samfunn og endog 0-utslipp.

Hvorfor ikke bare kopiere løsninger fra disse?

Til det er det å svare at det er nyttig å hente inspirasjon og erfaring fra slike eksempler. Imidlertid vil ulike kulturelle, nasjonale, geografiske og klimatiske forhold spille en vesentlig rolle, noe som gjør at løsninger fra ett land eller region ikke nødvendigvis vil gi samme resultat om denne benyttes et annet sted. Selv om ambisjonsnivået er det samme, må løsningen altså tilpasses det sted området skal ligge.

Denne rapporten er ment å tjene som et første trinn i en studie for å se på bidrag innenfor stasjonær energi. I dette ligger at rapporten ikke konkluderer rundt løsning, men peker på en del muligheter, men også utfordringer som foreligger når ambisjonene er høye, og beliggenheten er Brøset i Trondheim.

Trondheim 04.11.2010

Kim Robert Lisø

Forskningssjef

Tore Wigenstad

Senior Forsker

Sammendrag

Rapporten konkluderer ikke mht. optimal løsning for å oppnå et lavt utslipp ved bruk av stasjonær energi. Imidlertid er den ment å gi en oversikt over hvordan problemstillingen kan belyses, og hvordan en kan jobbe med ulike tilnærminger og teknologier.

Rapporten dveler litt med begrepet energi og fokuserer på nytten av systemgrenser.

Lavutslippbegrepet er også knyttet til et tidsperspektiv. En vanlig betraktning avgrenses til energibruk over driftsfasen til bygget. Enkelte miljøer knytter også bygge-, ombygging/rehabilitering-, og rivefasen til begrepet. I det siste tilfellet blir problemstillingen ennå mer kompleks, og bygget må i sin driftsfase levere energi ut til omgivelsene, for at et 0-utslipp skal oppnås.

Denne rapporten konsentrerer seg i hovedsak til energibruk i driftsfasen.

Når målsetningen er lavutslipp, må det bestemmes hvilken utslippsverdi de ulike energikildene skal ha. Her finnes det ikke omforente nasjonale verdier, men rapporten gir anbefalinger basert på (en viss) konsensus innenfor ulike fagmiljø.

Energiforsyning til bygninger kan løses på mange måter. Rapporten belyser de mest vanlige, og peker på en del muligheter for det planlagte utbyggingsområdet på Brøset. Innenfor de ulike løsninger vil det finnes et vell av FoU og leverandørkompetanse. Å forfølge disse blir for omfattende, og vi har derfor valgt å fokusere på helheten, med presentasjon av de mest aktuelle teknologier.

Avslutningsvis har vi i rapporten valgt å foreta noen enkle beregninger. Disse er ment å belyse de utfordringene et lavutslipp-, eller 0-utslippsområde har. Både når det gjelder energibehov, og hvordan energiforsyningen kan løses.

Innhold

Forord

Sammendrag

1. Bakgrunn	6
1.1. Planprogram Brøset.....	6
1.2. Redusert behov – miljøvennlig forsyning	6
2. Energi	7
2.1. Energibehov.....	7
2.2. Levert energi	7
2.3. Primærenergi	8
2.4. Primærenergiens CO ₂ -faktor.....	8
2.5. Systemgrense	8
2.6. Passivhus.....	9
2.7. 0-energibygge	9
2.8. 0-utslippsbygg.....	9
3. Klimagass	10
3.1. CO ₂ – tall ved systemgrensa	10
4. Optimalisering.....	12
5. Energiforsyning - mulige løsninger	13
5.1. Ikke fornybare energikilder	13
5.2. Fornybare energikilder	14
5.3. Energibehov og energiforsyning i samspill.....	24
5.4. Fjernvarme - Nærvarme	26
6. Styring og regulering	27
6.1. Bygningsnivå	27
6.2. Områdenivå	28
7. Case; Brøset	29
7.1. Teknisk forskrift (TEK 10)	29
7.2. Passivhus.....	29
7.3. Passivhus + lokal biobasert nærvarme	29
7.4. Passivhus + lokal biobasert nærvarme + innslag av solcelle	30
8. Referanser	31
8.1. Energibehov.....	31
8.2. Energiforsyning.....	31
8.3. Lavutslippskonsepter.....	31

1. Bakgrunn

1.1. Planprogram Brøset

Trondheim kommune har gjennom sitt "Planprogram Brøset – en klimanøytral bydel", datert 15.09.2009, bestemt at byutvikling av et 350 dekar stort område på Brøset skal bidra til nasjonale målsetninger om reduksjon i klimagassutslipp.

Her skal det i tråd med kommunens fortetningspolitikk, utvikles en framtidsrettet bydel med gode livsvilkår hvor det enkleste skal være å velge å leve miljøvennlig, et "lav-utslippsliv". Utviklingen av en klimanøytral bydel på Brøset er på nasjonalt nivå befestet i prosjektet "Framtidens byer." Framtidens byer er et samarbeidsprosjekt mellom de største byområdene og staten for å utvikle byer med lavest mulig klimagassutslipp og et godt bymiljø. Programmet er organisert i fire innsatsområder:

- Arealbruk og transport
- Energibruk i bygninger
- Forbruksmønster og avfall
- Tilpasning til klimaendringer.

I følge planprogrammet skal området fungere som et utprøvningsområde for bebyggelse med framtidsrettede og energigjerrige løsninger. En ser for seg feltnvis utprøving av forskjellige prinsipper for energiløsninger, hvor enkelte felt har passivhusstandard, andre er pluss hus med innbygget energiproduksjon, mens andre er knyttet til fjernvarmenettet med løsninger for lavenergibruk. Alle løsninger skal inneha dokumentasjon via klimagassregnskap. Implementering av klimabelastning /klimaregnskap skal være et kriterium i konkurransesammenheng på byplannivå og på mer detaljert nivå gjennom planprosessen.

1.2. Redusert behov – miljøvennlig forsyning

I studier av prosjekter med høye energi-, og miljøambisjoner, har det etter hvert tegnet seg et bilde av en ensartet beslutningsrekkefølge.

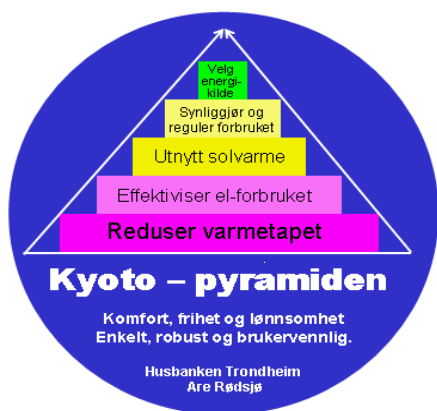


Fig 1.1 Kyoto – pyramiden. Framstilling av beslutningsrekkefølge for prosjekter med høye energiambisjoner

Hovedtrekkene er basert på:

1. Redusere energibehovet
2. Velg energikilde med lav miljøbelastning

Hovedpunktene kan selvsagt gjøres mer eller mindre finmaskede, men all erfaring tyder på at det er enklest å løse energiforsyningen etter at energibehov er minimert i forkant.

En økonomisk utfordring i dette ligger selvsagt i at investeringskostnadene for forsyningssystemet skal fordeles på en mindre levert energimengde.

En vil derfor ofte komme i en situasjon hvor en leter etter optimale kombinasjoner av redusert behov og tilhørende energiforsyning.

Denne rapporten drøfter i hovedsak aktuelle energiforsyningssystemer når utgangspunktet er lavenergi/passivhus-nivå på bygningsmassen. Videre er fokus satt på CO₂-belastning innenfor de ulike systemene.

2. Energi

Når energibruk i bygninger skal analyseres opereres det ofte med flere og til dels uklare begreper og betegnelser. Særlig blandes hva en bygning trenger av energi (=energibehov), og hvor mye energi som må tilføres bygget (=levert energi). Noen ganger er dette like verdier slik at sammenblandingen ikke spiller noe praktisk rolle, men ofte vil ulike tap i forsyningssystemer føre til at det må tilføres mer energi enn det bygget trenger. Ved bruk av varmepumpe vet vi at det ofte tilføres mindre energi enn behovet.

Norsk Standard 3031¹ har definert en del viktige begreper:

2.1. Energibehov

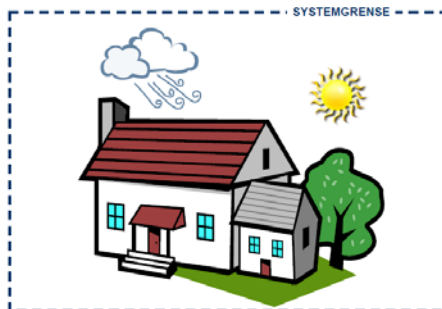


Fig 2.1 Prinsippkisse. Energibehov

Med *energibehov* menes den energimengde som trengs for å opprettholde et definert komfortnivå i bygget som vurderes. Komfortnivå og de fleste bruker-spesifikke verdiene er gitt av verdier i NS 3031.

Mengde tilført energi, eller måten denne tilføres på inngår *ikke* i dette begrepet.

Teknisk forskrift setter for ulike bygningskategorier, krav til øvre tillatt verdi for teoretisk energibehov.

2.2. Levert energi

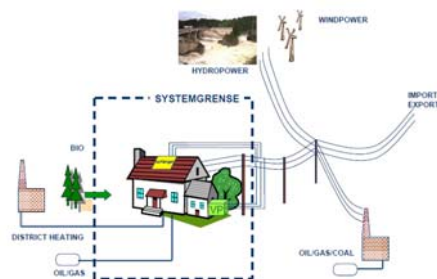


Fig 2.2 Prinsippkisse. Levert energi

Med *levert energi* menes den energimengde som må tilføres bygget for å dekke opp energibehovet. Ofte oversettes begrepet med "kjøpt energi".

Når levert energi skal beregnes må energiforsynings-systemet tas med i vurderingen. Ofte er det to systemer hvorav en del sørger for varmforsyningen, mens en annen del tar seg av elektrisk energi til lys og utstyr. Internasjonalt står Norge i en særstilling ved at varmforsyning for store deler av boligmassen og en stor andel av yrkesbyggene er basert på elektrisk energi.

I begrepet *levert energi* inngår imidlertid ikke hvordan denne varmeenergien eller elektriske energien er framskaffet.

¹ NS 3031:2007 Beregning av bygnings energiytelse. Metode og data.

2.3. Primærenergi

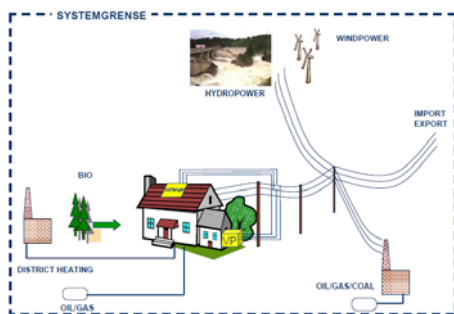


Fig 2.3 Prinsippskisse. Primærenergi

Med *Primærenergi* tar en hensyn til hvordan den leverte energien er skaffet til veie.

En operer her gjerne med virkningsgrader på omvandlingsprosesser. Et typisk eksempel kan være et forbrenningsanlegg basert på biobrensel som leverer energi til et fjernvarmenett (varmer opp vannet). Ofte vil energimengden (brennverdien) i innfyrt biomasse være større enn overført varme til fjernvarmenettet. Denne forskjellen betraktes som tap og forsvinner til omgivelsene.

De ulike energiomvandlingssystemene operer derfor med typiske virkningsgradsfaktorer, kalt; *primærenergifaktorer*.

2.4. Primærenergiens CO₂-faktor

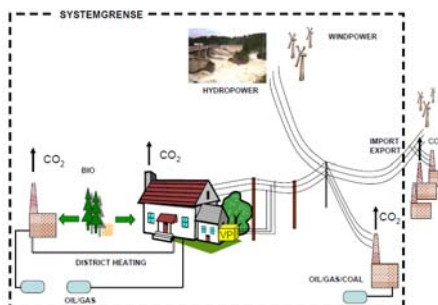


Fig 2.4 Prinsippskisse Primærenergiens CO₂-faktorer

Når klimagasskonsekvens skal vurderes må energikildens CO₂-belastning trekkes inn. Metoden går på å vekte de ulike primærenergikildene med tilhørende CO₂ utslippstall, kalt; CO₂-faktorer.

Disse faktorene kan settes ut i fra stringente fysikalske kriterier, eventuelt etableres og tilpasses en markeds-, eller miljøpolitiske ønsket utvikling.

2.5. Systemgrense

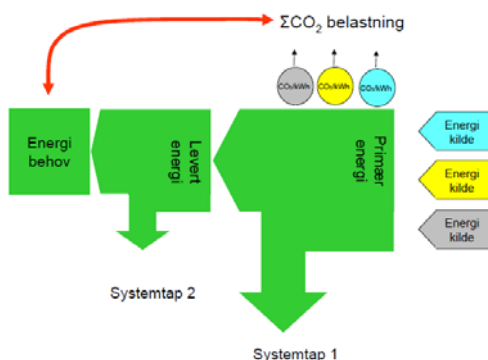


Fig 2.5 Prinsippskisse. Fra energibehov til klimagassutslipp

I figurene foran er det angitt systemgrenser. Disse er nyttige å benytte seg av ved en analytisk og trinnvis tilnærming til systemer. Særlig gjelder dette når systemene blir komplekse, og i tilfeller hvor en bygning eksempelvis også leverer energi tilbake til systemet.

I klimagassammenheng settes en systemgrense vanligvis slik at primærenergiens CO₂-faktor regnes inn ved produksjonsstedet for leverte energi. Primærenergien (eksempelvis olje) kan selvsagt forfølges enda lenger bakover i produksjonskjeden, men dette fører ofte til et svært uoversiktlig og komplekst bilde for ikke å si regnestykke.

2.6. Passivhus



Fig 2.6 Passivhus. Blokkleiligheter. Løvåshagen i Bergen.

Energikriteriene for Passivhus – Boliger, er definert gjennom NS 3700. Tilsvarende arbeides det med å etablere en tilsvarende standard for yrkesbygg, NS 3701.

Felles for disse er at det stilles strenge krav til energibehov til oppvarming. For boligdelen er det satt krav til andel fornybar levert energi tilsvarende ca 50 % av energibehov til varmt forbruksvann. Tilsvarende krav for yrkesbygg er ennå ikke klar².

2.7. 0-energibygg



Fig 2.7 Prinsippløsning for betraktning av et 0-energi bygg. Figur indikerer balanse for mengde levert energi. Imidlertid er andelen som leveres fra bygget vektet med en lavere miljøbelastning (grønn) enn den energien som leveres inn (rød/grønn). Bygget er følgelig også et – (negativt) utslippsbygg.

Bygningstypen har ingen entydig definisjon. Enkleste form for 0-energibygg, er en bygning som over året ikke krever netto levert energi.

Bygningen kan være selvforsynt med energi. I praksis vil en da måtte basere seg på solenergi som benyttes direkte i bygget. For å dekke opp underskudd gjennom vinterhalvåret, vil en måtte basere løsningen på lokal lagring, eller mer optimalt; ”lagring” ved å levere overskuddsenergi ut på et nett (grid) sommerstid, og tilførsel fra det samme nettet gjennom vinterhalvåret.

Miljøbelastningen kan imidlertid være forskjellig fra 0, da denne er helt avhengig av hvilke utslippsverdier som knyttes til hhv. ”import” og ”eksport”-andel.

2.8. 0-utslippsbygg

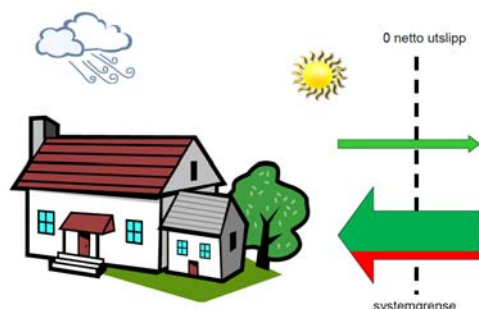


Fig 2.8 Prinsippløsning for betraktning av 0-utslippshus. Figur viser at et 0-utslippshus ikke nødvendigvis trenger være et 0-energi hus.

Vurdering av 0-utslippsbygg følger samme resonnerement som 0-energibygg.

Enkleste form for 0-utslippsbygg, er en bygning som over året ikke bidrar med utslipp regnet på bakgrunn av netto levert energi.

Levert mengde energi kan imidlertid være forskjellig fra 0, men tillates altså da over året ikke å bidra til utslipp. Dette løses ved at energien som eksporteres erstatter en importert energimengde med lik CO₂ belastning.

² Sintef Byggforsk har utarbeidet et underlag for yrkesbygg i ”Rapport 42. Kriterier for passivhus- og lavenergi bygg – Yrkesbygg. 2009”.

3. Klimagass

I dagligtalen forbindes gassen karbondioksyd (CO₂) med klimagass. Imidlertid finnes det flere andre gasser som har samme strålingsreflekterende virkning. Metan (CH₄) er den som er mest i søkelyset, bla. fordi den er atskillig mer potent enn CO₂. Lystgass og gasser som benyttes bla. i kjølemaskiner og varmepumper er eksempler på andre gasser som alle har en relativ større drivhus virkning enn CO₂. For å håndtere de ulike verdiene regnes alle gassene om til Global Warming Potential (GWP)-enheter. Her er CO₂ gitt relativ verdi lik 1, slik at alle andre gasser i praksis vil bli relatert til CO₂ enheten.

Gass	Andel i atmosfæren (ppm i luftvolumet)	Relativ effekt (GWP)	Absolutt effekt (%)
Vanndamp	≈ 10 000	0,1	62
Karbondioksyd	350	1	22
Ozon	< 1	6 000	7
Lystgass	< 1	300	4
Metan	2	20	2
Klorfluorkarboner	< 1	100–12 000	2

Tab 3.1 Vanlig forekommende klimagasser i atmosfæren og deres innvirkning på GWP

3.1. CO₂ – tall ved systemgrensa

Figur 2.5 viser beregningsgangen fra et gitt energibehov til en tilhørende klimagassbelastning. En viktig parameter for å bestemme denne belastningen blir derfor å vite den spesifikke CO₂-verdien for de respektive primærenergikildene.

Det hersker i dag ingen konsensus rundt fastsettelsen av disse verdiene.

For *fossile energikilder* (olje, gass, kull) er utslipp relatert til fysiske størrelser, slik at mengde CO₂ pr. produsert kWh ved forbrenning (brennverdi) er gitt.

For *biobasert energikilder* er det også i praksis en enighet som går på at disse ikke bidrar i særlig grad til klimagassutslipp. Dette er imidlertid basert på en levetidsbetraktning over en relativ kort tidshorisont, hvor biomaterialet i sin vekstperiode gjennom fotosyntesen har fanget inn og bundet samme mengde CO₂ som frigjøres ved forbrenning. Det ligger også som en forutsetning i denne betraktningen at lagring av trevirke (bundet CO₂) over ca 100-200 år ikke er aktuelt³

Problemstillingen blir atskillig vanskeligere dersom vi eksempelvis betrakter *elektrisk energi*. Dersom denne energien produseres via vannkraft, vindkraft eller solceller er den praktisk talt fri for klimagassutslipp. Dersom den derimot produseres via et kondenserende kullkraftverk, går det med ca 3 enheter fossilt brensel pr. produsert enhet elektrisk energi. I dette tilfellet innehar elektrisk energi en stor klimabelastning. Hvilken klimagassbelastning en skal velge for elektrisk energi blir etter dette vanskelig, og ofte styrt av aktørers faglige ståsted, miljøpolitiske interesser, og nasjonale mål.

En lignende problemstilling kan knyttes til forbrenning av avfall. Avfall vurderes som et miljømessig problem, som det knyttes stadig strengere håndteringskrav til. Et uttalt nasjonalt ønske er redusert forekomst eller omfang. Typiske tiltak er reduksjon av ”produsert” mengde, gjenbruk og gjenvinning. Restproduktet (restavfall) går til deponering. Dersom deponering betyr nedgraving og nedbrytning, vil dette bidra til klimagassutslipp blant annet gjennom dannelse av metangass.

En alternativ utnyttelse av restavfallet er kontrollert forbrenning ved høy temperatur. I klimagassregnskapet kan forbrenning av restavfall derfor vurderes på prinsipielt 3 ulike måter:

³ Nytteverdien av biobaserte energikilder kommer altså kun til sin rett dersom forbrenningen erstatter eksempelvis fossile energikilder. Dersom forbrenningen erstatter solenergi, må nytteverdien vurderes etter alternativ bruk av biomassen. Dersom alternativet er nedbrytning, kan forbrenning regnes å ikke ha klimagassutslipp. Dersom alternativ bruk av biomassen er lagring over et tidshorisont på 100-200 år, kan det argumenteres for at CO₂ utslipp ved forbrenning bør tas med i regnestykket.

- Klimagassutslipp beregnes på bakgrunn av sammensetning og tilhørende differanse mellom belastning fra nedbrytning og forbrenning. (CO₂-faktor <0)
- Klimagassutslipp vurderes likt mellom forbrenning og deponering (CO₂-faktor = 0).
- Sammensetningen av avfallet analyseres, og klimagassutslipp beregnes på bakgrunn av forbrenningsverdier. (CO₂-faktor >0)

I løpet av de siste årene er det fra ulike miljøer gitt innspill med tanke å danne omforente klimagassstall for de ulike energikildene. Mest relevant for bygningssektoren er tallunderlaget gitt av PrNS 3700 og Statsbygg sitt beregningsprogram for klimagasserbelastning i byggeprosjekter⁴:

Levert energivare	NS 3700 CO ₂ -faktor [g/kWh]
Biobrensel ^{a)}	14
Fjernvarme ^{b)}	231
Gass (fossil)	211
Olje	284
Elektrisitet fra kraftnettet ^{c)}	395

Tab 3.2 Normative verdier for CO₂-faktorer ihht PrNS 3700. Forslag inngår ikke i endelig versjon av standarden.

- a) Bidrag fra innsatsfaktorer i forbindelse med produksjon og transport av biobrensel regnes inn
 b) CO₂-verdi landsgjennomsnitt. Faktor regnes ut for spesifikk FV-nett.
 c) Marginalbetraktning basert på elektrisk energi produsert via kondenserende kullkraftverk

⁴ Klimagassregnskap.no

4. Optimalisering

Figur 2.5 viser at dersom lavt klimagassutslipp er målsettingen, kan dette i prinsippet oppnås selv om energibehovet ikke er spesielt lavt. Bygningen kan eksempelvis gjøres til en energiproduserende enhet og levere elektrisk energi tilbake i et nettbasert system. Dette kommer i så fall som et fratrekk for klimagassmengde via energi levert inn til bygget. Alternativt, og gjerne i kombinasjon, kan det benyttes primærenergikilder med lave CO₂-faktorer.

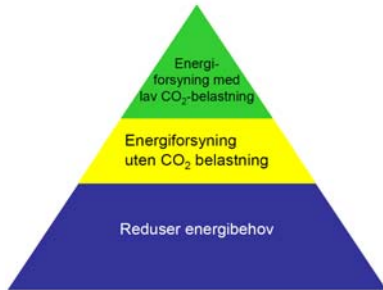


Fig 4.1 Beslutningspyramide

I praksis går imidlertid veien til lavutslippsløsninger via redusert behov. En kan derfor innføre et beslutningsprinsipp med følgende rekkefølge:

- Redusere energibehovet
- Etablere energiforsyning uten CO₂-belastning
- Resterende energiforsyning med lav CO₂-belastning.

I praktisk arbeid vil utfordringen være å finne punktet hvor energibehovet er tilstrekkelig redusert og det er mer hensiktsmessig å løse CO₂ belastningen med energiforsyningssystemet.

Arbeidet med å finne dette punktet er et klassisk optimaliseringsproblem. Parameteren det ofte optimaliseres med hensyn til er økonomi.

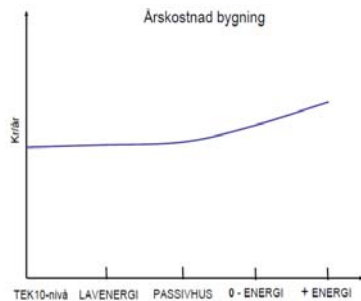


Fig 4.2a Investeringskostnaden øker gjerne for bygning med lavt energibehov

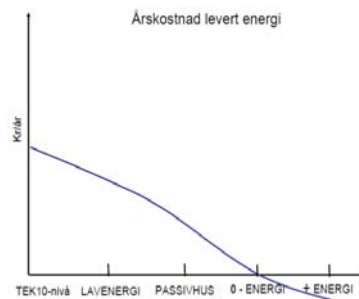


Fig 4.2b Energibruk (levert energi) avtar og kan endog bli negativ for "+ energi" hus

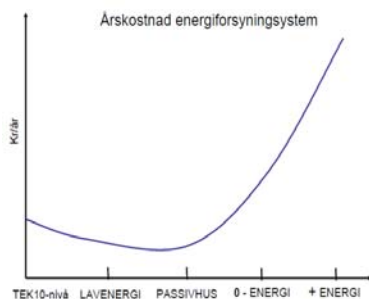


Fig 4.2c Kostnader for energiforsyningssystem øker gjerne jo mer kompleks og/eller sammensatt dette er

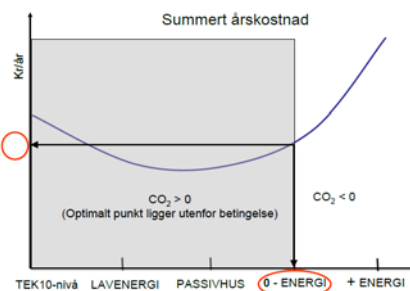


Fig 4.2d Årskostnader kan summeres for ulike ambisjonsnivå for bygninger. Ofte er det satt betingelser som gjør at valgt løsning faller utenfor optimalt punkt.

Optimaliseringsproblemer inneholder ofte også begrensninger som det optimale punktet skal være innenfor ("rammebetingelser"). Dette kan i vårt tilfelle være CO₂ belastning. Parameter og betingelse kan imidlertid godt skifte plass.

5. Energiforsyning - mulige løsninger

I det etterfølgende gjennomgås de mest relevante systemene for energiforsyningen og tilhørende energikilder.

Når energiforsyning skal vurderes skilles det ofte mellom fornybare og ikke-fornybare energikilder. Begrepene tolkes imidlertid litt forskjellig innenfor ulike fagmiljø, men eksempelvis en definisjon hentet fra Wikipedia er rimelig stringent:

*”**Fornybar energi** er et begrep som omfatter energi fra kilder som har en kontinuerlig tilførsel av ny energi, og ikke kan tømmes innenfor tidsrammene som er gitt av menneskehetens tidsskala. Fornybare energikilder er for eksempel solenergi, vannkraft, vindkraft, bioenergi, bølgekraft, geotermisk energi, tidevannsenergi og saltkraft. Med unntak av geotermisk energi og tidevannsenergi, har all fornybar energi sin opprinnelse i solenergi.*

*Motstykket til fornybar energi er **ikke-fornybar energi**. Denne kjennetegnes av begrensede naturressurser som kan utarmes innen en tidsramme på fra et titalls til et hundretalls år”*

5.1. Ikke fornybare energikilder

For energikilder basert i sin helhet på fossile brensler er det en relativ enkel fysikalsk sammenheng mellom brennverdi (energiinnhold) og CO₂ - utslipp ved forbrenning.

CO₂-faktor:

Gass	211 g/kWh innfyrt
Olje	284 g/kWh innfyrt

Elektrisk energi transportert gjennom et ledningsnett, er egentlig en energibærer. Energikilden som står for produksjon av energien kan være både fornybar (eksempelvis vannkraft), eller ikke-fornybar (eksempelvis diesellaggregat).

El-nettet er sammenkoplet mellom ulike land som har høyst forskjellig miks av energikilder for å produsere elektrisk energi. Det er etter dette blitt vanlig å beregne en tilhørende klimagassmiks ved vurdering av elektrisk energi. Avhengig av systemgrensene benyttes ofte begrepene ”norsk el”, ”nordisk el-mix”, ”EU-mix” etc.

En annen betraktningssmåte tar utgangspunkt i en s.k. marginalbetraktning. Ved denne metoden anses den første sparte kWh, å være den samme som siste produserte (marginalen). Marginalverdien for elektrisk energi produsert i Norge, kan noe forenklet baseres på gasskraft uten CO₂ fangst og transport til deponi.

I prosjekter tilhørende Fremtidens Byer, som også Brøset prosjektet er en del av, er det bestemt at CO₂-faktoren skal være lik rådende nordisk el-miks.

CO₂-faktor:

Elektrisk	210 g/kWh levert
-----------	------------------

5.2. Fornybare energikilder

5.2.1 Sol



Fig 5.1 Termisk solfanger plassert på tak.
Kilde: Ottawa Solar Power



Fig 5.2 Solcelleanlegg plassert på tak.
The Solar Wall at the Welsh Development Agency "Technium" in St. Asaph, North Wales. Kilde: EU project BRITA-in-PuBs

Termisk solfanger

Som navnet tilsier, benyttes disse til å hente termisk energi fra sola. Vanligvis i form av et lukket vannsystem, som blir varmet opp via skråstilte paneler plassert på taket eller på vegg. Optimal helningsvinkel for Trondheim er mellom 40- 60 °, med retning mest mulig mot sør. Økonomisk optimal størrelse dekker ca 50 % av varmtvannsbehov i en bolig. Et godt anlegg kan imidlertid dekke inntil 60 %, i tillegg til ca 15 % av boligens oppvarmingsbehov. Varmt vannet kan benyttes i aktuell bygning, og/eller i teorien sendes ut på et lavtemperatur nærvarmenett som forbinder flere bygninger.

Solcelle

Solceller, eller Photovoltaic (PV) systemer som de også benevnes, produserer elektrisk energi fra sollyset. Vanligvis som 12 V likestrøm ("hyttestrøm"), men kan også vekselrettes og transformeres opp til 230 V, som er spenningen på nettet.

Energimengde som produseres via systemet er avhengig av innstrålt mengde med sol, orientering av paneler samt areal. Det finnes flere typer solceller:

Monocrystalline celler (14-17 % effektivitet, 900-1000 kWh per installert kW).

Polycrystalline celler (opp til 12 % effektivitet, 750-850 kWh per installert kW),

Amorfe eller tynn-film silikon (5-8 % effektivitet, 600-800 kWh pr installert kW).

PV-paneler kan monteres på tak og vegger, men kan også integreres i selve fasaden.

Produsert elektrisk energi kan benyttes direkte i husholdningen, eventuelt leveres tilbake på el-nettet.

Beregnete verdier:

Solinnstråling for Trondheim:

Optimal vinkel på sørvendt solcellepanel i Trondheim er ca 40°. Innstråling 1020 kWh/m² per år per installert kW. Med 14 % effektivitet på solcellene er potensialet ca 117 kWh/år per m² i et optimalt og godt anlegg. (785 kWh per år per installert kW)⁵

Erfaringsdata:

Elektrobygget, Trondheim : 7200 kWh/år/100 m² = 72 kWh/år m². Dobbelfasade m/vertikal PV.
Operaen, Oslo : 36000 kWh/år/ 400 m² vertikale solceller = 90 kWh/år per m²
Forskningsparken, Oslo : 17000 kWh/år/ 121m² solceller på tak = 140 kWh/år per m²

⁵ (<http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps3/pvest.php>)

5.2.2 Lokal vind

Energiinnholdet i vinden er betydelig. Ved en vindhastighet på ca 10 m/s ligger verdien på ca 600 W/m² målt vinkelrett på denne. Teoretisk er det mulig å hente ut 60 %. I praksis har de beste vindturbin-systemene en total virkningsgrad i området 15-25 % og gjerne lavere når året sees under ett. En viktig premisse for elektrisk energi fra vindturbiner, er stabil og relativ kraftig vind (> 4 m/s), samt stort fangstareal.



Fig. 5.3 Vindturbin plassert på tak.
Kilde+ foto: <http://www.turby.nl>



Fig. 5.4 Frittstående vindturbin.
Kilde: Utsira Kommune

Bygningsintegrerte vindturbiner

Data for slike turbiner kan virke imponerende, men er ofte relatert til vindhastigheter i området 10-12 m/s (liten kuling). Gjennomsnittshastigheten i boligstrøk og nær bakken er ofte vesentlig lavere, og energiutbytte tilsvarende lavt. ($E \sim v^3$).

Ved bruk av bygningsintegrerte vindturbiner må man også være oppmerksom på problemområder som uønskede vibrasjoner, støy og flimring mot omgivelser.

Vindturbinen i figur 5.3 er oppgitt til ca 3 kW/12 m/s. Gunstig plassert i Trondheim by, vil turbinen kunne levere mellom 3-5 000 kWh pr. år.

Små frittstående vindturbiner

Frittstående vindturbiner vil kunne plasseres i gunstigere vindklima enn bygningsintegrerte. Typisk effekt på slike mellomstore turbiner (H=25 meter, Ø=15 meter) kan ligge på 50 kW/12 m/s. Plassert i Trondheim by, vil en slik turbin levere mellom 50 -70 000 kWh pr. år.

Temperatur og vinndata siste år, fra målestasjon Voll i Trondheim:

Mnd	Temperatur						Vind		
	Gjennom-snitt	Normal	Varmest		Kaldest		Gjennom-snitt	Sterkest vind	
okt-2008	6,5°	5,5°	15,0°	20. okt	-4,8°	30. okt	3,2 m/s	12,0 m/s	26. okt
nov-2008	2,2°	0,5°	10,0°	8. nov	-8,9°	24. nov	2,9 m/s	11,8 m/s	21. nov
des-2008	-0,6°	-2,0°	7,6°	18. des	-13,0°	11. des	2,8 m/s	10,0 m/s	18. des
jan-2009	-0,9°	-3,0°	10,1°	12. jan	-14,3°	4. jan	3,1 m/s	11,6 m/s	23. jan
feb-2009	-3,0°	-2,5°	5,3°	21. feb	-11,0°	11. feb	2,4 m/s	6,5 m/s	9. feb
mar-2009	1,8°	0,0°	9,7°	3. mar	-9,0°	25. mar	3,1 m/s	11,2 m/s	20. mar
apr-2009	6,9°	3,0°	19,9°	30. apr	-1,1°	5. apr	2,3 m/s	9,7 m/s	1. apr
mai-2009	10,2°	9,0°	22,9°	30. mai	1,2°	6. mai	2,4 m/s	10,1 m/s	8. mai
jun-2009	12,1°	12,0°	27,8°	26. jun	3,9°	3. jun	2,4 m/s	8,3 m/s	18. jun
jul-2009	15,1°	13,0°	25,2°	1. jul	7,9°	6. jul	2,4 m/s	7,9 m/s	31. jul
aug-2009	14,9°	12,5°	27,4°	8. aug	4,3°	19. aug	2,3 m/s	9,6 m/s	20. aug
sep-2009	10,6°	9,0°	23,1°	1. sep	2,2°	30. sep	2,9 m/s	13,0 m/s	9. sep

Tabell 5.1 Temperatur og vinndata for målestasjon på Voll i Trondheim. Månedsverdi sterkeste vindhastighet når bare unntaksvis opp i de verdiene merkeffekt for vindturbinene er angitt med. Kilde: Yr.no

5.2.3 Bio-varme



Fig 5.5 Biobrensel

Biobrensel

Pellets og briketter

Alle typer biobrensler kan benyttes til produksjon av foredlede biobrensler, som pellets og briketter. Bruk av biobrensel er CO₂ nøytralt.

Brennverdi pellets og briketter: 4,5-5 kWh/kg

Tørr flis og bark: 3,2-4,5 kWh/kg

Pellets

I pelletsproduksjonen brukes sagflis, bark, kutterspon og skogsflis. Dette presses sammen til sylindere med diameter på 6–8 millimeter og 1–3 cm lengde.

Energiinnholdet i pellets er ca 3 ganger så høyt som for ved. Pellets brenner svært rent med lave verdier av sot og partikler.

Briketter

Briketter er komprimert eller presset biomasse til stavformede ”kubber”. Briketter brukes oftest i større biobrenselanlegg, men fungerer også i vanlige vedovner. Ved brikettproduksjon benyttes samme råstoff som for pellets.

Halm

Halm er et biobrensel fra korn- og oljefrøproduksjon. Halm til brenselformål bør ha en fuktighet på maksimalt ca. 20 %, med en brennverdi på 4,0 kWh/kg. Halm kan brennes direkte i baller, revet eller foredlet som pellets eller briketter.

For å gi god forbrenning med tilstrekkelig rensing av røykgassene, anbefales bruk av større forbrenningsanlegg.



Fig 5.6 Enkel biopellets-kamin. Krever pipeløp, samt strømforsyning til tenning og drift av ventilasjonsvifte (ca 100 W)

Pelletsovn/-kjel

Man kan velge egen ovn (kamin) per husstand eller en større industriell pellets-kjel i en varmesentral som dekker oppvarming til flere husstander.

Punktoppvarming

En pellets-kamin på 6 kW dekker en bolig på 120 m² forutsatt åpen løsning. Pelletsforbruk er da ca 0,6-1,6 kg/time.

Dette forbruket lagres i en egen intern tank som etterfylles ved behov, normalt en gang per døgn. Forbrenningen styres automatisk og foregår i et lukket kammer. Varmen fra forbrenningen spres i rommet med en vifte.

Kamin for vannbåren oppvarming.

Enkelte kaminer har også en vannkappe som gjør det mulig å varme vann til gulvvarme, radiatorer eller forbruksvann samtidig. Oppvarming med trepellets er enkelt og sikkert, samtidig som det gir god komfort.

De fleste kaminene styres av en romtermostat, slik at man kan stille inn ønsket temperatur, slik som på panelovner. Kaminen kan starte og slukke av seg selv. Innebygde termostater i ovnen sørger for en jevn temperatur. Mange kaminer har også innebygget elektronikk for programmering av ukeprogram, med f.eks. nattsenkning.

Varmesentral vannbåren oppvarming

Mellomstore sentraler utstyres med større varmelager, med manuell eller automatisk påfylling.

Store varmesentraler

Store varmesentraler løses i prinsippet som oljefyrte sentraler. Det benyttes gjerne to pelletskjeler og et pellets-lager. Sistnevnte må ha adkomst med trailer for påfylling eksempelvis hver 14. dag i de kaldeste månedene påfylling.



Fig 5.7 Pelletskjel m/ lager. Kilde: The Harman Accentra Pellet Stove <http://pelheatblog.com/2008/11>

5.2.4 Varme-kraft-maskiner (CHP)

CHP er en forkortelse for Combined Heat and Power, og betegnes også ofte som et cogensystem.

På norsk kalles systemet varme-kraft-maskin, og er altså en maskin som produserer elektrisk energi og varmeenergi samtidig.

Maskinene leveres i ulike kapasitetsstørrelser, hvor de minste gjerne kalles micro CHP. Dette er maskiner som typisk kan plasseres i en enebolig/rekkehus og sørge for all energiforsyning.

I Norge er mange kjent med små transportable strømaggregat som benyttes til hytter uten innlagt strøm. I disse aggregatene utnyttes vanligvis ikke varmeoverskuddet (kraft-maskin), men dette kan godt gjøres. Derved har en i prinsippet en kraft-varme-maskin. Spennings er vanligvis 12/24 V likestrøm, eller 230 Volt vekselstrøm.

Mellomstore maskiner kan etableres i egen sentral og forsyne flere bygninger med elektrisk energi og varme. Varmeforsyningen knyttes sammen i et røranlegg, og kalles ofte et nærvarmeanlegg. Strømnettet kan koples sammen på samme måte og danne et lokalt el-nett.

Store systemer kan levere varme inn på et fjernvarmeanlegg, og elektrisk energi inn på det ordinære el-nettet.

I prinsippet kan leveranse inn på et grid-basert energidistribusjonsnett utføres for alle størrelser av kraft-varme-maskiner.

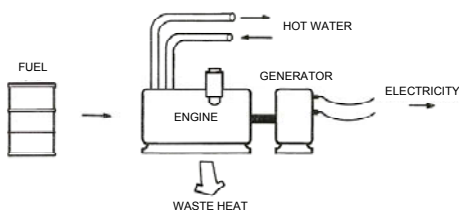


Fig 5.8 Prinsipppløsning micro CHP.

Kilde: Norbert Lechner: Heating, cooling, lighting. Design Methods for Architects

Micro CHP

Brennbar energi driver en motor som igjen driver en liten strømgenerator. Motoren avkjøles via en vannkrets og gir fra seg termisk energi. Noe forbrenningsgass og medfører et lite energitap på ca 20 %. Dette betyr at av innfyrt energi utnyttes ca 80 %.

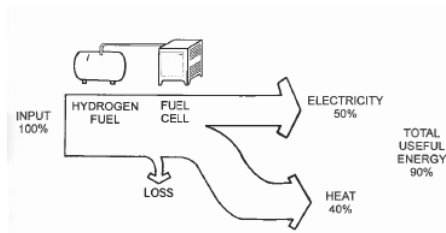


Fig 5.9 Prinsipppløsning CHP m/brenselcelle.

Kilde: Norbert Lechner: Heating, cooling, lighting. Design Methods for Architects

CHP med brenselcelle

Brenselcelle bruker hydrogen for å produsere el. Samtidig benyttes overskuddsvarmen fra prosessen til oppvarming og varmtvann i bygningen. På denne måten benyttes omtrent 90 % av energien. Som alternativ til hydrogen, kan man også benytte hydrokarboner (metan, etan, propan, butan, pentan og heksan), og alkoholer som metanol og etanol.

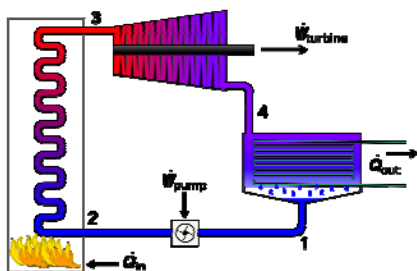


Fig 5.9 Prinsipløsning store CHP

Kilde:

http://en.wikipedia.org/wiki/Rankine_cycle

Store CHP

En variant som gjerne benyttes for store anlegg, er løsning som følger den s.k. Rankine syklusen.

Vann kokes og danner damp. Denne dampen driver en turbin hvor elektrisk energi hentes ut. Kondensat avkjøles og varme hentes ut.

Avkjølt vann pumpes tilbake til forbrennings-kammeret, og prosessen starter på nytt.

Felles for alle disse systemene, er at de benytter en energikilde for å drive en prosess.

Det er denne energikildens CO₂ belastning som vil være bestemmende for om energien hentet ut fra CHP-systemet kan kalles fornybar eller ikke.

Langt de fleste systemene som er i drift i dag er basert på fossile kilder, men utvikling retter seg også mot kompakte småanlegg basert på fornybar energi, i hovedsak biobasert, enten som flytende biodiesel eller faststoff.

Samspill

Innledningsvis er det nevnt at disse maskinene leverer elektrisk og termisk energi samtidig, med en fordeling på ca 35/65 %. For å utnytte innfyrt energi maksimalt, er det derfor viktig at mottakersystemet er i fase med denne leveranseprofilen til maskinene. Dette kan være en utfordring for systemer som leverer energi til kun ett bygg. Spillerommet øker dersom en kopler flere bygg sammen, for derigjennom levere overskuddsenergi mellom disse.

5.2.5 Varmepumper

Varmepumper fungerer omtrent som et omvendt kjøleskap. Energi fra et område med lav temperatur overføres til et område der det er et oppvarmingsbehov.

Varmepumper henter normalt varme ut fra tre hovedprinsipper: fra luft, vann eller grunnvarme (jord eller fjell ved hjelp av en sirkulasjonsledning). Varmen kan overføres via luft eller via vann (vannbåren varme). Ut fra dette opererer man med tre hovedprinsipper:

- vann-vann
- luft-vann
- luft-luft

Varme fra vann har tradisjonelt vært å foretrekke da varmekilden er mer stabil og effekten større enn fra luft. De siste årene har derimot luft-luft-varmepumper blitt vesentlig mer effektive, og lønnsomme spesielt for privathus.

COP

Kalles også varmefaktor. Finnes ved å dele avgitt effekt med tilført effekt, m.a.o hvor mange ganger mer varme som avgis i forhold til den elektrisiteten som tilføres. Jo høyere, desto bedre. Varierer med utetemperatur og hastighet på pumpen.

Årsvarmefaktor

Sier hvor mange ganger mer varme du får igjen i forhold til tilført elektrisitet gjennom fyringssesongen. Det vil si totalt oppvarmingsbehov dividert med summen av drivstrøm til pumpen og den tilleggsenergien du trenger til oppvarming på de dagene pumpene ikke klarer å levere nok varme. Jo høyere tall, desto bedre. Mange leverandører operer med optimistiske tall, ofte opp mot 4 for luft-luft varmepumper. Slike varmepumper ble testet i Forbrukerrapporten 2004 ved SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås. Høyeste resultat i testen var 3,3 forutsatt et godt isolert hus i et mildt klima.

Hvor effektiv varmepumpen er i forhold til hvor mye strøm den bruker, beskrives av dens COP-faktor. Produsentene angir gjerne bare ett COP-tall, oftest ved +7 °C. I hht EN 14511 skal det testes ved +7, +2, -7, og -15 °C. For Norge er det viktig å se på de to siste og årsvarmefaktor. En varmepumpe med COP rundt 4 for +7 °C har gjerne en COP rundt 2,5 ved -15 °C.

Man må regne med å tilleggsfyre når temperaturen kryper under -8 til -10 °C. I Trondheimsområdet synker temperaturene under dette nivået omtrent 15 ganger pr vinter.

Temperaturnormaler for Trondheim i perioden 1961 - 1990															
Nummer	Sted	h.o.h.	jan	feb	mar	apr	mai	jun	jul	aug	sep	okt	nov	des	år
68130	Trondheim - Moholt	118	-3,3	-2,7	-0,1	3,0	8,7	12,0	13,2	12,7	9,0	5,6	0,3	-2,0	4,7
68170	Trondheim - Tyholt	113	-3,1	-2,5	0,1	3,2	8,7	12,0	13,2	13,0	9,3	5,8	0,8	-1,5	4,9

Tab 5.2 Normaltemperatur for Trondheim. Kilde: Yr.no

Varmepumpetesten fra 2004 (over) viser at årsvarmefaktoren for luft-luftvarmepumper i Trondheim ligger rundt 2,5.

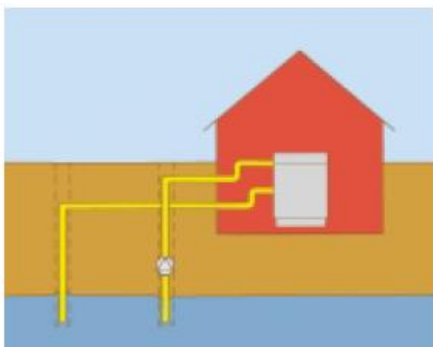


Fig 5.9 Prinsipløsning varmepumpe mot grunnvann.
Kilde: <http://www.melkerlita.lt/sildymas.htm>

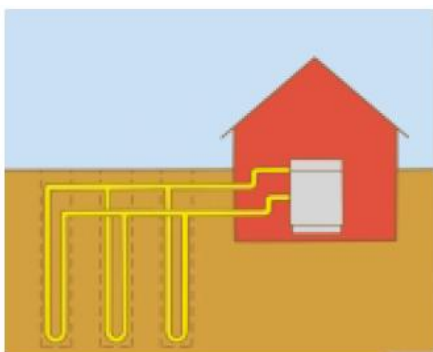


Fig 5.10 Prinsipløsning varmepumpe mot jordvarme/fjell.
Kilde: <http://www.melkerlita.lt/sildymas.htm>

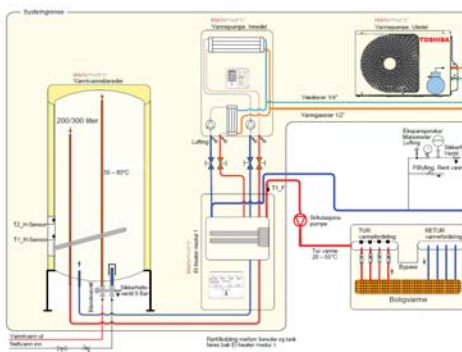


Fig 5.10 Prinsipløsning luft-vann varmepumpe.
Kilde: <http://www.toshibavarmepumper.no>

Vann-vann

Vann/vann-varmepumper henter termisk energi fra vannbårne kilder som grunnvann, sjøvann eller ferskvann. Disse kildene har ofte en mer stabil temperatur gjennom året enn det uteluften har. Spesielt er den høyere i fyringssesongen. Løsningen brukes gjerne til gulvvarme og forvarming av varmtvann.

- For å dekke energibehovet for en normal enebolig kreves for en jordvarmepumpe 200 til 400 meter slange og 200-600 m² areal for nedgraving av rør i 0,6 til 1,5 meters dybde. Dette er lite aktuelt for Brøset.
- Sjøvarme: Avstanden fra boligen til sjøen bør ikke være over 100 meter. Er avstanden lengre, vil kostnader og varmetap øke. Det er dermed ikke aktuelt for Brøset. Det finnes heller ingen aktuelle ferskvann eller elv som kilde.
- Bergvarme: Dypere enn 10 meter ned i fjellgrunnen er temperaturen jevn nesten hele året. I kystområdene i sør holder fjellet ca 7 °C og på Finnmarksvidda holder fjellet ca 2 °C hele året. Ved å bore ett eller flere hull 80-150 meter ned i fjellet kan en bergvarmepumpe hente varmen opp. Effektuttak 20-80 W/m, energiuttak 200-300 kWh/m.
- Spillvarme fra industri eller kloakk: Temperaturnivå i området 25-50 °C. Noe variasjon i utslipp både over døgn og år. Kan oppnå høy verdi på COP-faktoren og derved god lønnsomhet.
- Avløpsvann: Både temperatur og vannstrøm varierer en del over året. Urenset avløpsvann krever spesielle løsninger og gode driftsrutiner for å unngå groing.

Luft-vann

Varmepumpen henter varme fra uteluften og avgir varme til lavtemperatur oppvarming av bolig via vannbåren gulvvarme eller radiatorer. Varmepumper kan også brukes for oppvarming av vann til varmt tappevann (opp til 80 °C). Vannbårent varmedistribusjon anses å gi bedre innneklima/komfort enn luftbåren. Investeringen er lavere enn for vann/vann-varmepumper, men COP-faktoren reduseres ved lave utetemperaturer, i den perioden varmen trengs.

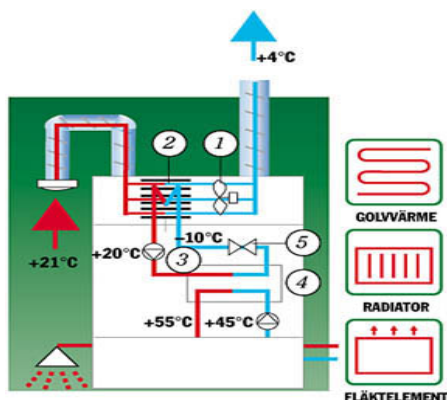


Fig 5.11 Prinsipløsning varmepumpe via avtrekksluft.

Kilde: www.ivt.s

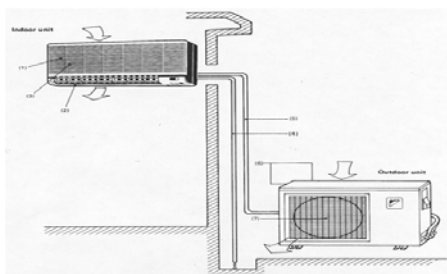


Fig 5.12 Prinsipløsning luft-luft varmepumpe.

Kilde: www.multiheat.no

Avtrekksluft

Varme hentes fra ventilasjonsluften som trekkes ut fra våtrom og kjøkken. Varmen brukes til oppvarming av tappevann i tillegg til formvarming av tilluft.

Dersom avtrekkslufta først varmeveksles med fristklufta (balansert ventilasjon) er det vesentlig mindre varme igjen å hente til varmepumpe, med tilhørende reduksjon av dennes COP faktor.

Luft-luft

Luft/luft-varmepumper henter energi fra uteluften og leverer energi i form av varm luft innendørs. Det er en lav investering og enkel installasjon. Den kan filtrere inne-luften, og gir muligheter for kjøling om sommeren. Løsningen gir en mindre stabil tilgang på varme, spesielt på kalde dager, og det er viktig å sjekke COP-faktor og årsvarmefaktor. I tillegg er det viktig å sjekke lydnivå for innedelen for å unngå støyplager (ofte 50-60 dB, hvilket er høyt. Nye typer stadig bedre).

Luft/luft-varmepumper er den typen det selges mest av i Norge. De fleste varmepumpene av denne typen er på 4 til 7 kW, koster mellom 10 000–25 000 kroner, og kan levere opp til 50 kW varmeeffekt. Avhengig av geografisk plassering, kraftpriser og bygningsmessige forhold, vil innsparingstiden for en slik varmepumpe være tre til seks år.

5.2.6 Lokal mikrovannkraftverk



Fig 5.13 Viktigste komponenter i et vannkraftverk: Inntaksrør m/ventil, turbin, elektrotavle for kontroll av maskiner samt leveranse av strøm til nettet.

Kilde: Energiteknikk.no

5.2.7 Fjernvarme

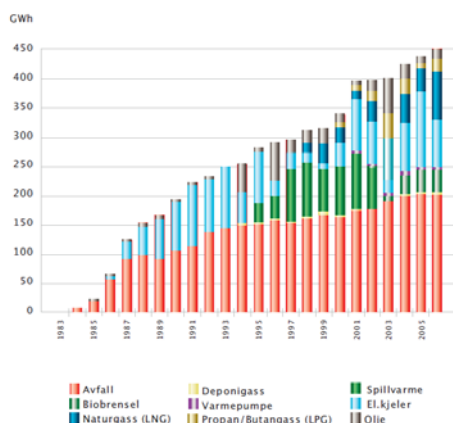


Fig 5.14 Energikilder benyttet til oppvarming av fjernvarmevann i Trondheim.
Kilde: Trondheim Energi Fjernvarme

Fjernvarme er en energibærer hvor energien som fyres inn i varmesentralen omdannes til termisk energi og transporteres som varmt vann fram til sluttbruker. Som for CHP-systemet vil det være sammensetningen og utslippsverdier for det man benytter til produksjon av varmt vann som bestemmer klimabelastningen (jmf kapittel 3.1). Da det ikke finnes omforente nasjonale verdier knyttet til bla. avfall og elektrisk energi, vil beregning av miljøbelastning for fjernvarme variere mye avhengig av hvordan særlig disse to kildene vurderes:

	Kwh/år (prognose)	Utslipp [kg CO ₂ /kWh brennverdi]	Årsgjennomsnittlig fyringsteknisk virkningsgrad	Utslipp [kg CO ₂ /kWh til FV]	Utslipp [kg CO ₂ /år til FV]
Avfall ¹	400.000.000	0,096	0,85	0,113	45.176.471
Biobrensel ²	155.000.000	0,015	0,90	0,017	2.583.333
Varmepumpe ³	5.000.000	0,210	3,00	0,070	350.000
El.kjeler	50.000.000	0,210	1,00	0,210	10.500.000
Naturgass (LNG)	41.000.000	0,211	0,90	0,234	9.612.222
Propan/Butangass (LPG)	52.000.000	0,211	0,90	0,234	12.191.111
Olje	7.000.000	0,284	0,90	0,316	2.208.889
SUM	710.000.000				82.622.026
UTSLIPP/kWh til fjernvarme				0,116	

Tab 5.3 Beregning av utslippsdata for fjernvarme i Trondheim. Innfyrt mengde (GWh) basert på prognose 2020.

- 1) Avfall : Verdi avfall er basert på plukkanalyse utført 2006.
Beregnet energiinnhold lik 2.5 kWh/kg restavfall. Utslipp beregnet lik 240 kg CO₂/tonn restavfall.
- 2) Biobrensel : Basert på noe utslipp i forbindelse med produksjon og transport.
- 3) Varmepumpe : Tilført elektrisk energi = levert varmeenergi/3 (COP=3)

Med et tap i ledningsnett tilsvarende ca 8 %, gir dette en prognose ₂₀₂₀ for CO₂ utslipp pr. levert kWh fjernvarme, lik 0,125 kg CO₂/kWh levert FV, bygg

CO₂-faktor:

Fjernvarme 125 g/kWh levert

5.3. Energibehov og energiforsyning i samspill

5.3.1 On/Off - Grid løsninger



Fig 5.15 Hytteanlegg uten tilkoping til eksternt el-anlegg

Kilde: www.getek.no



Fig 5.16 Bygning frakoplet el-nettet

Kilde: www.getek.no



Fig 5.17 Fundamenter gjort ferdig, og huset er klar til å bygges. Teknisk infrastruktur er også lagt fram og kan etter hvert koples til installasjoner i huset. Elektriske kabler, fjernvarme, vann og avløp. Foto: SINTEF Byggforsk

Off grid

Går en tilbake et par tre generasjoner var det ikke uvanlig at bygninger ute på landsbygda var uten elektrisk forsyning. Innenfor kategorien fritidsboliger har vi imidlertid fram til i dag lang tradisjon for å bygge og beholde hytter koplet fra all teknisk infrastruktur.

Det finnes imidlertid også noen få eksempler på bygninger hvor en forsøker å kople seg fra nettet, men samtidig opprettholde en moderne infrastruktur innomhus.

Et eksempel er produksjonsbedriften GETEK AS hvor bygningen forsynes med strøm produsert via egne solceller. Tilleggsenergi skaffes via et biodieselaggregat. I praksis et nær 0-utslippsbygg, (men ikke 0-energi).

On Grid. Uttak

Sett fra en bygnings side kan en grid eller nettverk i energisammenheng fungere som en buffer eller stort energireservoar.

I moderne tid har norske bygninger vært koplet til el-nettet, og tatt ut den elektriske energimengden en til enhver tid har hatt behov for. I byer og tettsteder har fjernvarme etter hvert fungert på samme måte på varmesiden, dog har bygninger gjennom konsesjonsbestemmelser i alminnelig vært pålagt å knytte seg til slike nett. I senere tid har det i enkelte regioner også vært bygd ut et nettverk basert på naturgass, som bygninger kan knytte seg til.⁶

Felles for alle disse systemene er imidlertid at det i alminnelighet ikke har vært levert energi tilbake til nettet.

⁶ Distribuert kullbasert gass via nettverk "Bygass" var ikke uvanlig i en del norske byer i begynnelsen av 1900 tallet.



Fig 5.18 Mosjøen Aluminiumsverk.

Kilde: Teknisk Ukeblad



Fig 5.19 NorOne

Kilde: www.NorOne.no



Fig 5.20 Micro CHP. Anlegget benytter biodiesel for å produsere elektrisk energi og varmt vann

On grid. Leveranse

Med tanken om nettet fungerende som et reservoar, er det en mulighet for å levere energi ut på dette.

Ideen om dette møter stor gjenklang innenfor forskningsmiljøer verden rundt.

Bygningen kan i slike tilfeller huse små energiverk hvor det produseres både elektrisk og termisk energi. Det meste vil kunne brukes i bygningen, men i perioder kan overskuddsenergi eksporteres ut på nettet. Fordelen med et slikt system kan være redusert tap ved energitransport i korte nett (overføringstap).

I tillegg kan det argumenteres med at slike desentraliserte løsninger er mer robuste.

Dette er en relativ vanlig løsning særlig innenfor kraftkrevende prosessindustri. I eksempelet fra Mosjøen Aluminium, benyttes store mengder elektrisk energi til smelteprosessen. Prosessen skaper videre store mengder med overskuddsvarme som leveres ut på fjernvarmenettet, til videre bruk av abonnenter.

Et annet eksempel er 0-energi bygget NorOne. I dette tilfellet er utgangspunktet et passivhus, hvor det er gjort ytterligere tiltak for å redusere behovet for energi. I tillegg er bygningen planlagt med et solcelleanlegg som gjennom sommerhalvåret leverer energi ut på det ordinære strømmettet. Gjennom vinterhalvåret kjøpes en tilsvarende energimengde fra det samme nettet.

Tilsvarende løsning for lokal (små)leveranse til et fjernvarmenett er ikke kjent i Norge.

Et microcogen anlegg plassert i en bygning (figur 5.20) kan imidlertid være en aktuell teknologi for leveranse og uttak fra nettet:

Anlegget produserer elektrisk og termisk energi etter husets behov. Eventuelt overskytende energi(type) sendes ut på et tilkoplett nett. Nabobygget som er tilkoplett på samme måte, kan deretter ved behov velge om også denne skal produsere egen energi eller benytte overskuddsenergi fra nabobygget.

Det er imidlertid viktig å være klar over at denne teknologien i alminnelighet benytter en tiltransportert energikilde til produksjon av energi. Pr. i dag er dette vanligvis gass eller diesel, som altså omvandles til elektrisk og termisk energi. Bygget er altså ikke energi-produserende, selv om det kan forsyne omgivelsene med både elektrisk energi og varme (se også kap 5.2.4).

5.4. Fjernvarme - Nærvarme



Fig 5.21 Typisk rørgate i et fjernvarmeanlegg. Ofte legges annen teknisk infrastruktur i grøfta samtidig.
Kilde: www.West-Team.no



Fig 5.22 Rørgate i et nærvarmeanlegg.
Kilde: www.Grip.no



Fig 5.23 Klimatiske forhold kan skape lokale forurensinger. Eksempelet viser bakkeinversjon grunnet ulike temperaturer i luftlagene over utslippsted

Teknisk eksisterer det ikke noe vesensforskjell mellom et fjernvarme-, og et nærvarmeanlegg.

Dersom en imidlertid forbeholder begrepet ”fjernvarme” til et konsesjonsbelagt varmforsyningsområde, vil kravet til dette anlegget være en varmeytelse større enn 10 MW.

Et nærvarmeanlegg kan definisjonsmessig forbeholdes alle anlegg med ytelse under denne verdien. Slike anlegg kan videre i noen tilfeller utformes litt enklere teknisk.

Fjernvarme

Fordi anlegget skal dekke mange ulike bygningskategorier med forskjellig teknisk standard, vil vanntemperaturen i slike anlegg erfaringsmessig ligge relativt høyt. Typiske verdier vinterstid, $T_{\text{tur-max}} = 115\text{ }^{\circ}\text{C}$, og $T_{\text{retur-min}} = 65\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Nivået på returtemperaturen gjør at systemet i utgangspunktet egner seg dårlig for utnyttelse av solfanger og/eller varmepumpesystemer. Av samme grunn vil det være en teknisk utfordring å levere energi til nettet fra tilkoblede bygninger.

Utslipp

Gjennom konsesjonsbetingelsene er produksjonsstedene for fjernvarme underlagt strenge krav til maksimalt utslipp. Disse kravene omhandler flere fraksjoner enn CO_2 .

Nærvarmeanlegg

Et nærvarmeanlegg dekker et mindre antall bygninger, og det kan være enklere å ha kontroll på temperaturnivået i dette nettet.

Tilsvarende kan temperaturnivået senkes, og åpne opp for lettere tilgang til leveranse inn og fra tilknyttede bygninger og systemer.

Geobasert forsyning

Et aktuelt system kan være basert på geobasert varmepumpe (kap 5.2.5). Systemet kan videre bygges ut til også å inkludere solfangere som kan benyttes til å heve temperaturen i grunnen sommerstid. En kan gjennom dette oppnå en svært god COP-faktor for varmepumpesystemet, med tilhørende lav CO_2 -belastning for den leverte varmen. Systemet har imidlertid noen utfordringer i CO_2 sammenheng all den tid drift av maskineri (kompressor og pumper) er basert på elektrisk energi.

6. Styring og regulering

6.1. Bygningsnivå



Fig 6.1 Eksempel på et moderne avlesningspanel for energibruk. Viser momentant og akkumulert energibruk.
Kilde: CTM Utvikling AS

6.1.1 Lav-teknologi



Fig 6.2 Eksempel på et lav-teknologi produkt. All unødvendig elektrisk energi i boligen slås av fra en felles bryter.

6.1.2 Høy-teknologi



Fig 6.3 Eksempel på et høy-teknologi produkt. Gir mulighet for optimalisering og fininnstilling av driftstider, temperaturnivå etc.

I praksis trengs det løsninger for styring og regulering av systemer med hensikt å redusere behov for energi, minimalisere levert energimengde inn for å dekke behovet, og eventuelt eksportere energi ut til et energinettverk.

Generelt ønsker en så enkle og selvregulerende systemer som mulig. Selvregulerende systemer kommer særlig til sin anvendelse ved reduksjon av effektbehov. Bruk av termisk tunge materialer eksponert mot varmebelastede rom er eksempel på slike systemer. For regulering av levert energi vil termostattstyring av oppvarmingskilder være eksempel på et enkelt reguleringssystem. Teknologien er robust og grensesnittet mot bruker er intuitivt og i regelen lettforståelig.

Utnyttelsen av termisk tunge materialer kan optimaliseres ved eksempelvis å aktivt tilføre mer overskuddsenergi i perioder. I så fall vil en som regel trenge et mer avansert styrings og reguleringssystem.

Med et mer avanserte system kan man i tillegg til å senke temperaturen, slå av/på/dimme lys, koble ut brannfarlig utstyr som TV, komfyr og kaffetrakter som ofte står i stand by, overvåke/alarm, varsle vaktsentral mm. Slike system kan styres fra en sentral enhet i huset, fra en PC via Internett eller SMS.

Felles for slike systemer at er de i tillegg til å inneha flere funksjoner og gjennomgående mer elektronikk, også lett kan ende opp i et mer komplisert og vanskelig grensesnitt mot bruker.

6.1.3 Brukervennlighet

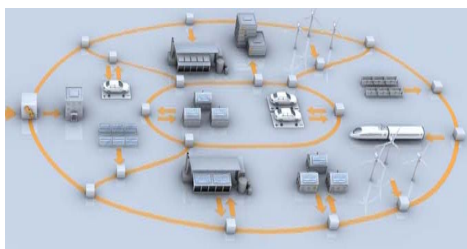
For å etablere et robust og brukervennlig system, som samtidig ivaretar funksjonen, vil en måtte ta en avveining mellom høy og lav teknisk vanskelighetsgrad. Det ideelle system vil ha et enkelt og intuitivt grensesnitt mot bruker, i kombinasjon med et tilstrekkelig teknisk avansert reguleringsystem. Generelt vil grad av teknisk nivå avta jo enklere system som skal reguleres. (Jmfr. Kyotopramiden fra kapittel 1)

6.1.4 Ekstern styring og overvåkning

Med et system tilkoplek Internett, er ikke veien lang til å la eksterne aktører, eksempelvis netteier eller energileverandører, overta deler av styringsfunksjonene. Et eksempel her kan være å slå av bygnings oppvarmingssystem i korte perioder hvor effektuttak til varmt forbruksvann erfaringsmessig er stort (eksempelvis morgen mellom 07.00 – 09.00). Dette vil ikke ha stor betydning for totalt energibruk, men betyr mye for effektuttak og derved dimensjonering av størrelsen på leveranseanlegget.

En annen anvendelse er overvåkning, og tidlig varsling til byggeier/bruker dersom energibruken er unormalt høy.

6.2. Områdenivå



Dersom en ser for seg en grid-løsning hvor energiforsyning til bygninger er koplet sammen og står i et import/eksport forhold til hverandre, fordrer dette en løsning som for det første gjør dette installasjonsteknisk mulig. Selv om løsningen på ingen måte kan sies å være vanlig i dag, er det i teorien relativt enkelt å etablere slike systemer, og enkelte pilotinstallasjoner finnes.

Fig 6.4 Skjematisk framstilling av en "smart-grid". Kilde: Siemens

En like stor utfordring kan ligge i å optimalisere systemet. I teorien vil et slik system virke som dagens kraftbørs (Norpool), hvor hver bygning vil opptre som en behovs,- og produksjonsenhet. Utfordringen vil da ligge i å sette sammen og balansere en behovs,- og produksjonsportefølje. Systemet forenkles betraktelig dersom en kan benytte et el,- og varmenett som ligger utenfor området som buffer ("batteri").

7. Case; Brøset

For å belyse virkningen av ulike konsepter er det i det etterfølgende gjort noen enkle vurderinger av mulige tiltak i bygningsmassen og energiforsyning for Brøset.

Som en forenkling er det tatt utgangspunkt i bygningskategorien småhus, som kan tjene som et vektet gjennomsnitt av utbyggingen.

7.1. Teknisk forskrift (TEK 10)

TEK 10	Energibehov	Leverte energi		CO ₂ -belastning		
	[kWh/m ² år]	Virkningsgrad	[kWh/m ² år]	kg/kWh	kg/år m ²	Reduksjon ref TEK10 [%]
Elektrisk	42	1,00	42	0,210	8,8	0
Oppvarming, FV	53	0,85	62	0,125	7,8	0
Varmt forbruksvann, FV	30	0,85	35	0,125	4,4	0
SUM	125		140		21,0	0

Tab 7.1 Referanse.

Område utbygget ihht. teknisk forskrift (TEK 10). Energiforsyning; elektrisk samt fjernvarme

Området vil ha en beregningsmessig CO₂-belastning på 21 kg CO₂/m² år.

7.2. Passivhus

TEK 10	Energibehov	Leverte energi		CO ₂ -belastning		
	[kWh/m ² år]	Virkningsgrad	[kWh/m ² år]	kg/kWh	kg/år m ²	Reduksjon ref TEK10 [%]
Elektrisk	33	1,00	33	0,210	6,9	21
Oppvarming, FV	22	0,85	26	0,125	3,2	58
Varmt forbruksvann, FV	30	0,85	35	0,125	4,4	0
SUM	85		94		14,6	31

Tab 7.2 Passivhus.

Området utbygget som passivhus. Energiforsyning; elektrisk samt fjernvarme

Med dette tiltaket reduseres den beregningsmessige CO₂-belastningen til ca 15 kg/m² år. En reduksjon i forhold til TEK10 på ca 30 %.

7.3. Passivhus + lokal biobasert nærvarme

TEK 10	Energibehov	Leverte energi		CO ₂ -belastning		
	[kWh/m ² år]	Virkningsgrad	[kWh/m ² år]	kg/kWh	kg/år m ²	Reduksjon ref TEK10 [%]
Elektrisk	33	1,00	33	0,210	6,9	21
Oppvarming, bio	22	0,85	26	0,014	0,4	95
Varmt forbruksvann, bio	30	0,85	35	0,014	0,5	89
SUM	85		94		7,8	63

Tab 7.3 Passivhus+ nærvarme.

Område utbygget som passivhus. Energiforsyning; elektrisk samt biobasert nærvarme

Med dette tiltaket reduseres den beregningsmessige CO₂-belastningen til ca 8 kg/m² år. En reduksjon i forhold til TEK10 på drøye 60 %.

7.4. Passivhus + lokal biobasert nærværme + innslag av solcelle

TEK 10	Energibehov	Lever energi		CO ₂ -belastning		
	[kWh/m ² år]	Virkningsgrad	[kWh/m ² år]	kg/kWh	kg/år m ²	Reduksjon ref TEK10 [%]
Elektrisk	33	1,00	33	0,210	6,9	
Solfanger			-15	0,210	-3,2	
Netto levert elektrisk			18		4	57
Oppvarming	22	0,85	26	0,014	0,4	95
Varmt forbruksvann	30	0,85	35	0,014	0,5	89
SUM	85		79		5	78

Tab 7.4 Passivhus+ nærværme+solcelle.

Området utbygget som passivhus. Energiforsyning; elektrisk samt biobasert nærværme

Med dette tiltaket reduseres den beregningsmessige CO₂-belastningen til ca 5 kg/m² år. En reduksjon i forhold til TEK10 på drøye 75 %.

8. Referanser

8.1. Energibehov

NS 3700: 2010. Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger
(<http://www.standard.no>)

Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg

Forfattere: Tor Helge Dokka, Michael Klinski, Matthias Haase og Mads Mysen. ISBN 978-82-536-1107-5 (pdf). 2009
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

Fremtidens energiløsning i større boligutviklingsprosjekter – Jåtten Øst II som case

Forfattere: Tor Helge Dokka, Tore Wigenstad og Kristian Lien. ISBN 978-82-536-1085-6 (trykt). ISBN 978-82-536-1086-3 (pdf). 2009
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

LECO. Fra normbygg til Faktor 10. Mulig vei for å redusere energibruken med 90 % i et kontorbygg Forfattere: Tore Wigenstad og Catherine Grini. ISBN 978-82-536-1132-7 (pdf). 2010
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

8.2. Energiforsyning

Energieffektive boliger for fremtiden. -En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger. Forfatter: Tor Helge Dokka og Kätthe Hermstad. SHC Task 28/ECBCS Annex 38: Sustainable Solar Housing. 2006

Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon

Forfatter: Inger Andresen. ISBN 978-82-536-1027-6 (trykt). ISBN 978-82-536-1035-1 (pdf). 2008
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard. Forfatter: Jørn Stene. 2006
(<http://www.husbanken.no/Venstremeny/bibliotek/Oppvarmingssystemer%20for%20lavenergiboliger.aspx>)

8.3. Lavutslippskonsepter

Eksempelsamlinger mm. samlet under prosjektnettstedet:
<http://brozed.wordpress.com/project-examples/>

7.4. Passivhus + lokal biobasert nærværme + innslag av solcelle

TEK 10	Energibehov	Lever energi		CO ₂ -belastning		
	[kWh/m ² år]	Virkningsgrad	[kWh/m ² år]	kg/kWh	kg/år m ²	Reduksjon ref TEK10 [%]
Elektrisk	33	1,00	33	0,210	6,9	
Solfanger			-15	0,210	-3,2	
Netto levert elektrisk			18		4	57
Oppvarming	22	0,85	26	0,014	0,4	95
Varmt forbruksvann	30	0,85	35	0,014	0,5	89
SUM	85		79		5	78

Tab 7.4 Passivhus+ nærværme+solcelle.

Området utbygget som passivhus. Energiforsyning; elektrisk samt biobasert nærværme

Med dette tiltaket reduseres den beregningsmessige CO₂-belastningen til ca 5 kg/m² år. En reduksjon i forhold til TEK10 på drøye 75 %.

8. Referanser

8.1. Energibehov

NS 3700: 2010. Kriterier for passivhus og lavenergihus – Boligbygninger
(<http://www.standard.no>)

Kriterier for passivhus- og lavenergibygg – Yrkesbygg

Forfattere: Tor Helge Dokka, Michael Klinski, Matthias Haase og Mads Mysen. ISBN 978-82-536-1107-5 (pdf). 2009
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

Fremtidens energiløsning i større boligutviklingsprosjekter – Jåtten Øst II som case

Forfattere: Tor Helge Dokka, Tore Wigenstad og Kristian Lien. ISBN 978-82-536-1085-6 (trykt). ISBN 978-82-536-1086-3 (pdf). 2009
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

LECO. Fra normbygg til Faktor 10. Mulig vei for å redusere energibruken med 90 % i et kontorbygg Forfattere: Tore Wigenstad og Catherine Grini. ISBN 978-82-536-1132-7 (pdf). 2010
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

8.2. Energiforsyning

Energieffektive boliger for fremtiden. -En håndbok for planlegging av passivhus og lavenergiboliger. Forfatter: Tor Helge Dokka og Kätthe Hermstad. SHC Task 28/ECBCS Annex 38: Sustainable Solar Housing. 2006

Planlegging av solvarmeanlegg for lavenergiboliger og passivhus. En introduksjon

Forfatter: Inger Andresen. ISBN 978-82-536-1027-6 (trykt). ISBN 978-82-536-1035-1 (pdf). 2008
(<http://www.sintef.no/Byggforsk/Publikasjoner/Prosjektrapporter/>)

Oppvarmingssystemer for boliger av lavenergi- og passivhusstandard. Forfatter: Jørn Stene. 2006
(<http://www.husbanken.no/Venstremeny/bibliotek/Oppvarmingssystemer%20for%20lavenergiboliger.aspx>)

8.3. Lavutslippskonsepter

Eksempelsamlinger mm. samlet under prosjektnettstedet:
<http://brozed.wordpress.com/project-examples/>

SINTEF er Skandinavias største forskningskonsern. Vår visjon er «Teknologi for et bedre samfunn». Vi skal bidra til økt verdiskapning, økt livskvalitet og en bærekraftig utvikling. SINTEF selger forskningsbasert kunnskap og tilhørende tjenester basert på dyp innsikt i teknologi, naturvitenskap, medisin og samfunnsvitenskap.

SINTEF Byggforsk er et internasjonalt ledende forskningsinstitutt og Norges viktigste formidler av forskningsbasert kunnskap til bygge- og anleggsnæringen. Vi skaper verdier for våre kunder og for samfunnet gjennom forskning og utvikling, spesialrådgivning, sertifisering og kunnskapsformidling. Våre publikasjoner omfatter Byggforskserien, Byggebransjens våtromsnorm, håndbøker, rapporter, faktabøker og beregnings- og planleggingsverktøy.

