

Peter Blom, Trine Dyrstad Pettersen,
Mads Mysen

Energieffektivitet i bygninger

Trender i energibruk og byggeteknikk

BYGGFORSK

Norges byggforskningsinstitutt

Peter Blom, Trine Dyrstad Pettersen,
Mads Mysen

Energieffektivitet i bygninger

Trender i energibruk og byggeteknikk

Prosjektrapport 247– 1999

Prosjektrapport 247
Peter Blom, Trine Dyrstad Pettersen, Mads Mysen
Energieffektivitet i bygninger
Trender i energibruk og byggeteknikk

Emneord: varmeisolasjon, energiforbruk, ventila-
sjonsanlegg

ISSN 0801-6461
ISBN 82-536-0631-1

200 eks. trykt av
S.E. Thoresen as
Innmat:100 g Fortuna
Omslag: 200 g Cyclus

© Norges byggforskningsinstitutt 1999

Adr.: Forskningsveien 3 B
Postboks 123 Blindern
0314 OSLO
Tlf.: 22 96 55 00
Faks: 22 69 94 38 og 22 96 55 42

Forord

Rapporten er en utredning laget på oppdrag for Byggenæringens Landsforening. Utredningen er et faglig grunnlagsmateriale for NHOs årskonferanse 5. januar 1999. Rapporten tar opp energieffektivitet i eksisterende og nye bygninger, både i boliger og yrkes-/servicebygninger. Rapporten gir en kortfattet oversikt over aktuelle tekniske tiltak og effektiviseringspotensialer.

Innhold

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Innledning..... | 6 |
| 2 | Energibruk i bygningssektoren | 6 |
| 2.1 | Utviklingstrekk i energibruken i Norge | 7 |
| 2.2 | Energibruk i bygninger | 9 |
| 2.2.1 | Energibruk i boliger | 10 |
| 2.2.2 | Energibruk i yrkes- og servicebygninger | 12 |
| 2.3 | Energibruk i andre land..... | 13 |
| 3 | Energieffektivitet i bygninger - vurdering av teknologi | 14 |
| 3.1 | Energieffektivitetens plass i byggeprosessen..... | 15 |
| 3.2 | Byggeteknikk | 15 |
| 3.2.1 | Bygningsform, planløsning og energibruk..... | 15 |
| 3.2.2 | Varmeisolasjon og lufttetthet | 16 |
| 3.2.3 | Vinduer..... | 18 |
| 3.2.4 | Solavskjerming..... | 19 |
| 3.3 | Vannforbruk, belysning og tekniske innretninger..... | 20 |
| 3.3.1 | Vannforbruk | 20 |
| 3.3.2 | Belysning..... | 20 |
| 3.3.3 | Tekniske innretninger..... | 21 |
| 3.4 | Ventilasjonsteknikk..... | 22 |
| 3.4.1 | Ventilasjon i småhusboliger | 22 |
| 3.4.2 | Ventilasjon i yrkesbygninger | 23 |
| 3.5 | Oppvarming, kjøling og styringssystemer | 27 |
| 3.5.1 | Elektrisk oppvarming i småhus | 27 |
| 3.5.2 | Vannbåret varme i småhus | 28 |
| 3.5.3 | En energieffektiv småhusbolig..... | 29 |
| 3.5.4 | Oppvarming i yrkesbygninger..... | 30 |
| 3.5.5 | Kjøling i yrkesbygninger..... | 31 |
| 3.5.6 | Styringssystemer i yrkesbygninger | 32 |
| 3.6 | Energisystemer..... | 32 |
| 4 | ENØK-potensiale | 33 |
| 4.1 | Om lønnsomhet, årskostnader, kost/nytte og optimalisering | 33 |
| 4.2 | Sparepotensial i eksisterende bygninger | 34 |
| 4.3 | Sparepotensial i nye bygninger | 34 |
| 4.4 | Potensiale i fornybare energikilder | 36 |
| 5 | Virkemidler i ENØK-arbeidet..... | 37 |
| 5.1 | Økonomiske rammebetingelser..... | 37 |
| 5.2 | Kompetanse, teknologi og planlegging..... | 38 |
| 5.3 | Bestemmelser i Byggeforskriften..... | 38 |
| 5.4 | Anbefalinger i NOU 1998 | 38 |
| 5.5 | Perspektiver og virkemidler i andre land | 39 |
| 5.5.1 | Danmark..... | 39 |
| 5.5.2 | Sverige..... | 40 |
| 5.6 | Forsknings- og utviklingsbehov | 40 |
| 6 | Konklusjon | 40 |
| | Referanser..... | 41 |

Sammendrag

Energibruken per år i Norge øker mer enn utbyggingskapasiteten til vannkraft og annen fornybar energi bygges ut. Bare i løpet av de tre første kvartalene i 1998 har bruken økt med 5 % i forhold til 1997. Norge er nå avhengig av å importere elektrisk kraft ca. hvert 2-3 år, noe som representerer et trendskifte i norsk energiforsyning. Økningen i energibruken i bygningsmassen skyldes først og fremst en økning i oppvarmet areal.

Samtidig registreres at utbyggingstakten av vannbårne varmesystemer basert på nye fornybare energikilder er svært lav. Antall gjennomførte prosjekter pr. år monner lite i forhold til den økende elektrisitetsbruken. Det samme kan sies å gjelde generelle energispare- og energieffektiviseringstiltak.

Denne rapporten har pekt på en rekke tekniske muligheter for økt energieffektivisering. Blant anbefalte tiltak i småhus vil vi framheve:

- Styringssystemer for temperatur og effekt i småhus
- Etterisolering og lufttetting
- Ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning
- Lav-temperatur, vannbåret varmeanlegg

Mange yrkesbygninger bruker mye mer energi enn nødvendig. Eksempler på aktuelle tiltak:

- Mer energieffektiv viftedrift (innføring av krav til SFP-faktor (spesifikk vifte-effekt))
- Redusere interne varmelaster (energieffektiv belysning)
- Behovsstyrt ventilasjon
- Unngå løsninger som gir stort kjølebehov (eks. kontorbygninger med dårlig solavskjerming og store interne varmelaster)
- Lokale kjøle- og oppvarmingssystemer
- Vannbåret oppvarmingssystem i tilknytning til varmepumpe, spillvarme e.l.

I tillegg til tekniske tiltak for energieffektivisering fokuserer rapporten på nødvendige tiltak innen forskning, teknologiutvikling og planlegging:

- Høyere kompetanse i planlegging, installasjon og drift av vannbårne varmesystemer og nye fornybare energikilder
- Bevisstgjøring og økt kompetanse hos sluttbruker
- Bedre rammebetingelser for forskning og produktutvikling
- Stimulere til at energispørsmål inkorporeres bedre i planleggingsprosessen, både i region- og områdeplanlegging og i planleggingen av den enkelte bygning.

Utviklingen når det gjelder kraftproduksjon og bruksmønster i Norge de siste årene tilsier at det nå må settes inn nye virkemidler for å få bedre energieffektivitet i norske bygninger.

Energieffektivitet i bygninger

1 INNLEDNING

De siste årene er det oppstått en ny situasjon når det gjelder elektrisitets- og energiforsyning i Norge. For det første har vi de siste årene blitt avhengige av import av elektrisk kraft fra andre land, etter mange års stigende elektrisitetsbruk og moderat utbygging av ny vannkraft. For det andre vokser det fram internasjonale avtaler (Kyoto) som skal begrense utslippet av klimagasser til atmosfæren.

I stortingsmelding nr 58 (1997-97), lagt fram av Jagland-regjeringen, etableres et mål om at all innenlandsk bruk av elektrisitet skal dekkes med fornybare energikilder i et normalår. Denne målsetningen ble fulgt opp av regjeringen Bondevik. Det angis også mål om å dempe veksten i energibruken i Norge, øke bruken av nye fornybare energikilder som bio-, vind-, solenergi og varmepumper og øke bruken av bioenergi og vannbåret varme med omlag 5 TWh i løpet av de neste 5 – 10 årene.

Økningen i energibruken og de internasjonale klimaavtalene fører til at vi må:

- Spare energi (senke innetemperaturer, unngå sløsing med varmtvann, lys etc.)
- Øke energieffektiviteten (isolere, gjenvinne varme, etc.)
- Utnytte nye energikilder til oppvarming

Utnyttelse av nye energikilder til oppvarming krever normalt en form for et vannbåret varmesystem i bygningen. Da ligger også forholdene til rette for energifleksibilitet, som tradisjonelt defineres som muligheten til å benytte flere energikilder til oppvarmingsformål, romkjøling eller vannvarming. En forutsetning for energifleksibilitet er også at selve energisentralen må være utformet for å kunne ta i bruk to eller flere av energikildene elektrisitet, sol, varmepumpe, biobrensel, olje og gass.

Situasjonen på kraftmarkedet i Norge er grundig utredet i NOU 11/98, utarbeidet etter kongelig resolusjon av 16. april 1997. Utredningen ender opp i en rekke vurderinger og anbefalinger fra det regjeringsoppnevnte utvalget om tiltak som bør gjennomføres. En annen sentral rapport er publikasjon 1/98 fra NVEs byggoperatør: "Energifleksibilitet i bygningsmassen". Publikasjonen legger opp til en strategi med forslag til virkemidler for økt energifleksibilitet.

Denne rapporten utfyller de to ovennevnte publikasjoner med ved å gå nærmere inn på mulighetene for energieffektivisering i bygninger. Rapporten inneholder:

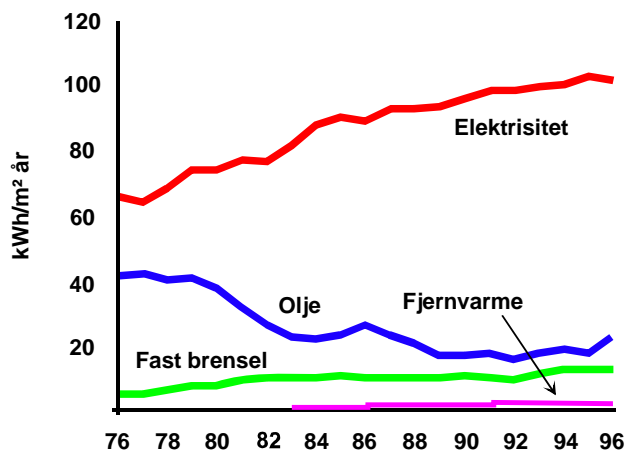
- Kort oppsummering av statistiske data om energibruk og bygningsmassen
- Energieffektivitet i bygninger – teknologisk status i eksisterende og nye bygninger
- Oppsummering av potensialet for energieffektivisering og energisparing
- Aktuelle tiltak for økt energieffektivitet og –fleksibilitet

2 ENERGIBRUK I BYGNINGSSEKTOREN

2.1 Utviklingstrekk i energibruken i Norge

Den totale nasjonale bruken av energi var i 1996 i underkant av 230 TWh. Av dette utgjør transportsektoren 90 TWh (40 %), slik at all annen energibruk (dvs. stasjonære formål) utgjør omlag 140 TWh.

Elektrisitet og petroleumsprodukter har vært de dominerende energibærerne i norsk energibruk til stasjonære formål de siste 30 årene. I de siste årene representerte disse to energibærerne til sammen omtrent 90 % av energi levert til stasjonær bruk. Forholdet mellom elektrisitet og olje brukt til stasjonære formål har endret seg sterkt i retning av relativt mer bruk av elektrisitet i løpet av perioden. Figur 1 viser utviklingen av den stasjonære energibruken fordelt på energibærere i perioden 1976 til 1996.



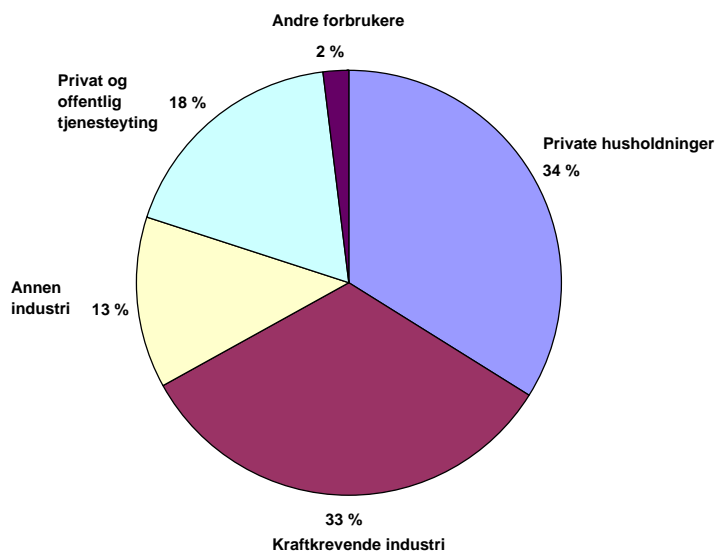
Figur 1

Utvikling i stasjonært energibruk i Norge fordelt på energibærere. 1976-1996. Elektrisitet utgjorde omlag 70 % av den netto stasjonære energibruken. Da 1996 var et spesielt år med uvanlig lite tilsig og høye priser på elektrisitet, var bruken av elektrisitet lavere enn normalt. Samtidig steg bruken av fyringsolje.

SSB, energistatistikk 1976-1996. Bearbeidet for energiutredningen NOU 1998:11.

Samlet sett økte den stasjonære energibruken med ca. 23 %, dvs. i gjennomsnitt med om lag 1 % per år. Elektrisitetsbruken har økt med mer enn 50 % i perioden 1976-1996, dvs. vel 2 % årlig.

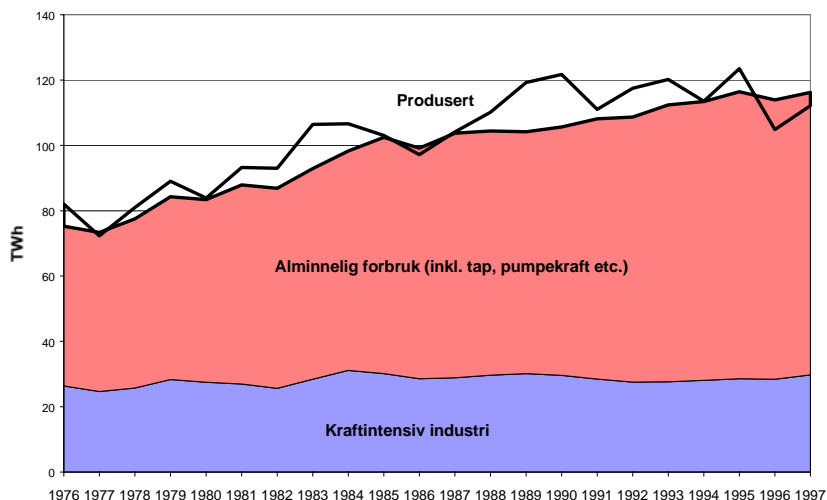
Figur 2 viser energibruk i ulike sektorer. De to største brukssektorene i 1996 var private husholdninger og kraftkrevende industri. Dette tilsvarte 34 og 33 prosent av den stasjonære energibruken i 1996.



Figur 2
Energibruk i ulike sektorer
SSB, Energistatistikk 1996. Bearbejdet for energiutredningen NOU 1998:11.

Norge står i en særstilling i Europa med en elektrisjtsproduksjon som er så å si 100 % basert på vannkraft. Per januar 1998 var det utbygd en midlere produksjonsevne i Norge på omlag 113 TWh. Det gjenværende utbyggbare potensialet for elektrisitet basert på vannkraft er på rundt 30 TWh, som består av prosjekter som har en samfunnsøkonomisk akseptabel utbyggingskostnad. Potensialet er avhengig av flere forutsetninger, for eksempel status for alternative energikilder, miljømessige vurderinger og miljøavgifter på fossile brensler til kraftproduksjon.

Tradisjonelt har det vært kraftoverskudd i det norske elektrisitet-kraftsystemet, men fra 1993 har den innenlandske bruken av elektrisitet vært høyere enn det som i et normalår kan produseres i det norske kraftsystemet. Vekst i energibruken og lavere utbyggingstakt av ny vannkraft har ført til en strammere kraftbalanse i Norge. Figur 3 viser utviklingen i bruk og midlere produksjonsevne de siste 10 årene.

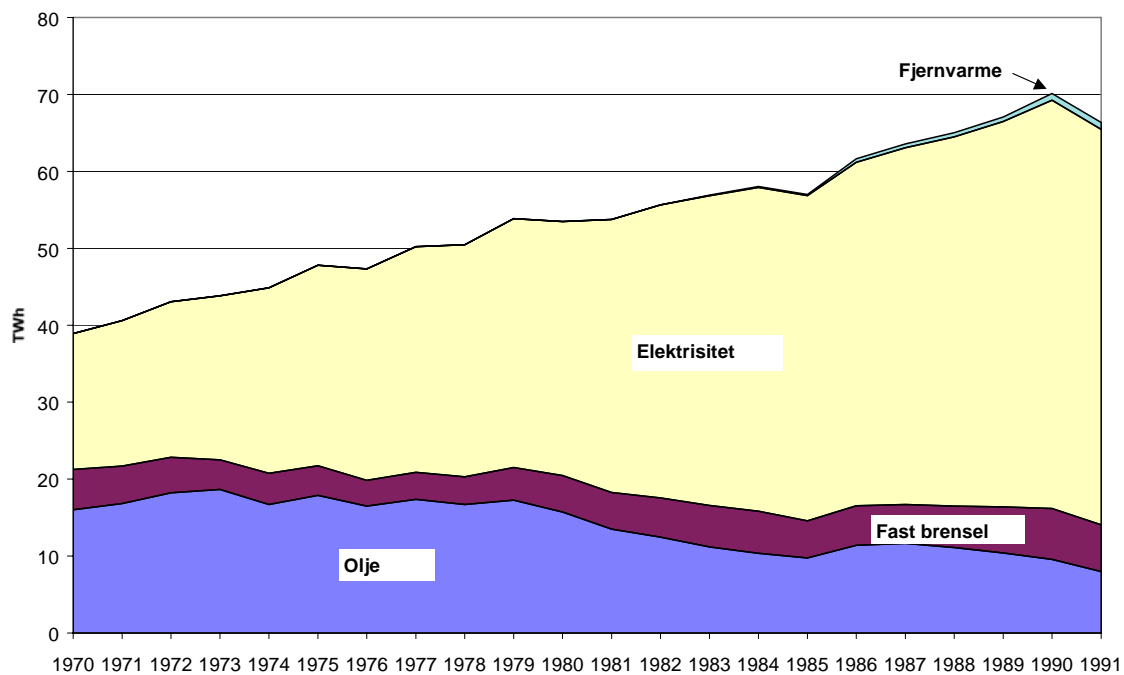


Figur 3
Beregnet kraftbalanse 1988-1997 (Statnett 98)

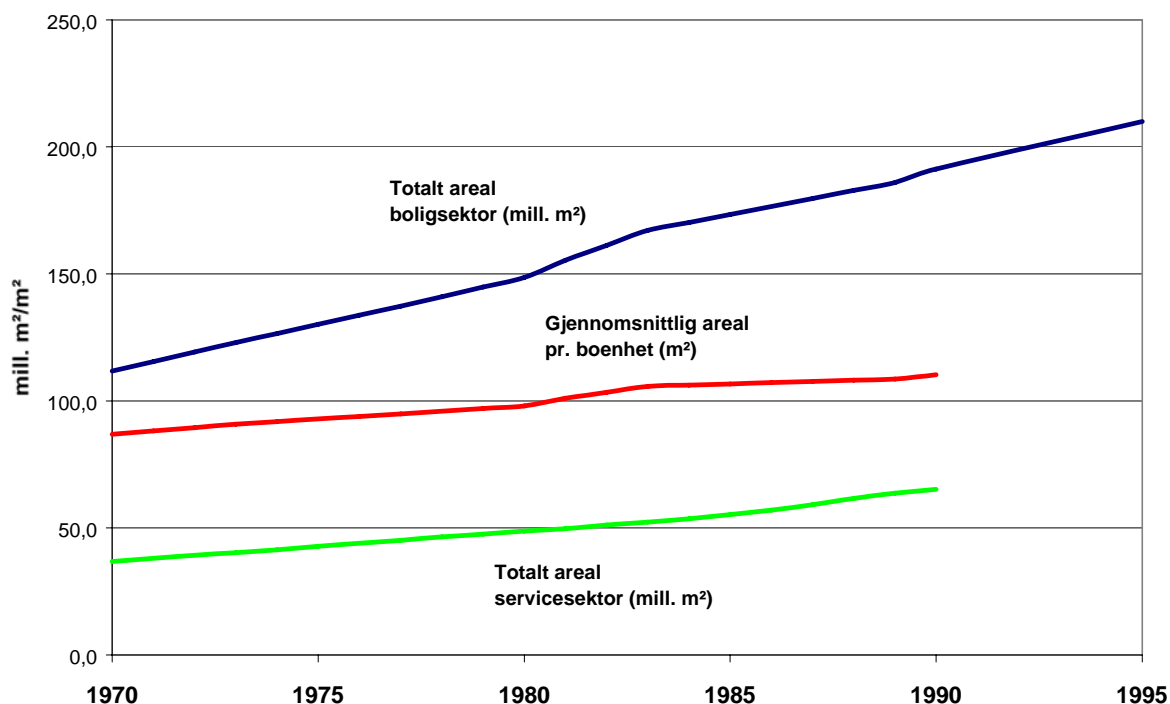
2.2 Energibruk i bygninger

Det anslås at den totale energibruken til bygninger er omtrent 72 TWh, hvorav 42 TWh i boliger og 30 TWh i yrkesbygg. Dette tilsvarer omtrent 1/3 av all energibruk i Norge og mer enn halvparten av all stasjonær energibruk.

Den totale energibruken i bygningsmassen har økt betydelig i perioden 1970 til 1990, se Figur 4. Økningen i bruken av elektrisitet har vært spesielt stor. I gjennomsnitt har bruken av elektrisitet økt med rundt 5 % årlig siden 1970-tallet, slik at bygningsmassen i dag står for rundt 50 % av landets samlede elektrisitetsbruk. I samme tidsrom har det vært en betydelig økning i oppvarmet areal, se Figur 5. Tabell 1 viser energibruk og omfang av bygningsmassen i Norge, fordelt på type bygninger.



Figur 4
Utvikling av totalt, klimakorrigert energibruk i bygningsmassen, fordelt på energibærere. 1970 – 1990.
Bartlett 1993.



Figur 5
Utvikling av oppvarmet areal (Bartlett 1993.)

Tabell 1
Omfang og energibruk av bygningsmassen i Norge i 1996
Søgnen 98a/Energidata 1994.

| Type bygning | Brutto areal (mill m ²) | % | Total energibruk (TWh) | Spesifikk energibruk (kWh/m ²) | |
|--------------------|-------------------------------------|-----|------------------------|--|-----|
| Yrkesbygninger | Kontor og forretning | 54 | 49 | 15 | 278 |
| | Undervisning | 18 | 16 | 5 | 278 |
| | Helse- og omsorg | 8 | 7 | 4 | 500 |
| | Industri | 30 | 28 | 6 | 200 |
| Sum yrkesbygninger | 110 | 100 | 30 | | |
| Boliger | Frittstående eneboliger | 139 | 68 | 31 | 223 |
| | Rekke- og kjedehus | 39 | 19 | 7 | 179 |
| | Blokker | 25 | 13 | 4 | 160 |
| Sum boliger | 203 | 100 | 42 | | |

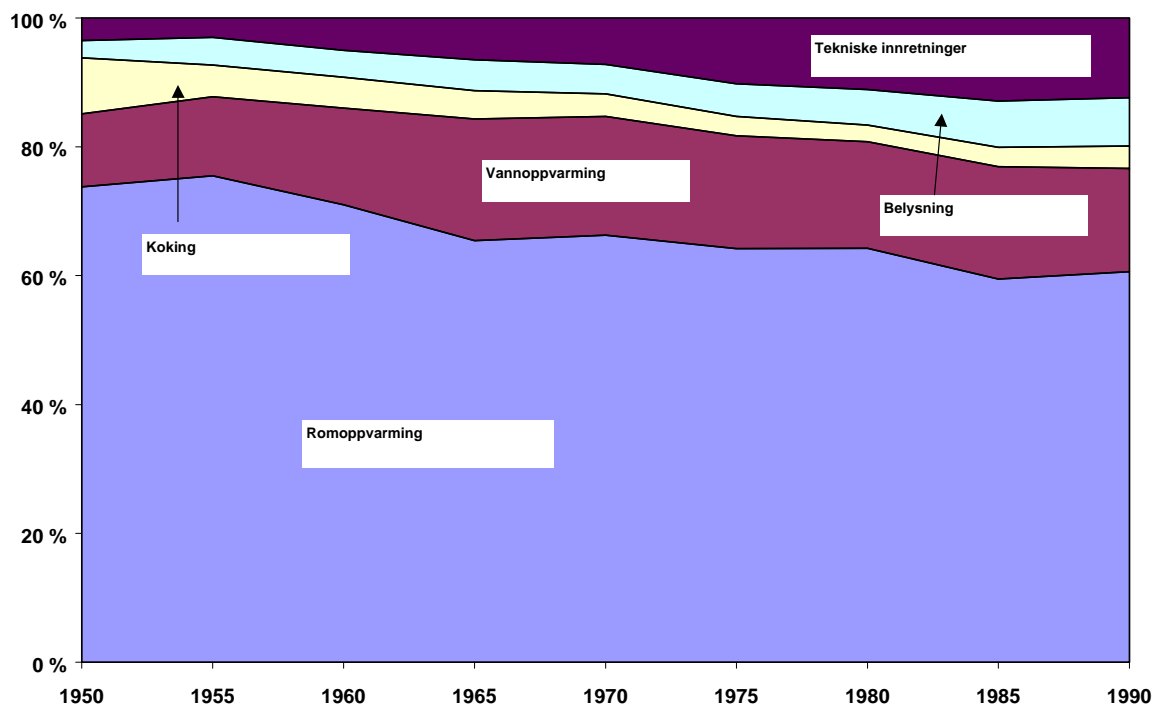
2.2.1 Energibruk i boliger

I 1990 hadde gjennomsnittsboligen en årlig energibruk på 21500 kWh. Av dette utgjorde romoppvarming, ventilasjon og varming av varmtvann til sammen 76 %, mot 85 % i 1970. Se Figur 6, som viser fordeling av energibruken etter formål i boligen. Andelen av energibruken som går med til romoppvarming har sunket i perioden til ca. 60 %. Denne andelen er større i eldre, dårlig isolerte boliger og lavere i moderne boliger. I eneboliger var den

gjennomsnittlige spesifikke energibruken 223 kWh/m², mens det for rekkehus og blokker er henholdsvis 179 og 160 kWh/m².

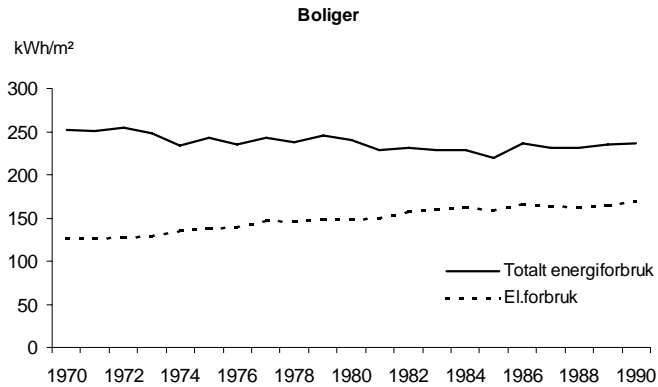
I snitt har ca. 23 % av alle boliger kun direkte elektrisk oppvarming. Denne andelen er stigende for boliger bygget etter 1980. Andelen av den totale boligmassen med vannbåret varme er synkende. Etter 1980 er det bare 1 % av nye boliger som installeres med vannbåret varme. (Søgnen 98a). Et stort flertall av boligene har kombinerte oppvarmingsmuligheter, og en stor del av dette antas å være i kombinasjon med vedfyring.

Kun direkte el-oppvarming er mest utbredt i blokker, dvs. det er liten kombinasjon mellom vedfyring og el-oppvarming. Samtidig er forekomsten av vannbåret varme størst i disse boligtypene.



Figur 6
Fordeling av energibruken etter formål i husholdninger
Bartlett 1993

I tidsrommet 1970 til 1990 økte energi- og elektrisitetsbruken i boligsektoren med henholdsvis 60 og 120 %. Den viktigste årsaken er økt oppvarmet areal. Figur 7 viser at den spesifikke energibruken, dvs. bruken av energi pr. m², har gått noe ned i boligmassen i løpet av disse tiårene. Sånn sett er boligmassen blitt mer energieffektiv. Den økende andelen elektrisitet antas å ha økt som en følge av mer elektrisk oppvarming og en større mengde elektriske apparater og utstyr i bygninger.



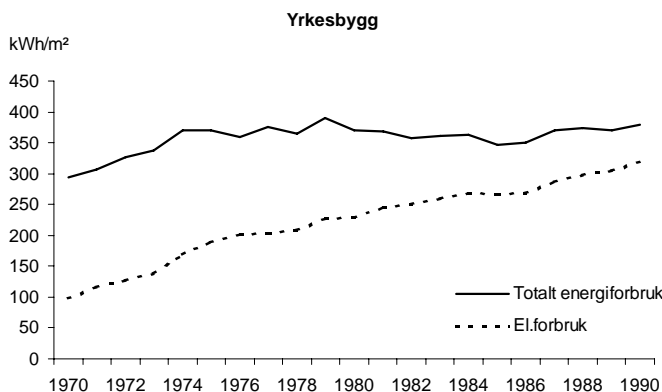
Figur 7
Utvikling av spesifikk energi- og elektrisitetsbruk i boliger. 1970 – 1990.
Bartlett 1993.

Boligarealet har økt mer enn befolkningsveksten skulle tilsi. Dette skyldes blant annet andre bomønstre enn tidligere. I løpet av 45 år, fra 1950 til 1995 har den gjennomsnittlige husholdningsstørrelsen blitt nesten halvert. Antallet husholdninger med 1 person har økt fra omtrent 10 % av det totale antallet husholdninger i 1970 til omtrent 35 % i 1990, mens antallet husholdninger med 5 personer eller mer har blitt redusert fra 17 % til 7 % i samme tidsrom. Trenden mot mindre husholdninger har også vært merkbar i andre nordiske land.

2.2.2 Energibruk i yrkes- og servicebygninger

I et utvalg på 110 yrkesbygninger hadde rundt 60% et vannbåret sentralvarmesystem (Søgnen 1998 a og b). Opptil 85 % av alle bygninger som inngår i en energistatistikk utført av Bygningsnettverket, kan varmes opp med elektrisitet.

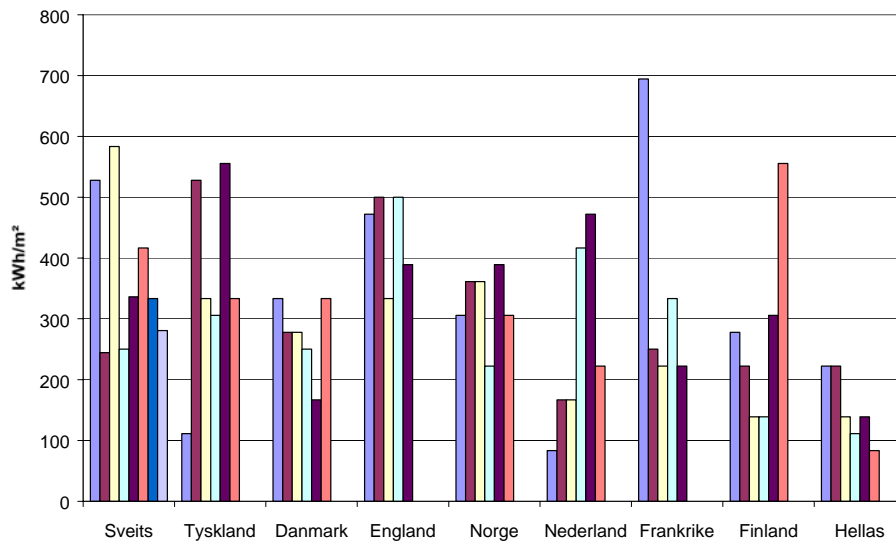
Den spesifikke energibruken har økt de siste tiårene i yrkesbygg, se Figur 8. Tabell 2 viser målt energibruk i en del type bygninger. Figur 9 viser at energibruken i norske bygninger ikke nødvendigvis ligger over energibruken i bygninger i andre europeiske land, til tross for et mildere klima. Enkelte bygninger bruker svært mye energi, antageligvis på grunn av energikrevende kjøling.



Figur 8
Utvikling av spesifikk energi- og elektrisitetsbruk i yrkesbygg. 1970 – 1990. (SSB 93)

Tabell 2
Oppgitt energibruk i 110 bygninger
Søgnen 1998b

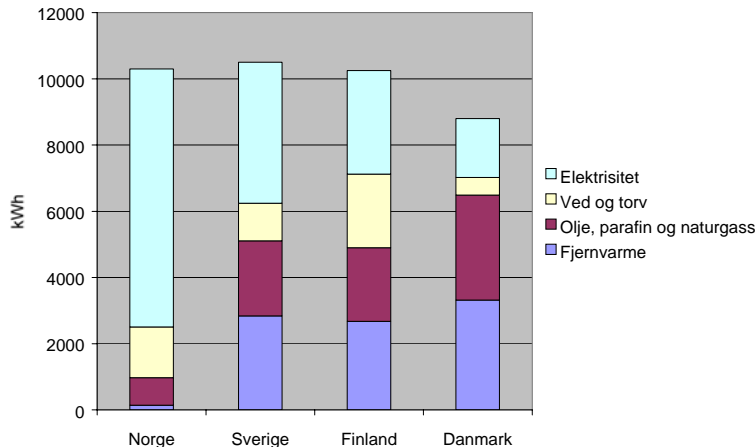
| Type bygning | Målt energibruk KWh/m ² år |
|--------------------------|--|
| Kontorbygg | 236 |
| Hotell og restaurantbygg | 315 |
| Skolebygg | 183 |
| Sykehus | 313 |
| Sykehjem | 287 |



Figur 9
Energibruk i 54 kontorbygninger i 9 europeiske land
IAQ-Audit 1996

2.3 Energibruk i andre land

Ved sammenligning av energibruken til oppvarming mellom de nordiske land, med unntak av Island, viser det seg at det brukes omtrent like mye energi til oppvarming pr. person i husholdninger i Norge, Sverige og Finland, mens det i Danmark brukes noe mindre. Dette skyldes blant annet et varmere klima. Se Figur 10.



Figur 10
Gjennomsnittlig total energibruk i husholdninger (pr. person) for Norge og våre naboland Enfo 1997

Økt energibruk i bygningssektoren er på samme måte som for Norge også trenden i Sverige og Finland. I Sverige har den stasjonære bruken økt med ca. 30 % de siste 25 årene, mens økningen har vært nesten 75 % i Finland. (NOU 98:11).

I Danmark er derimot energibruken blitt redusert de siste 25 årene. Den stasjonære bruken er redusert med 10 %, mens energibruken i bygningsmassen er redusert med 20 %. Dette skyldes spesielt satsingen på varmeproduksjon i kombinerte kraftvarmeanlegg som har bidratt til økt energieffektivitet og dermed til å holde samlet energibruk nede. En stor del av den betydelige reduksjonen i % skyldes altså bedre energieffektivitet i energisystemet.

Felles for alle våre tre naboland er at energikildene brukt til oppvarming er mer sammensatt enn i Norge. I disse landene brukes det betydelig mer fjernvarme og petroleumsprodukter enn i Norge. En stor del av elektrisiteten utenfor Norge er også produsert på kull eller gass, mens den norske elektrisiteten er basert på vannkraft. Spesielt i Danmark har man derfor relativt høye priser på elektrisitet for at elektrisitetsbruken til oppvarming skal reduseres i størst mulig grad. En slik ordning kan benyttes der alternative oppvarmingssystemer og infrastruktur er tilrettelagt.

3 ENERGIEFFEKTIVITET I BYGNINGER - VURDERING AV TEKNOLOGI

3.1 Energieffektivitetens plass i byggeprosessen

En av årsakene til økende energibruk i bygningssektoren har vært relativt lave energipriser. Dette er spesielt tydelig i yrkesbygninger, der kostnadene knyttet til energibruk betyr svært lite i forhold til f.eks. lønnskostnader. Det er heller ikke gunstig med hensyn på energieffektivitet at kort byggetid og lave investeringskostnader for oppføring av en bygning i lang tid har hatt forrang framfor lave driftskostnader. Dette har ført til et betydelig tids- og kostnadspress i prosjekteringsarbeidet.

Konsekvensene av denne utviklingen har vært lav prioritering av nøyaktige energitekniske analyser. VVS-tekniske installasjoner blir overdimensjonert, med lav energiteknisk virkningsgrad til følge. Videre er det som regel lite kontakt mellom VVS-teknisk konsulent og arkitekt i de innledende faser av prosjekteringen. Resultatet kan bli svært lite heldige løsninger energimessig sett. Grelle eksempler er mange moderne kontorbygninger med store glassarealer i fasaden, med tilhørende stor solinnstråling og dårlig varmeisolasjon. Se Figur 11. Konsekvensen kan bli energikrevende kjøle- og oppvarmingsystemer og dårlig inneklime på grunn av overtemperaturer og trekk.

Som vist på side 10, korresponderer økningen i energibruken med økningen i arealbruk. For å dempe veksten i energibruken er derfor god arealutnyttelse sentralt.



Figur 11

Moderne kontorbygninger med store glassarealer har ofte energikrevende kjøle- og oppvarmingsystemer og får dårlig inneklime på grunn av overtemperaturer og trekk

3.2 Byggeteknikk

3.2.1 Bygningsform, planløsning og energibruk

Både bygningens ytre form og plassering i forhold til vind har betydning for varmetapet. Et hus med en tilnærmet kubisk form har stort indre volum i forhold til omhyllingsflaten, slik at varmetapet gjennom ytterkonstruksjonene (transmisjonsvarmetapet) reduseres. En lun plassering i forhold til vind kan være svært vesentlig i værharde strøk av landet, både med hensyn på varmetap og på risikoen for inntrengning av regn/snø, avblåsing av takstein, osv. Men i praksis gjør tomtesituasjonen at det er få som har anledning til å legge vekt på slike ting. Dessuten har man i dag også muligheten til å gjøre husene såpass lufttette at vindens innflytelse på energibruken kan reduseres.

Tilsvarende har kubisk husform i praksis sjelden vært noe avgjørende designelement ved planleggingen av nye bygninger. Arkitektoniske og bruksmessige betingelser har som regel styrt formgivingen. Samtidig er ikke kubisk husform lenger noe energiteknisk ideal. I dag eksperimenteres det med oppløste bygningsformer, med god tilgang på dagslys til alle deler av rommene. Bakgrunnen er framveksten av avanserte glasstyper og solavskjerminger som gjør at vinduer ikke lenger behøver å bli et varmeteknisk hull, men en kilde til et nyttig lys- og varmetilskudd.

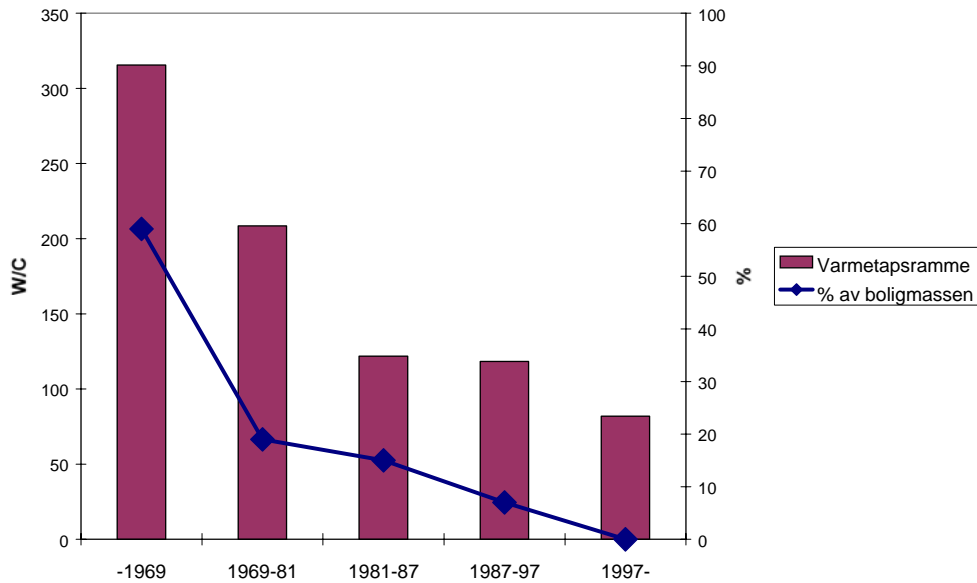
Internasjonalt foregår det en utstrakt forskning på fasadesystemer som utnytter solstrålingen på en mer aktiv måte enn bare ved lys- og varmetilskudd gjennom vinduer. Figur 12 viser eksempel på en fasadeløsning med solcellepaneler integrert i lameller foran fasaden. Lamellene skal også skjerme for solvarme og lede sollys inn i lokalene.



Figur 12
Lameller med integrerte solcellepaneler som en egen fasade utenfor den egentlige fasaden. Lamellene skal dels avskjerme solvarmen, og dels lede sollys inn i bygningen for å erstatte kunstig belysning.

3.2.2 Varmeisolasjon og lufttetthet

God varmeisolasjon i ytterkonstruksjonen er en forutsetning for et lavt energibehov, spesielt i boliger. Nærmere 80 % av befolkningen bor i mindre hustyper for en- eller to-familier. Den dominerende konstruksjonsmåten er lett bindingsverk i tre, som kom i bruk i Norge på 40-tallet. På samme tid ble mineralull introdusert som isolasjonsmateriale, og i løpet av 50-årene ble det etter hvert vanlig å isolere bindingsverket. I takt med den teknologiske utviklingen har kravene til boligens varmeisolasjon blitt strengere. Figur 13 illustrerer utviklingen i byggeforskriftens krav til varmeisolasjon i småhus de siste ti-årene, sammenliknet med en gjennomsnittlig isolasjonsstandard i dagens boligmasse.



Figur 13

Utvikling i krav til varmetapsramme etter krigen, sammen med %-vis fordeling av eksisterende husholdninger etter byggeår (Boforholdsundersøkelsen 1995). Varmetapsrammen er beregnet for vanlig, moderne hustype. Vi gjør oppmerksom på at fordelingen av husholdninger er litt feil gjengitt, på grunn av tilpassing til utvikling av krav til varmeisolasjon.

Figur 13 viser et stort potensiale for energieffektivisering ved etterisolering i boligmassen. Hvor stor del av dette potensialet som er realiserbart i praksis er avhengig av energipriser og eventuelle offentlige støtteordninger. I utgangspunktet er det kun enklere etterisoleringarbeider, for eksempel i loftsrom, og innblåsing i en del typer eldre bindingsverkvegger som uten videre kan karakteriseres som lønnsomme privatøkonomisk. Mer arbeidskrevende isoleringarbeider i yttervegger vil som regel bare være aktuelt i forbindelse med løpende vedlikehold eller ombygging.

Byggeforskriften av 1997 medførte en skjerping av kravet til varmeisolasjon av flere bygningsdeler. For yttervegger i småhus er det i en standardløsning lagt opp til en isolasjonstykkelse på 175-200 mm, som tilsvarer normal praksis de siste årene i nabolandet Sverige. I praksis har imidlertid småhusbransjen i hovedsak valgt å beholde den normale isolasjonstykkelsen i dag (dvs. 150 mm) og i stedet tilfredsstilt forskriften ved å benytte bedre vinduer enn det forskriften angir som standardløsning.

Som det går fram av Tabell 3, er kravene til varmeisolasjon noenlunde på nivå med kravene i de andre nordiske landene. Det ansees som lite økonomisk i dag å øke isolasjonstykkelsen i yttervegger utover 200 mm.

Selv om varmeisolasjonen i utgangspunktet er tilfredsstillende i nye norske bygninger, gjennomføres det svært ofte feil som reduserer energieffektiviteten. Svært ofte bygges det kuldebroer (dårlig isolerte felter), f.eks. i overganger mellom vegg og gulv. Dette fører til ekstra varmetap og kondensproblemer. Videre bygges det svært mange hus med mangelfull lufttetthet. God lufttetthet er først og fremst viktig i nye hus med balansert ventilasjon og varmegjenvinning. Nye hus bør ha en lufttetthet, uttrykt ved lekkasjetallet n_{50} , på 1-2. Byggeforskriftens veiledning anbefaler et lekkasjetall på 4 for småhus og rekkehus. De få

målingene av lufttetthet som er gjennomført i boliger i Norge, tyder på at over halvparten ikke tilfredsstiller dette kravet.

Tetting av luftlekkasjer kan føre til store energibesparelser i en del eldre hus. Men samtidig må ikke tett tiltakene føre til for dårlig ventilasjon; slik tilfellet har vært i en del etterisoleringsprosjekter.

Tabell 3

Krav til varmeisolasjon (ekvivalent tykkelse mineralull/rutetype) i ulike land.

| | <i>Norge</i> | <i>Sverige, småhus</i> | <i>Danmark</i> | <i>Finland</i> |
|---------------|--|--|--|--|
| Yttervegger | Ca. 200 mm | 200-300 mm | ca. 200 mm | Ca. 150 mm |
| Tak | 275-300 mm | 400-500 mm | ca. 200 mm | Ca. 200 mm |
| Golv på grunn | 180-200 mm | Ca. 150 mm | ca. 150 mm | Ca. 50 mm |
| Vinduer | 2 lags glass LE-belegg Gassfylling | 2 lags glass LE-belegg Gassfylling | 2 lags glass LE-belegg Gassfylling | 2 lags glass LE-belegg Gassfylling |

3.2.3 Vinduer

Det har vært en rask utvikling av vinduer de siste årene. Rutene i vinduene har fått stadig bedre varmeisolasjon, spesielt etter introduksjonen av lavemisjonsbelegg og gassfyllinger. Se Tabell 4. De aller fleste bygninger av i dag har imidlertid tradisjonelle vinduer med to-lags rute. Ved å skifte til moderne vinduer med lav-emisjonsbelegg og gassfylling mellom rutene kan det spares ca. 20 % av oppvarmingsbehovet i et ellers godt isolert hus. Normalt vil det imidlertid ikke være direkte lønnsomt for en huseier å skifte ut eldre to-lags vinduer i god teknisk stand med moderne vinduer. Utskiftingen må enten støttes økonomisk eller være motivert av andre gevinster.

I nye boliger i dag benyttes i stor grad to-lags vinduer med lav-emisjonsbelegg og gassfylling (argon). Dette gir en U-verdi som er lavere enn kravene i Teknisk forskrift 97.

Selv moderne vinduer representerer likevel et varmeteknisk "hull" i bygningskroppen, slik at vindusarealet bør begrenses. I kontorbygninger er vinduene også problematiske energimessig sett fordi de slipper inn solvarme som øker kjølebehovet. I forhold til andre bygningsdeler er det derfor først og fremst på vindusfronten at det er et potensiale for forbedringer og produktutvikling med hensyn på varmeisolasjon og avskjerming. Mange nye og revolusjonerende glass- og vinduskonsepter er på vei til å bli økonomisk attraktive, noe som drastisk kan endre vinduenes funksjon i bygningskroppen. Når U-verdien for vinduet kommer ned mot 1, vil det ikke lenger være nødvendig med en varmekilde under vinduet for å hindre trekkproblemer. I praksis betyr det at et lav-temperatur gulvvarmesystem ikke må suppleres med panelovner eller radiatorer.

Tabell 4

U-verdi for vindu (W/m^2K) for ulike rutetyper. Verdiene gjelder for et 1,2 x 1,2 m vindu med 70 % glassareal.

| Rutetype | U-verdi W/m^2K |
|---|---------------------|
| Enkelt glass, vanlig | 4,6 |
| Toglass forseglet rute, vanlig glass, luftfylt | 2,6 |
| Treglass forseglet rute, vanlig glass, luftfylt | 2,0 |
| To-glass forseglet, belagt glass, argongass | 1,7 |
| To-glass forseglet, belagt glass, kryptongass | 1,5 |
| To-glass forseglet, vakuum | 1,2 |
| Tre-glass forseglet, belagt glass, kryptongass | 1,0 |
| Forskriftskrav | 1,6/2,0 |

I bygninger med hyppig varmeoverskudd kan såkalte elektrokromatiske glass bli interessante. Disse glassene endrer optiske egenskaper når det settes elektrisk spenning på glassene. Dermed blir det mulig å styre avskjermingen av solvarme etter bygningens varme- eller kjølebehov.

Glass med høyvakuum mellom glassene gir svært god varmeisolasjon, slike vinduer er allerede på markedet i dag. Et annet konsept er å fylle mellomrommet mellom glassene med et "usynlig", isolerende og porøst materiale som silisiumbasert aerogel. Materialet har porer mindre enn lysets bølgelengde, og med en porøsitet på 95-98 % blir det helt klart. Helt klare aerogel-vinduer er imidlertid ennå ikke økonomisk interessant.

Men både med aerogeler og andre, enklere prinsipper er det mulig i dag å lage "lysvegger" som både isolerer nærmest som en yttervegg og som samtidig er gjennomsiktig for solstråling. Ulike typer lysvegger har et stort potensiale både når det gjelder design og utnyttelse av dagslys og solvarme.

3.2.4 Solavskjerming

Yrkes- og undervisningsbygninger har i store deler av året et overoppvarmingsproblem, ikke minst på grunn av en overdreven bruk av glassfasader i en del kontorbygninger. De fleste nye yrkesbygninger i Norge i dag planlegges med en eller annen form for kjøling. For å redusere kjølebehovet er det nødvendig med effektiv solavskjerming. Det finnes mange alternativer:

- Persiener og markiser (med ev. lokal eller sentral styring)
- Faste bygningsavskjerminger
- Solkontroll-ruter (ruter med høy avskjermingsfaktor)
- Elektrokromatiske glass
- Større, bevegelige avskjerminger (eks. lamell-systemer) med styringsautomatikk

Betydningen av god solavskjerming har vært undervurdert i prosjekteringen av nye bygninger de siste årene.

3.3 Vannforbruk, belysning og tekniske innretninger

3.3.1 Vannforbruk

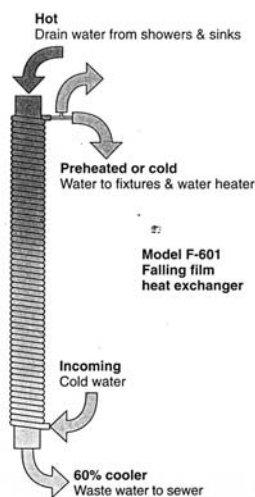
Energibehovet til varmt tappevann anslås normalt til ca. 4000 kWh pr. år pr. husholdning, eller omtrent 20 % av energibehovet. Bruken av vann og varmtvann i husholdningene er for øvrig dårlig kartlagt. Man vet det er store variasjoner, og at enkelte bruker svært mye vann. Det er flere muligheter for å redusere energibruken til varmtvann i boliger:

- Vannsparende armatur (eks. sparedusjhoder)
- Ikke for høy temperatur på vannet ved tappested (55-60 grader)
- Energieffektiv bereder og rørnett

For øvrig kan det totale vannforbruket reduseres ved å installere vannsparende klosetter, gjerne med to vannmengder.

I nye boliger bør det vurderes å installere et system for vannoppvarming som gjør det mulig å bruke flere energikilder (energifleksibilitet). Se for øvrig avsnitt 3.5.1. Gjenvinning av varmen i varmt tappevann kan også etter hvert bli aktuelt, spesielt i større boligsammenslutninger. Men også i eneboliger kan dette bli interessant. Figur 14 viser et system for overføring av varme fra avløpsledning til varmtvannsledning.

I andre typer bygninger kan det være mange lønnsomme investeringer knyttet til gjennomgang av vannforbruk og vannoppvarming. Vannsparende armaturer, kontroll for lekkasjer osv. kan føre til besparelser både på vannavgift og energikostnader.



Figur 14
Eksempel på prinsipp for gjenvinning av varme fra avløp fra dusj og tappesteder.

3.3.2 Belysning

I gjennomsnitt regner man med at elektrisitetsbruken til belysning i boliger er 2500 kWh pr. år, eller omtrent 15 % av energibruken. I dagens yrkesbygninger utgjør belysning fra 30 til 60 % av bygningens totale energibruk (Lyskultur 1993). Bruksvanene for belysning er svært forskjellige fra land som England og Danmark, som har en elektrisitetsbruk til belysning under 1/3 av vårt.

Energibesparende belysningsutstyr og reduserte brukstider kan redusere energibruken til belysning betraktelig. Potensialet er spesielt stort i yrkesbygninger. Det er ikke uvanlig at belysningen i en kontorbygning avgir en effekt opp mot 25-35 W/m², mens moderne belysningsutstyr for kontor kan komme ned i 10 W/m². Dette skyldes nye typer lysrør, elektronisk, høyfrekvent forkoblingsutstyr og mer effektive armaturer.

Reduksjonen av elektrisitetsbruken til belysning blir viktigere etter hvert som flere bygninger får et vannbåret oppvarmingssystem. Energieffektiv belysning er spesielt viktig i yrkesbygninger, som i store deler av året har et kjølebehov.

Behovsstyring av belysningen, basert på tilstedeværelse eller tilgangen på dagslys kan gi ytterligere besparelser, med en gjennomsnittlig effektbruk til belysning på 5 W/m².

Automatisk regulering kan skje på flere måter:

- Tradisjonelle koblingsur som kobler ut og tenner lyskilden etter bestemte tidspunkter
- Persondetektor som kobler inn/ut belysning avhengig av tilstedeværelse
- Reguleringssystem bestående av lysmåler, forsterkerenhet og lysregulator som regulerer lysnivået trinnløst eller av/på

3.3.3 Tekniske innretninger

Ca. 6 % av energibruken (1500 kWh i året pr. husholdning) i en bolig går med til ulike elektriske apparater, som TV, PC, video, kjølfrys og diverse småapparater. Andelen elektriske apparater har økt kraftig i hjemmene de siste årene. Men samtidig har de ulike apparatene blitt mer energieffektive (se Tabell 5), så totalbruken til apparater kan holdes nede. I dag finnes det kjøleskap som drar 135 kWh om året, det samme som en 15 W glødelampe vil bruke i samme tidsrom.

Bruk av elektronisk/elektrisk utstyr har trolig større andel av den totale energibruken i yrkesbygninger enn i boligsektoren. En utvikling mot mer energisparende utstyr – først og fremst datamaskiner og tilbehør – er viktig både for å redusere elektrisitetsbruken og for å redusere kjølebehovet. Datamaskiner har i utgangspunktet blitt mer energikrevende etter hvert som regnekraften har økt. En moderne Pentium-maskin med skjerm kan trekke opp mot 160 W. Samtidig får flere maskiner en stand-by modus som er lite energikrevende, og snart introduseres energieffektive plasma-skjermer også for bord-PC'er.

Tabell 5

Oversikt over spesifikk energibruk (kWh/bolig-år) knyttet til gjennomsnittlig og energieffektivt utstyr i boliger. (Gjelder for 1987). (Elmroth 1987)

| <i>Type utstyr</i> | <i>Gjennomsnittlig utstyr</i> <i>kWh</i> | <i>Energieffektivt utstyr</i> <i>KWh</i> |
|--------------------|---|---|
| Fryser | 1000 | 350 |
| Kjøleskap | 450 | 230 |
| Komfyr | 710 | 500 |
| Kaffetrakter | 130 | 80 |
| Oppvaskmaskin | 370 | 230 |
| Vaskemaskin | 450 | 250 |
| Tørketrommel | 300 | 225 |

3.4 Ventilasjonsteknikk

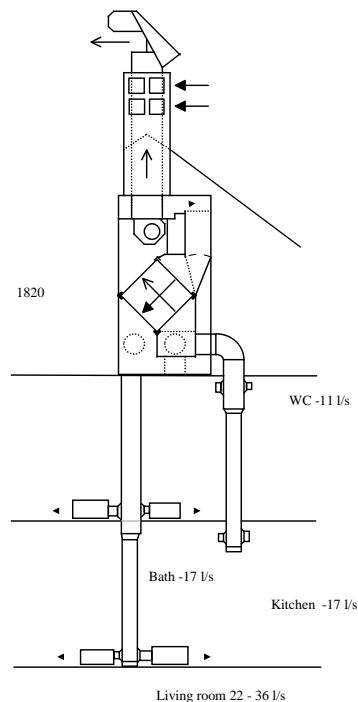
3.4.1 Ventilasjon i småhusboliger

I 80-90 % av boligene i Norge i dag består ventilasjonen av et naturlig avtrekkssystem med luftekanaler over tak, ev. kombinert med en kjøkkenventilator (Blom 1995). Av hus som er bygd etter 1980 har de aller fleste (70-80 %) et mekanisk avtrekkssystem, der en avtrekksvifte trekker luft ut av boligen. Kun et mindre antall nye boliger i dag - anslagsvis 10 % - har et balansert ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning.

Kravene til ventilasjon i boliger i byggeforskriften kan oppsummeres til 0,5 luftomsetninger pr. time. Det tilsvarer noenlunde kravene i andre land. En undersøkelse av ventilasjonsforhold i norske boliger (Øie 1998) viser at bare 36 % av boligene har et mindre luftskifte enn kravet i forskriftens veiledning. Blant disse er det en overvekt av moderne boliger, muligens på grunn av bedre tetting av husene. I gjennomsnitt ser det ut til å være en liten overventilasjon av norske boliger i forhold til forskriftskravet.

Ventilasjonssystemer med varmegjenvinning vil i teorien kunne spare over 20 % av oppvarmingsbehovet i forhold til mekanisk avtrekk uten gjenvinning. I praksis vil imidlertid en del av luftskiftet i boligen skje ved lufting og infiltrasjon, og dermed vil luften passere forbi varmegjenvinneren. Videre er det grunn til å tro at en del av gevinsten ved balansert ventilasjon og varmegjenvinner tas ut i bedre komfort, dvs. økt luftskifte. Alt i alt er det derfor usikkert hvilken energimessig gevinst en introduksjon av ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning vil gi. Likevel er slike anlegg sterkt å anbefale, ikke minst ut fra hensynet til inn klima. Gjenvinneren gjør det også mulig å ha god ventilasjon (store luftmengder) uten at det koster for mye energi. Det er imidlertid viktig at balanserte ventilasjonsanlegg for boliger planlegges riktig (støy, innregulering av luftmengder), og at det sørges regelmessig ettersyn. Det er også et behov for videreutvikling av denne type anlegg, både når det gjelder energieffektivitet, driftssikkerhet, brukervennlighet og systemer for service. Byggforsk har utviklet et boligventilasjonsaggregat som er energieffektivt, gir ingen støy og gir god filtrering, se Figur 15. Byggforsk har også gitt retningslinjer for ventilasjon ved prinsippet "dynamisk isolasjon". Dette er et mekanisk avtrekkssystem der uteluften trekkes inn i boligen

gjennom isolasjonsmaterialet i boligen. Kombinert med en varmepumpe på avtrekksluften er systemet energieffektivt. (Byggforskserien 472.451)



Figur 15

Ventilasjonsaggregat for boliger med lavt trykkfall. (Gundersen 1996).

Et tradisjonelt, balansert ventilasjonssystem med varmegjenvinning vil i dag bety en merinvestering på ca. 20000 kroner. I praksis er det få kjøpere av småhus som er innstilt på denne investeringen, i hvert fall når det gjelder rekkehusboliger. I Sverige er situasjonen litt annerledes, fordi en form for varmegjenvinning av ventilasjonsluften er nødvendig for å tilfredsstille rammene for maksimal energibruk. Men for å tilfredsstille kravene brukes i stor grad et ventilasjonssystem med enkelt mekanisk avtrekk og en luft/vann varmepumpe som overfører varme fra avtrekksluften til en varmtvannsbeholder. Dette er den billigste måten å gjenvinne varme fra ventilasjonsluften på, men neppe den mest energieffektive og brukervennlige. Man får heller ikke den inneklimagevinsten knyttet forvarming av tilluft og filtrering som følger med et balansert system med varmegjenvinning.

3.4.2 Ventilasjon i yrkesbygninger

Bruken av elektrisk energi til drift av vifter i yrkesbygninger og boliger er i dag anslått til ca. 2,25 TWh/år. I moderne næringsbygninger utgjør energibehovet til viftedrift 15-20 % av bygningens totale behov. Andelen har økt ettersom krav til inneklimate har ført til større luftmengder.

Samtidig finnes det ingen større undersøkelser som dokumenterer ventilasjonsluftmengder i ulike kategorier av eksisterende yrkesbygninger. Trolig er mange eldre bygninger underventilert i forhold til kravene til nye bygninger i forskriftens veiledning. På den annen side er mange nyere kontorbygninger planlagt med større luftmengder enn minimumskravene. Krav til luftmengder i ulike land er vist i Tabell 6.

Tabell 6

Krav til luftmengder i ulike land. Tabellen gjelder 10 m² kontorrom for 1 arbeidstaker.

| <i>Land</i> | <i>Ikke-røyking</i> m ³ /h | <i>Røyking</i> m ³ /h | <i>Kommentar</i> |
|---------------|--|-------------------------------------|---|
| Belgia | 20 | 30 | |
| Kanada | 36 | 108 | Røyking kun i egne røykerom |
| Danmark | 14 | 36 | Anbefaling om max.1000 ppm |
| Finland | 14 | 36 | |
| Frankrike | 18 | 30 | |
| Tyskland | 30 | | |
| Nederland | 35 | 60 | |
| New Zealand | 36 | 108 | Røyking kun i egne røykerom |
| Norge | 50/61/97 | - | Materialfaktor 0,7/1/2 l/s pr. m ² |
| Sverige | 14 | | Krav om 1000 ppm |
| Storbritannia | 18 | | |

Tabellen viser at kravene til minimum luftmengder i kontorbygninger i Norge ligger høyt over tilsvarende krav i andre land. Dette skyldes at ingen andre enn Norge legger til et ventilasjonsbehov for materialbruk. Det skal også legges til at vanlig praksis i bransjen i dag er å bruke 10-15 m³/h pr. m², noe som tilsvarer 100 m³/h i tabellen, altså bruk av "udokumenterte" materialer. Slike høye luftmengder fører til at en stor del av energibehovet (ca 25 % ved effektiv varmegjenvinning) til en bygning blir knyttet til ventilasjon. En ulempe er at man får lite fleksibilitet i valg av kjølesystem, fordi de høye luftmengdene også gir en betydelig kjøleeffekt. I dag kan det være mer hensiktsmessig og økonomisk å la for eksempel kjølehimlinger ta en større del av kjølingen.

Kravene til minimumsluftmengder i byggeforskrift m/veiledning kan virke høye. Problemer knyttet til innemiljø skyldes ofte for høy temperatur og ikke for lite luft i ventilasjonsanlegget. Videre er det noe paradoksalt at minimumsluftmengden i et kontorrom skal være opp til 4 ganger høyere enn kravet til minimum utelufttilførsel i soverom i boliger, som er fastsatt til 7 l/s (25 m³/h) pr. person.

Det er helt klart potensiale for mer energieffektiv drift i de fleste eksisterende ventilasjonsanlegg. Ved ENØK-undersøkelser registreres det svært ofte mangler, blant annet:

- Ubalanse i luftmengder
- Utette spjeld i kanalnettet (eller tette spjeld som burde vært åpne)
- Nedsmussing av komponenter i anlegget
- Stor strømningsmotstand i anlegget
- Vifter og viftemotorer med dårlig virkningsgrad
- For lang eller dårlig tilpasset driftstid av ventilasjonsanlegget
- For høy tilluftstemperatur

I svært mange kontorbygninger, også nye, er det installert viftesystemer med svært lav virkningsgrad. Dette skyldes dels at anleggene ikke blir trykkfallsberegnet i

prosjekteringsfasen og at man vil være på ”den sikre siden” kapasitetsmessig, også i forhold til senere utvidelser. Dette kan gi viftemotorer med svært dårlig virkningsgrad.

Ved prosjektering av nye bygninger og større rehabiliteringer er det store energisparepotensialer knyttet til ventilasjon. Dette gjelder:

- Valg av rett luftmengde
- Ikke for lang driftstid
- Høy virkningsgrad varmegjenvinner
- Energieffektiv viftedrift

Valg av luftmengder

Ved å benytte materialer i bygninger som har dokumentert lav emisjon, kan luftmengden reduseres med 40 % i forhold til udokumenterte materialer. Dette vil gi tilnærmet tilsvarende reduksjon i energibehov til sentral varme, sentral kjøling og viftedrift. Energiforbruket til ventilasjon reduseres da med ca. 40 %, som tilsvarer en reduksjon i byggets totale energibehov på ca. 15 %.

Man kan tenke seg større gevinster ved introduksjon av behovsstyrt ventilasjon, der sensorer regulerer luftmengden etter behovet. Prinsippet er at en eller flere sensorer, for eksempel persondetektorer, CO₂-målere eller temperaturfølere gir signal til et vifteaggregat der luftmengden kan reguleres. Store innsparinger med behovsstyrt ventilasjon forutsetter at en eller noen få forurensningskilder dominerer, og at disse over tid varierer betydelig i størrelse.

Ikke for lang driftstid

3000 timer (12 timer pr. arbeidsdag) er en normal driftstid i ventilasjonsanlegg. En reduksjon til 10 timer pr. dag, med en redusert luftmengde på 2 m³/h utenfor arbeidstid, vil redusere det totale energibehovet med 5 – 10 %.

God varmegjenvinner

Erstatter man en kryssvarmeveksler med gjenvinningsgrad på 65 % med en roterende gjenvinner med temperaturvirkningsgrad på over 80 % kan energibehovet til oppvarming av ventilasjonsluft reduseres med 90 % eller fra 45 til 5 kWh/m², fordi det kun blir behov for ettervarming av luften på årets aller kaldeste dager. Den høye temperaturvirkningsgraden forutsetter lav lufthastighet over gjenvinneren.

Bruk av roterende gjenvinner kan gi litt lekkasje fra avtrekk til tilluft. Roterende gjenvinner må derfor bare benyttes der hvor man kan akseptere litt lekkasje som f.eks. i kontorbygg. I helsebygg bør batterigjenvinner benyttes. Lekkasje kan reduseres med riktig plassering av tillufts- og avtrekksvifte i forhold til gjenvinneren.

Energieffektiv viftedrift

Ved bevisst planlegging for å redusere trykkfall og optimalisere viftedriften, kan energibehovet til transport av ventilasjonsluft halveres i forhold til dagens behov i moderne bygg. De reduserte driftskostnadene vil forsvare merinvesteringene med normale lønnsomhetskriterier. Enkelte tiltak vil ofte være svært lønnsomme.

Energieffektiv viftedrift er avhengig av:

- Viftesystemets virkningsgrad
- Kanaltrykkfall
- Aggregattrykkfall

Prosjektet ”Energieffektiv ventilasjon – innføring av SFP” (Mysen 1998) avslørte at viftesystemer har svært lav virkningsgrad. Gjennomsnittlig virkningsgrad for systemene var 45%. 55% av tilført motoreffekt forsvinner i tap til vifte, motor og kraftoverføring. Ved riktig dimensjonering kan virkningsgraden bli 65 %.

Motorenes virkningsgrad var i gjennomsnitt på 70%. Ved å benytte gode motorer som er tilpasset reelt effektbehovet, kan man oppnå en virkningsgrad på 85-90%. Vi har grunn til å tro at trykksfallsberegning av ventilasjonsanlegg bare unntaksvis gjennomføres for moderne anlegg og at uttak av vifter og motorer dermed baseres på antatte trykkfall. For å sikre seg overdimensjonerer man motoren noe som kan medføre at denne kan få dårlig virkningsgrad.

Det er viktig å benytte vifter med høy virkningsgrad. Vifter med bakoverbøyde skovler har normalt vesentlig høyere virkningsgrad enn vifter med foroverbøyde skovler.

I Sverige, hvor man fokuserer på energieffektiv viftedrift i større grad, er *kanaltrykkfallet* ca halvparten av hva det er i Norge. Stikkord for å redusere trykkfall er:

- Aerodynamiske utløp mellom vifte og kanalanlegg
- Bruke bend og ikke avgreninger langs kritisk vei (veien fra aggregatet til det punktet med størst trykkfall).
- Riktig innregulering – bare åpne spjeld lang kritisk vei.

Prosjektering av lavtrykksanlegg kan gi behov for noe større kanaldimensjon på enkelte hovedstrek, utover dette er det små merinvesteringer og alle tiltakene er svært lønnsomme når man tar hensyn til de reduserte driftskostnadene.

I dag velges gjerne den minste *aggregatstørrelsen* ut fra tekniske begrensninger (maks. hastighet før man får medrivning av kondensvann fra kjølebatterier). Årskostnadsbetraktninger viser at det er lønnsomt å gå opp både en og to aggregatstørrelser. En reduksjon av hastigheten gjennom aggregatet med 30% vil halvere trykkfallet over aggregatet med tilsvarende reduksjon i energibruk til viftedrift. I tillegg oppnås bedre virkningsgrad for varmegjenvinner og bedre ytelse fra kjøle- og varmebatterier. Det er også mulig å forlenge levetiden på filterene.

I Sverige benytter man krav til energieffektiv viftedrift i form av maksimal SFP (Specific fan power), som angir forholdet mellom elektrisk effekt nødvendig for drift av vifter i et ventilasjonsanlegg, og den luftmengden som viftene bidrar til å skifte ut i de ventilerte lokaler. En reduksjon av SFP fra 4 til 2 kW/m³/s vil redusere energibehovet til ventilasjon med 15 til 20 kWh/m², som tilsvarer en reduksjon i totalt energibehov med ca 10%.

Vi anbefaler følgende normnivåer for forskjellige typer bygninger:

- SFP < 2,0 for nye bygg med begrenset driftstid (under 4000 timer/år).
- SFP < 1,5 for nye bygg med døgnkontinuerlig drift.
- for VAV-anlegg økes SFP med 1,0 ved maksimal luftmengde.
- SFP < 2,5 ved nyinnstallasjoner i eksisterende bygg.

Det er også mulig å bygge ventilasjonsanlegg med svært lav SFP, dvs. under 0,5. Dette er anlegg som i prinsippet kan benytte naturlige drivkrefter og vifter med svært lav energibruk. Byggforsk har bygd opp et slikt anlegg med varmegjenvinning i laboratoriet, i forbindelse med et EU-prosjekt om utvikling av naturlige ventilasjonssystemer for kontorbygninger (NATVENT 1999)

3.5 Oppvarming, kjøling og styringssystemer

3.5.1 Elektrisk oppvarming i småhus

23 % av boligene har i dag kun direkte elektrisk oppvarming ved panelovner. En stort flertall av boligene har kombinerte oppvarmingsmuligheter, i praksis en kombinasjon av elektrisk oppvarming og vedfyring.

I de aller fleste tilfellene er de elektriske panelovnene styrt av en termostat som er montert på ovnene. Dette kan føre til en jevnt høy innetemperatur i boligen. I enkelte tilfeller er det derfor rapportert om besparelser over 15 % av energibruken ved å installere et sentralt styringssystem for alle ovnene i huset, som gir mulighet for en effektiv sone- og tidsstyring av romtemperaturen. I dag kan slike sentrale styringssystemer installeres uten at det er nødvendig å skifte noen av de gamle panelovnene. Systemet styres av romtermostater som erstatter de lokale ovnstermostatene, og styring av ovnene skjer over de eksisterende strømkablene. Slike systemer er i mange tilfeller en investering som kan tjenes inn relativt raskt. Størst besparelser ved slike styresystemer får man dersom man har:

- Dårlige vaner før installeringen (ingen temperatursoner, høy gjennomsnittstemperatur)
- Dårlig isolert og trekkfullt hus
- Lav varmekapasitet (lite tunge bygningsdeler som betong eller mur)

Dersom prisstrukturen på elektrisitet endrer seg slik at overforbruk igjen blir straffet, kan det også bli aktuelt med en effektvakt i styringssystemet som kan sørge for en prioritering og utsjaltning av oppgaver som krever strøm.

Et mer effektivt informasjonssystem for bevisstgjøring av egen bruk er trolig også viktig for å redusere energibruken. Dette kan innebære:

- Strømregninger med bedre informasjon om egen bruk
- Montering av utstyr som gjør fjernavlesning mulig
- Integrasjon internt styringssystem og internett-basert kommunikasjon mellom el-leverandør og bruker

Fjernavlesning og to-veis kontakt mellom el-leverandør og sluttbruker vil både kunne gi kunden bedre oversikt over egen bruk, i tillegg til at man kan få bedre statistisk grunnlag for bruken av energi i boligsektoren.

3.5.2 Vannbåret varme i småhus

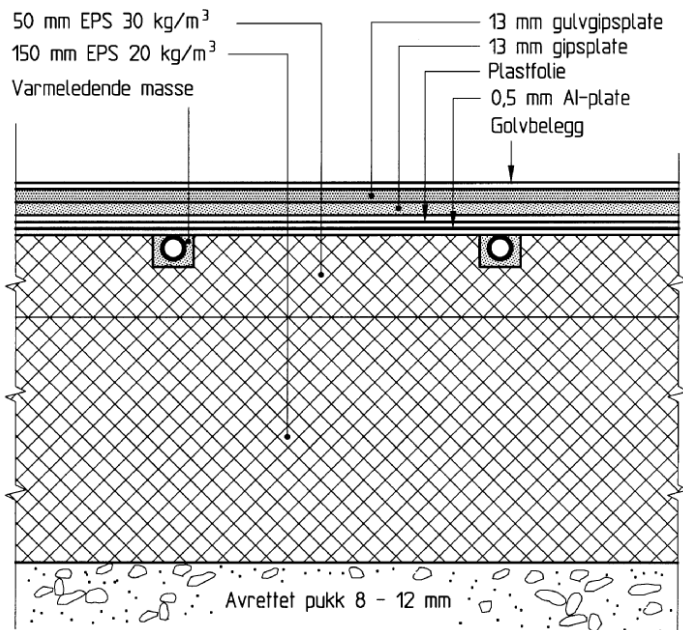
Bruken av elektrisitet kan reduseres med et større innslag av andre oppvarmingssystemer i norske boliger. Dette vil i første rekke bety vedfyring, som allerede i dag finnes som supplerende varmekilde i ca. 65 % av boligene (SSB 1990). Men for mange er vedfyring upraktisk, og det kan dessuten føre til dårligere luftkvalitet. Utfordringen består derfor i å gjeninnføre vannbåret varme i norske boliger, helst i kombinasjon med en ny, fornybar energikilde som varmepumpe eller solpanel.

Et vannbåret oppvarmingssystem kan enten være golv- eller takvarme eller radiatorer. Golv- eller takvarme kalles ofte for strålevarmeanlegg, fordi en relativt stor andel av varmeavgivelsen avgis ved stråling. Her ligger en energigevinst, fordi lufttemperaturen i teorien kan senkes 1-2 grader uten tap av komfort. Golv- eller takvarme kan dessuten lages som et lav-temperatur varmesystem, som er skreddersydd for effektiv utnyttelse av varme fra solvarmeanlegg og varmepumper. Lav-temperatur varmesystemer kjennetegnes av at temperaturen på vannet i systemet ikke er høyere enn ca. 35 grader. Så lave temperaturer krever store heteflater for å oppnå tilstrekkelig effekt. Når varmesystemet kombineres med et varmelager (eks. en vanntank) har man oppnådd stor fleksibilitet på valg av energibærer, og man kan utnytte eventuelle nye differensierte tariffsystemer som premierer bruk av nattstrøm.

En forutsetning for slike energieffektive golvvarmesystemer er godt isolerte bygningskonstruksjoner. Vinduer med lav U-verdi (1,4) kan gjøre det unødvendig å ha supplerende panelovner for å ta kaldras fra vindu.

I boliger som ikke er tilknyttet et fjernvarmenett har det i dagens situasjon ikke vært lønnsomt å installere lav-temperatur vannbåret varme. Investeringskostnadene med dagens systemer har vært for høye, varmebehovet i moderne boliger for lite, og elektrisitetsprisen for lav.

Mange vannbårne anlegg som er installert i boliger i dag er ikke spesielt energieffektive. Dette har blant annet sammenheng med dårlig virkningsgrad i energisentral og mangelfull isolasjon av rørnett. Felles avregningssystemer i blokker med vannbåret varme har også ført til svært høy energibruk. Utvikling av enkle, energi- og kostnadseffektive varmesystemer for energisentral og varmedistribusjon er derfor viktig. NBI har utviklet et lav-temperatur golvvarmesystem som er lovende i så måte, se Figur 16.



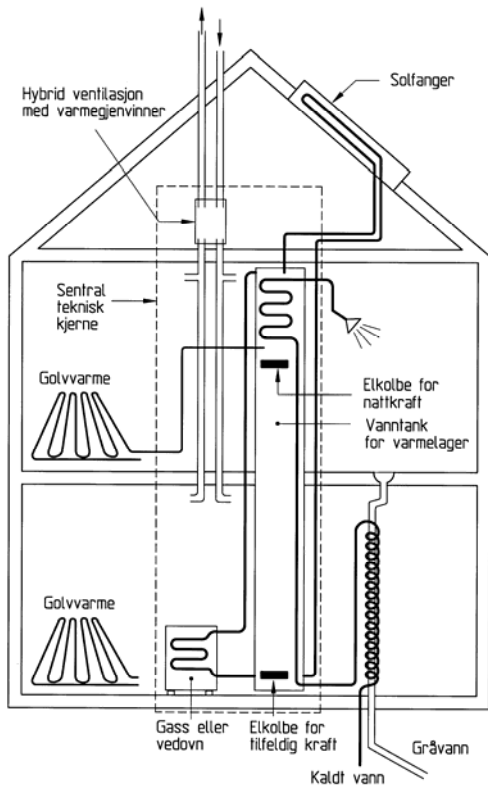
Figur 16

Kostnadseffektivt gulvkonstruksjon med vannbåret gulvvarme utviklet ved NBI. Konstruksjonen er bygd uten bruk av betong, som gir lavere kostnader og gjør det mindre varmetregt.

3.5.3 En energieffektiv småhusbolig

Prinsipper for en lav-energibolig er vist i Figur 17. Ved denne løsningen er det lagt vekt på:

- Lav-temperatur, vannbåret gulvvarme (Figur 16)
- Bruk av solpanel
- Lavt-trykks, hybrid (både naturlige og mekaniske drivkrefter) ventilasjonsanlegg med enkle føringsveier for kanaler
- Sentralt plassert installasjonskjerne med plass til samordnede, tekniske installasjoner
- Vanntank for varmelagring
- Enkle byggetekniske konstruksjoner som reduserer risikoen for kuldebroer og utettheter



Figur 17
Prinsippskisse for ventilasjons- og oppvarmingsløsning i lav-energihus. Byggforsk 1998.

For å holde kostnadene nede er det viktig at husleverandører utvikler tekniske standardløsninger som er hensiktsmessige for norske småhus. Det kan ligge store besparelser i for eksempel på prefabrikerte varmesentraler og installasjonskjerne for boliger slik at kostnadene for dette reduseres.

3.5.4 Oppvarming i yrkesbygninger

Mange eksisterende yrkesbygninger har et lite energieffektivt oppvarmingsystem. Mange bygninger har dårlig virkningsgrad og høyt varmetap i et vannbåret system med fyrkjel. Høy energibruk kan skyldes samtidig oppvarming og kjøling i samme rom, som kan skje hvis for stor del av oppvarmingen/kjølingen skjer sentralt. Det er derfor viktig å legge en stor andel av oppvarmings-/kjølebehovet lokalt i rommene. Det ligger store utfordringer for bransjen i å utvikle nye systemer og komponenter som gjør det mulig med effektiv, lokal styring.

Med dagens energipriser er oppvarming med direkte elektrisitet i svært mange tilfeller det gunstigste alternativet økonomisk. Mange yrkesbygninger har også et svært lavt oppvarmingsbehov på grunn av mye interne varmetilskudd fra f.eks. datamaskiner og belysning. Det lave varmebehovet reduserer lønnsomheten i et vannbåret anlegg. Vannbåret varme bør likevel alltid vurderes i nye prosjekter. Det er flere årsaker til at alternativet kan bli økonomisk interessant:

Prisutvikling på elektrisitet: Den økende etterspørselen på elektrisk energi kan presse prisen opp på sikt. Det er også rimelig å anta at tidsvariable priser på elektrisitet.

Fleksibilitet: Med vannbåret varme kan man velge rimeligste energibærere med en relativt liten tilleggsinvestering. I Oslo-området kan det bli lagt opp et fjernvarmenett basert på geovarme med meget gunstig energipris. Mulighetene for å utnytte geovarme er et resultat av den boreteknologien vi har utviklet for oljeutvinning.

Forsyningsikkerhet: Vannbåret varme gir større sikkerhet for varmforsyning – mulig å installere flere varmeproduksjonskilder

Støtteordninger: Det er i dag etablert støtteordninger som skal dekke merinvesteringer knyttet til installere anlegg som utnytter nye fornybare energikilder. Dette kan være:

- Geovarme (jordvarme/bergvarme)
- Foredlet biomasse
- Fjernvarme fra søppelforbrenningsanlegg eller tilsvarende som har varmeproduksjon som biprodukt
- Varmepumpe

Ved bruk av varmepumpe er det viktig å hente energi fra en kilde med stabil temperatur som (sjøvann, innsjø, jordvarme, grunnvann, kloakk, o.l). Videre er det viktig å planlegge anlegget slik at man oppnår god effektfaktor utfra varmepumpen (effektfaktor er forholdet nyttbar effektavgivelse/kompressoreffekt). Dette kan gjøres ved å:

- Dimensjonere varmepumpen for 40-70% av spisslast
- Dimensjonere varmeavgiversiden i forhold til lavtemperatur varme
- Benytte et arbeidsmedie som er tilpasset temperaturene på varmetilførselssiden og varmeavgiversiden
- Benytte mulighet for å forvarme varmt tappevann med varmepumpen
- Benytte mulighetene for å bruke varmepumpen også til å produsere kjøling

I bygg hvor man har samtidig varme- og kjølebehov kan en varmepumpeløsning gi meget god totaløkonomi. Det samme gjelder i en del bygninger med kun oppvarmingsbehov.

I dag eksperimenteres med transkritiske varmepumper, da med CO₂ som arbeidsmedie. En slik varmepumpe vil få god effektfaktor ved større temperaturintervaller, slik at pumpen kan fungere optimalt både som varme- og kuldeleverandør. Arbeidsmediet er naturlig og gir ingen miljømessige uheldige bidrag.

3.5.5 Kjøling i yrkesbygninger

I utgangspunktet er det et svært viktig å redusere ulike typer varmetilskudd utenfor varmeanlegget. Det betyr effektiv solavskjerming og bruk av energieffektive tekniske installasjoner. Effektiv belysning er sentralt jf. Kap. 3.3.2. I tillegg til redusert elektrisitetsbruk vil behovet for kjøleinstallasjoner og energibehovet til kjøling reduseres. God klimatisering av rommene kan forenkles. Forenklete kjøleløsninger kan være frikjøling med luft (forsert ventilasjon om natten, eventuelt ved naturlig ventilasjon) eller frikjøling med vann, dvs. direkte kjøling via varmeveksler mot sjøvann, grunnvann e.l.

Lokale kjølesystemer, for eksempel med vannbaserte kjølebaffler (kjølehimlinger), er generelt mer energieffektivt enn sentral, luftbasert kjøling via ventilasjonsanlegget. Økonomien i

lokale kjølesystemer vil bli bedre dersom luftmengden i ventilasjonsanlegget reduseres noe i forhold til det normale i dagens nye bygninger (10 m³/h m²).

I mange tilfeller kan det også være en energieffektiv løsning der både kuldesiden og varmesiden av en varmepumpe utnyttes, avhengig av behovet. Introduksjon av nye kuldemedier som har god effektfaktor ved et større temperaturintervall vil gjøre dette mer interessant.

3.5.6 Styringssystemer i yrkesbygninger

Optimal drift av klimainstallasjoner i yrkesbygninger krever reguleringsautomatikk. I takt med utviklingen av mikroelektronikken har det vært en sterk utvikling i denne teknologien:

- Automatisering basert på analoge signaler
- Sentral driftskontroll (SD-systemer) basert på direkte digital kontroll (DDC)
- Buss-systemer
- Intelligente bygninger

Utviklingen har gått i retning av stadig mer sentral kontroll av stadig flere funksjoner. Med DDC og SD-systemer kom datateknologien inn i driften av bygninger og installasjoner. Med buss-baserte systemer, som nå stadig mer tas i bruk, kobles de enkelte enhetene i klimaanlegget sammen i et databasert nettverk. Dette gir økt fleksibilitet og flere muligheter, blant annet kan man styre installasjoner lokalt (eks. i enkeltkontorer) uten for store kostnader. Intelligente bygninger kan være målet – uten at det i dag finnes noen enhetlig definisjon av hva dette er.

3.6 Energisystemer

Denne rapporten tar for seg energieffektivitet innenfor husveggen. God energieffektivitet må imidlertid omfatte hele systemet:

- Energiproduksjon
- Energidistribusjon
- Oppvarmingssystem

Direkte elektrisk oppvarming basert på vannkraft er i utgangspunktet svært energieffektivt, med lite tap av energi i de ulike leddene. Innføring av vannbåret varme med varmelagring kan også øke energieffektiviteten. Ettersom elektrisitet i form av vannkraft fortsatt vil være hovedenergikilde i Norge i overskuelig fremtid, vil innføring av energifleksible varmeanlegg med mulighet for varmelagring og dermed effektutjevning, også kunne øke energieffektiviteten når elektrisitet er eneste energikilde.

Det bør være en målsetting at andre oppvarmingssystemer kan oppnå en tilnærmet like energieffektiv drift som elektrisitet totalt sett. I store energisentraler med tilhørende fjernvarmenett krever det energikilder som normalt ikke brukes til energiproduksjon. Dette kan være biomasse i form av søppel eller lokale lavkvalitets energikilder som kan utnyttes ved hjelp av varmepumper. I tillegg kreves godt isolerte distribusjonsnett og profesjonell drift. Tilfredsstillende energieffektivitet ved bruk av høykvalitets energi i form av fossilt brensel (olje eller gass) eller foredlet bioenergi av typen pellets og briketter, forutsetter

individuelle kjeleanlegg eller nærvarmeanlegg med høy virkningsgrad og minimale tap i distribusjonsnett.

4 ENØK-POTENSIALE

4.1 Om lønnsomhet, årskostnader, kost/nytte og optimalisering

Årskostnader eller nåverdi-betraktninger ved investeringer er redskaper for å vurdere fremtidige besparelser i tilknytning til investeringer ved for eksempel tilleggsisolasjon eller oppvarmingssystem. Økte investeringer i forhold til en "billig" standardløsning kan for eksempel være lønnsomt ved høye energipriser eller lavere rente.

Lønnsomhet ved en investering kan enten beregnes ved å vurdere årskostnader eller nåverdier.

Ved årskostnadsmetoden sammenlignes de årlige besparelsene med investeringen fordelt utover den tidsperioden som tiltaket kreves å være lønnsomt. I nåverdimetoden utføres den motsatte beregningsprosessen. Der diskonteres alle fremtidige besparelser til nåverdipunktet slik at nåverdien mellom investeringen og besparelsen kan sammenlignes. Begge metodene er med andre ord likestilte med hensyn til å vurdere lønnsomhet til et tiltak.

Ved lønnsomhetsanalyser av enøk-tiltak må den økonomiske gevinsten over tid samt investeringskostnaden for tiltaket vurderes sammen. Det er et potensiale for en lønnsom enøk-investering når de sparte energikostnadene overstiger investeringskostnaden. Det er imidlertid relativt lav utnyttelse av det nasjonale enøk-potensialet i Norge og dette skyldes flere forhold:

- høye avkastningskrav
- motivasjonsproblemer
- mangelfull informasjon og tekniske kunnskaper

Private konsumenters krav til tilbakebetalingstid for enøk-investeringer er ofte lavere enn tre år, mens kommersielle foretak kan ha noe lengere tilbakebetalingstid. Dette skyldes blant annet usikkerhet knyttet til besparelsens størrelse, både når det gjelder den faktiske energibesparelsen og fremtidige energipriser. Dessuten vil en del forbrukere ikke være i stand til å finansiere investeringer i enøk selv om forventet avkastning er meget god.

For større prosjekter der finansieringsmulighetene er av mindre betydning, setter man høye lønnsomhetskrav i form av høyere renter enn i samfunnsøkonomiske kalkyler. Dette kan medføre at samfunnsøkonomisk lønnsomme enøk-prosjekter ikke gjennomføres.

Motivasjonsproblemer omfatter en rekke faktorer som energibrukeren ikke selv har fordel av å gjennomføre enøk-tiltak. Et eksempel som kan nevnes er byggeiere som ikke har energiutgifter, har ofte ikke tilstrekkelig interesse i å foreta tiltak som reduserer energibruken. Samtidig vil leietaker ofte betrakte lønnsomheten i slike investeringer som beskjedne og usikre når forholdet ikke er av langvarig karakter. Slike forhold gjør det vanskelig å forutsi realiserbar enøk-tiltak i enkelte typer bygninger. Et annet eksempel kan være budsjettrutiner.

Tilgang til og kunnskap og kompetanse er den dominerende årsak til at energibesparende tiltak ikke realiseres. Mangel på teknisk ekspertise fører både til at investeringsmuligheter ikke utnyttes og at eksisterende utstyr og bygningsmasse drives på en ineffektiv måte.

4.2 Sparepotensial i eksisterende bygninger

Boligmassen utgjør rundt 2/3 av totalt areal, og har derfor stor betydning for den totale energibruken. For å påvirke den samlede energibruken i boligmassen må det iverksettes tiltak i den eksisterende boligmassen. Tiltak i ny bebyggelse kun vil gi mindre utslag på kort og mellomland sikt. Samtidig vil teknologi og tiltak som utvikles for nye boliger også tas i bruk i eksisterende boliger.

Tabell 7 viser beregnet, gjennomsnittlig teknisk energipotensiale og enøk-potensiale for bygningsmassen og industrien. Teknisk potensiale gir uttrykk for hvor mye det teknisk sett er mulig å redusere bruken uten at ytelsene eller komforten reduseres, men enøk-potensiale er tiltak som gir energieffektivisering og samtidig en økonomisk gevinst. I beregning av sparepotensialene er det skilt mellom tre sektorer: boligsektoren, yrkesbygg og industrien.

Tabell 7
Teknisk potensiale og enøk-potensiale i ulike sektorer i 1993, TWh (Søgnen 1998b)

| <i>Bygning</i> | | <i>Total energi TWh</i> | <i>Elektrisitet TWh</i> |
|----------------|--------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Boliger | Teknisk potensiale | 17,9 | 12,4 |
| | Enøkpotensiale | 8,6 | 5,3 |
| Yrkesbygg | Teknisk potensiale | 5,8 | 3,4 |
| | Enøkpotensiale | 4,3 | 2,9 |
| Industri | Teknisk potensiale | 13,4 | 8,7 |
| | Enøkpotensiale | 9,2 | 6,6 |
| Totalt | Teknisk potensiale | 37,0 | 24,5 |
| | Enøkpotensiale | 22,1 | 14,8 |

Det er også et betydelig potensial for å redusere elektrisitetsbruken i bygningsmassen ved å erstatte elektrisk oppvarming med annen oppvarming. Med dagens installerte energifleksibilitet er dette potensialet blitt beregnet til 11 TWh (Søgnen 1998a). For yrkesbygg er dette bygg med vannbårne anlegg, mens det for boliger er de tilfeller der en i tillegg til elektrisk oppvarming enten har ved- eller oljeovn.

Realiserbart (enøk) potensiale i 1993 var altså 22,1 TWh, dvs. ca. 15 % av den totale bruken.

4.3 Sparepotensial i nye bygninger

Ved bygging av nye boliger og yrkesbygninger vil en stå overfor større muligheter til å begrense energibruken enn i den eksisterende bygningsmassen.

Det er vanskelig å tallfeste enøk-potensialet i nybygg særlig nøyaktig. Det er anslått at de nye tekniske forskriftene som ble innført i 1997 vil gi en reduksjon i oppvarmingsbehovet på 25 % i forhold til tidligere forskrifter. Dette gjelder først og fremst boliger, se Tabell 8.

Tabell 8
Energibruk boliger - utvikling over tid (kWh per m²) (NOU 1998:11)

| Type bolig | KWh/m ² år |
|-----------------------------------|-----------------------|
| Snitt boliger | ca. 210 |
| Bolig bygget omkring 1950 | 290 |
| Bolig bygget omkring 1975 | 230 |
| Bolig bygget omkring 1987 | 190 |
| Bolig bygget etter 1997 (BF 97) | 150 |
| Lavenergihus med dagens teknologi | 80 |
| “Superhus” | 30 |

De skjerpede kravene til varmeisolasjon har imidlertid mindre betydning for de fleste yrkesbygninger. Energibruken i yrkesbygninger avgjøres i mye sterkere grad av utforming av ventilasjonsanlegg, kontroll med varmelaster (belysning, tekniske innretninger) og solavskjerming/kjøling. Disse forholdene stilles det ikke konkrete krav til i forskrift eller veiledning når det gjelder energieffektivitet. Derfor kan man med den nye Byggeforskriften i hånden både bygge svært lite energieffektivt og svært energieffektivt, som vist i Tabell 9.

Tabell 9
Energibruk i kontorbygning - (kWh per m²). De tre siste radene representerer simuleringer av energibruk i en kontorbygning beliggende i Oslo. (Dokka 1997)

| Type kontor | KWh/m ² år |
|---|-----------------------|
| Snitt kontor | Ca. 280 |
| Kontor etter byggeforskrift 1997 – vanlig utførelse, uten hensyn til energieffektivitet | 330 |
| Kontor etter byggeforskrift 1997, energieffektivt | 230 |
| Energioptimalt kontorbygg med dagens teknologi | 54 |

De viktigste tiltakene i den energieffektive bygningen i Tabell 9 er:

- Bedre varmegjenvinner (virkningsgrad 70 %, mot 50 % i ”vanlig utførelse”)
- Lavere trykktap i ventilasjonsanlegg (SFP 2 kW/m³/s) (SFP= Spesific Fan Power, dvs. den effekt som kreves for å flytte den aktuelle luftmengden gjennom ventilasjonsanlegget i bygningen). SFP = 3 i ”vanlig utførelse”.
- Tilluftsmengde 10 m³/h pr.m² (mot 12 ”vanlig utførelse”)
- Bedre regulering av tilluftstemperatur
- Temperatursenkning av tilluftstemperatur om natten

De viktigste tiltakene i den energioptimale bygningen i Tabell 9 er:

- Lavt trykktap i ventilasjonsanlegg (SFP 1 kW/m³/s)
- Ingen oppvarming av tilluft (kun varmegjenvinning)
- Tilluftsmengde 7 m³/h pr.m²

- Behovsstyrt ventilasjon (halv luftmengde utenom ordinær drift)
- Behovsstyrt, lav-energi belysning (5 W/m²) (Tilstedeværelse-automatikk og automatisk dagslys-dimming)
- Lavenergi utstyr med hvilemodus (4 W/m²)
- Ingen lokal kjøling (kjøletak), kjølebatterier i tilluftssystem til 17 grader
- Tung bygning (reduserer kjølebehovet)
- Varmepumpe til oppvarming, varmefaktor 4
- Effektiv kjølemaskin til kjøling, kjølefaktor 4

4.4 Potensiale i fornybare energikilder

Potensialet for utnyttelse av nye, fornybare energikilder går fram av Tabell 10. Men det er flere begrensninger i tilknytning til utnyttelse av de ulike kildene. Det er høye investeringskostnader knyttet til både selve energiuttaket og til utbygging av infrastrukturen for vannbåret varme. Et gjennomgående trekk ved fornybare energikilder er lave driftskostnader og høye investeringskostnader. Det er også tekniske begrensninger ved teknologiene:

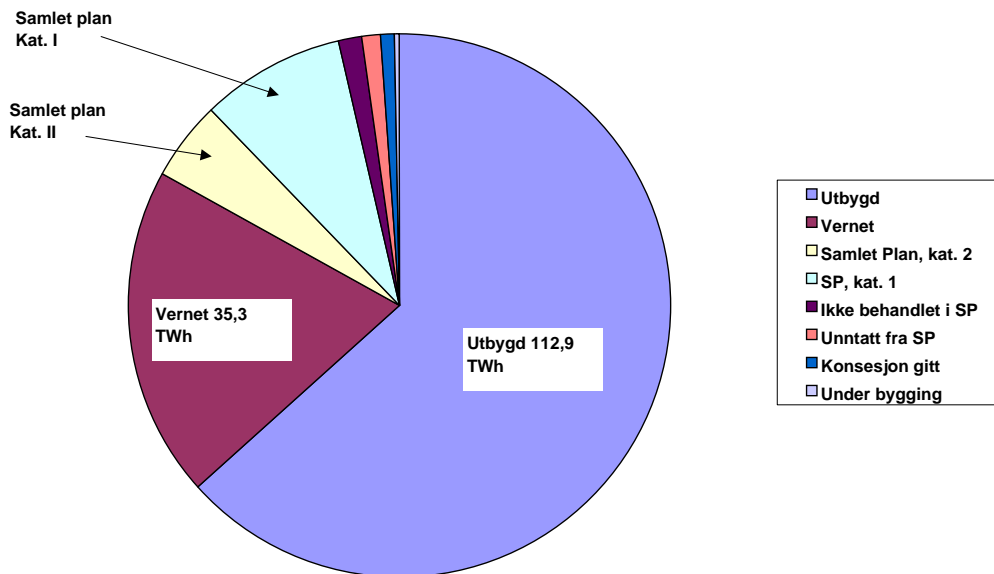
- Solvarmepaneler har hatt drifts- og vedlikeholdsproblemer og kort driftstid
- Varmepumper med uteluft som varmekilde gir store driftsproblemer og lav effektivitet i nordisk klima
- Varmepumper med varmeslynger i jordoverflate eller i borehull er fremdeles kostbare
- Sentralvarmekjel basert på foredlet biobrensel oppfattes enda ikke som et stabilt system
- Fjernvarme er for lite utbredt

Tabell 10

Potensialer for nye, fornybare energikilder. Andre kraftverk basert på geotermisk varme, saltvann, bølgekraft og tidevann er under utvikling men er på kort sikt ikke særlig kostnadseffektive. NOU 11:1998.

| <i>Nye, fornybare energikilder</i> | <i>Reelt potensial</i> | <i>Pris til forbruker, Eks. mva</i> | <i>Energiform</i> |
|------------------------------------|------------------------|---|-------------------|
| Solenergi | 8 TWh | < 70 øre/kWh | Varme |
| Bioenergi | 10 TWh | < 70 øre/kWh | El og varme |
| Vindkraft | 6 TWh | < 28 øre/kWh | El |
| Varmepumper | 10 TWh | | Varme |

Til sammenligning viser Figur 18 vannkraftpotensialet pr. 1.1.98. Gjenværende, realiserbart potensial, med utgangspunkt i vassdrag som er varig vernet, er beregnet til 30,1 TWh.



Figur 18

Vannkraftpotensiale i Norge pr. 1.1.98, med utgangspunkt i Samlet Plan for vassdrag (SP)
 Kategori I omfatter i dag prosjekter som det kan søkes konsesjon for, mens kategori II er prosjekter som det inntil videre ikke kan søkes konsesjon for.

5 VIRKEMIDLER I ENØK-ARBEIDET

5.1 Økonomiske rammebetingelser

Med dagens prisstruktur på energi er det nødvendig med offentlige økonomiske støtteordninger for etablering av energifleksibilitet og utnyttelse av nye fornybare energikilder. Norges vassdrags- og energiverk (NVE) har på oppdrag fra Olje- og energidepartementet ansvar for å forvalte midler til finansiering av bioenergi prosjekter og energifleksible varmeanlegg. I 1997 ble det avsatt om lag 35 millioner kroner til investeringsstøtte til prosjekter, i 1998 70 millioner. Regjeringen har i forslag til statbudsjett for 1999 signalisert en ytterligere økning av midler til dette. I 1998 ble det søkt om i alt 290 millioner fra støtteordningen. Søknadssummen representerte 122 prosjekter og en total byggesum på 1,46 mrd. Pr. i dag gis det bare støtte til større prosjekter og ikke til eneboliger.

Støtteordningen forutsetter at kostnad for installasjon av varmedistribusjonssystemer i nybygg blir dekket av brukeren. Det er kun merkostnaden ved bruk av nye fornybare energikilder, sammenliknet med privatøkonomisk billigste alternativ, som danner grunnlag for investeringsstøtte. Støtte til overgang fra direkte elektrisk oppvarming til et fleksibelt varmedistribusjonssystem med bruk av bioenergi, varmepumper eller solenergi kan også få støtte.

Andelen støtte til hvert prosjekt skal kun være den støtten som er nødvendig for at prosjektet skal bli gjennomført. Den prosentvise støtteandelen vil derfor variere. I gjennomsnitt antar NVE at støttebeløpet vil være i størrelsesorden 15-20 %.

Det finnes også kommunale støtteordninger, men i meget begrenset omfang. Det største er i Oslo, hvor et ENØK-fond gir støtte til energiøkonomiseringsprosjekter generelt.

5.2 Kompetanse, teknologi og planlegging

I VVS-bransjen er det i dag begrenset kompetanse i planlegging, installasjon og drift av vannbårne varmesystemer. Dette vil være en flaskehals dersom rammebetingelsene for slike varmesystemer skulle endre seg radikalt.

For å utløse spare- og energieffektiviseringspotensialet er det også nødvendig med tiltak for å bevisstgjøre og å øke kompetanse hos sluttbruker.

Utfordringen om bedre energieffektivitet bør utløse en mye sterkere satsning på forskning og utvikling av ny teknologi og nye produkter. Dette gjelder ventilasjonskomponenter og –utstyr, varmeanlegg, reguleringsautomatikk, nye byggemetoder, m.m. Det er svært viktig at bransjen stimuleres til en slik produktutvikling.

Teknologi som kan gjøre at energi- og klimateknikk mer naturlig kommer inn i planleggingsprosessen er også viktig. Det må utvikles dataverktøy som gjør det lettere å utføre energi- og klimarelaterte simuleringer på et tidlig stadium i planleggingsprosessen.

I kommunal og offentlig sammenheng er det vesentlig at energispørsmål integreres i areal- og regionplanlegging. På den måten er det lettere å sikre utbygging av fjernvarmenett knyttet til f.eks. spillvarme fra industri.

5.3 Bestemmelser i Byggeforskriften

Energispørsmål er sentralt i den nye byggeforskriften av 1997. Etter revisjonen har forskriften i sterkere grad blitt preget av generelle funksjonskrav, slik at det er få egenskaper ved en bygning som har fått et tallfestet funksjonskrav. Graden av tallfesting vil alltid være en avveining mellom behovet for fleksibilitet og nødvendigheten av en lovfestet sikring av kvaliteter. Kompetanse i bransjen og vanlig byggeteknisk praksis danner bakgrunnen for denne avveiningen. For eksempel mener vi at krav til virkningsfaktor for vifter (SFP-faktor) kan tallfestes i forskriften, på grunn av en dårlig praksis i bransjen. Det samme gjelder lufttetthet av bygningsdeler. Nødvendigheten av energifleksibilitet kunne også vært tatt opp i forskriftssammenheng.

5.4 Anbefalinger i NOU 1998

Utvalget bak NOU 11:1998 anbefaler en rekke tiltak når det gjelder energieffektivisering. Noen av dem kommenteres her:

Kontakt distribusjonsverk og sluttbruker

På flere steder i landet er det i gang prøveprosjekter der kraftleverandører har installert strømmålere som gjør det mulig med fjernavlesning. Dette vil for det første gi grunnlag for bedre informasjon til brukeren om energibruken. For det andre beredes grunnen for en mer avansert tariffing, med forskjellige priser på dag- og nattstrøm. Slike differensierte tariffer bedrer økonomien og konkurransevnen for vannbårne oppvarmingssystemer med varmelagre. NOU 1998:11 anbefaler at det installeres avanserte strømmålere.

Strategiske offentlige innkjøp og teknologikonkurranser

Utvalget anbefaler at stat og kommune benytter strategiske offentlige innkjøp og teknologikonkurranser som et ledd for å fremme energiøkonomisering. Spesielt blir betydningen av teknologikonkurranser framhevet. Til en viss grad kan man si at strategisk innkjøp foregår i dag, i og med retningslinjene om at alle statens nye bygninger over 1000 m² skal ha et vannbåret oppvarmingssystem. Dette gjelder også bygninger som skal leies ut til staten.

Tredjepartsfinansiering

I en del tilfeller kan en tredjepart (for eksempel et energiverk) ha økonomi og kompetanse til å finansiere lønnsomme enøk-tiltak. Utvalget anbefaler å stimulere utviklingen av et kommersielt tilbud om tredjepartsfinansiering av enøk, primært ved å utarbeide informasjon om og standarder for TPF-kontrakter.

Frivillige avtaler

Utvalget anbefaler også å utvide ordningen med frivillige avtaler mellom industrien og myndighetene om miljø- og energisparingstiltak. Hensikten er å utløse tiltak som ellers ikke ville være lønnsomme for industrien, mot at myndighetene bidrar med skreddersydde tiltak for å stimulere utviklingen.

Kostnadsriktige overføringstariffer

Utvalget anbefaler en gjennomgang av ordningen med overføringstariffer. Dette er naturlig ut fra den nye kraftsituasjonen og ikke minst som en tilpasning til mer fleksible varmesystemer.

Økte avgifter på bruk av energi

Utvalget anbefaler en gradvis økning av avgiftene på elektrisitet og fyringsolje.

Andre anbefalte tiltak

- Energisertifikat nye og eksisterende bygninger
- Omorganisering av enøk-virksomheten- opprettelse av et sentralt, uavhengig enøk-organ
- Krav om legging av luft eller vannbårne systemer for oppvarming ved nybygging og større rehabiliteringer
- Husbanken bør fremme energieffektivitet ved å fremme nøkternhet (arealgrenser).
- Lette rammebetingelsene for investeringer i varmepumper

5.5 Perspektiver og virkemidler i andre land

5.5.1 Danmark

For Danmark er det et mål å videreutvikle den stabile og langsiktige energipolitikken, som gjennom de siste tyve år har skapt positive resultater, dvs. å stabilisere Danmarks samlede energibruk under økonomisk vekst. Dette skal blant annet oppnås ved:

- å stabilisere Danmarks samlede energibruk under fortsatt økonomisk vekst
- å øke effektiviteten i alle landets energitjenester
- å skape et robust og effektivt energisystem og samtidig bevare en høy grad av selvforsyning gjennom utnyttelsen av danske olje- og gassressurser og en økt utnyttelse av fornybar energi

- å sikre fleksibilitet via velutbygde el-, varme- og gassnett og utenlandsforbindelser
- å skape danske styrkeposisjoner på energiområdet og dermed legge grunnlaget til en eksport av bærekraftig energiteknologi.

For å oppnå disse målene gir de danske myndigheter betydelige økonomiske bidrag til omlegging fra eloppvarming til fjernvarme, tilleggisolering, biogassanlegg og biobrenselkjeler samt solpaneler og varmpumper i områder uten fjernvarmesystem. For et par år siden sluttet man med økonomisk støtte til solpaneler og vindkraftverk i områder med fjernvarmesystem. (Energistyrelsen 1998)

5.5.2 Sverige

Den svenske Riksdagen har besluttet at to av Sveriges kjernekraftverk, som i dag står for ca. 6 % av dagens elproduksjon, 8,5 TWh, skal avvikles innen juli 2001. Bortfallet av elektrisitet fra kjernekraft skal kompenseres gjennom mer effektiv energiutnyttelse og konvertering fra el til andre energikilder.

For at disse målene skal nås, gis det bidrag til elektrisitet-effektreduserende tiltak i boliger, for eksempel effektvakt samt vedovn eller anlegg for varmelagring og omlegging fra eloppvarming til fjernvarme eller annen individuell oppvarming, for eksempel vannbåret varme og varmpumpe. Det gis også investeringsbidrag til fjernvarmesystemer oppvarmet med biobrensel samt vindkraftverk og små vannkraftverk (Sveriges energimyndighet 1998).

5.6 Forsknings- og utviklingsbehov

Det er en rekke aktuelle temaer for forskningsoppgaver og teknologiutvikling innen dette feltet. Noen av de mest interessante kan være:

- Energi- og kostnadseffektivt, lav-temperatur, vannbåret oppvarmingssystem
- Nye, lokale kjøle- og oppvarmingssystemer i yrkesbygninger
- Krav til tilluftsmengder i yrkesbygninger – betydning av avgassing fra materialer
- Utnyttelse av klimaskjermen som en del av energisystemet i bygningen
- Nye prinsipper for energieffektiv ventilasjon av yrkesbygninger
- Prinsipper for behovsstyrt ventilasjon i yrkesbygninger
- Energieffektive, bruker- og vedlikeholdsvennlige boligventilasjonssystemer med varmegjenvinning
- Effekt av økte energipriser

6 KONKLUSJON

Energibruken per år i Norge øker mer enn utbyggingstakten til vannkraft og annen fornybar energi. Bare hittil i 1998 har energibruken økt med 5 % (dvs. 6 TWh) i forhold til 1997, noe som utgjør myndighetenes mål for utbygging av biobrensel de neste 5-10 årene. Økningen i energibruken i bygningsmassen skyldes først og fremst en økning i oppvarmet areal. Økningen skyldes ikke dårligere energieffektivitet, tvert i mot er energibruken pr. m² i boligsektoren gått noe ned de siste årene.

Utbyggingstakten av vannbårne varmesystemer basert på nye fornybare energikilder er svært lav. NVE melder om en stor interesse for støtteordningen, men gjennomførte prosjekter pr. år monner lite i forhold til den økende elektrisitetsbruken. Det samme kan sies å gjelde generell energisparing og energieffektiviseringstiltak.

Denne rapporten har pekt på en rekke tekniske muligheter for økt energieffektivisering. Blant anbefalte tiltak i småhus vil vi framheve:

- Styringssystemer for temperatur og effekt i småhus
- Etterisolering og lufttetting
- Ventilasjonsanlegg med varmegjenvinning
- Lav-temperatur, vannbåret varmeanlegg

Mange yrkesbygninger bruker mye mer energi enn nødvendig. Eksempler på aktuelle tiltak:

- Unngå løsninger som gir stort kjølebehov (eks. kontorbygninger med store glassarealer)
- Mer energieffektiv viftedrift (innføring av krav til SFP-faktor (spesifikk vifte-effekt))
- Redusere interne varmelaster (energieffektiv belysning)
- Behovsstyrt ventilasjon
- Lokale kjøle- og oppvarmingssystemer
- Vannbåret oppvarmingssystem i tilknytning til varmepumpe, spillvarme e.l.

I tillegg til tekniske tiltak for energieffektivisering fokuserer rapporten på nødvendige tiltak innen forskning, teknologiutvikling og planlegging:

- Høyere kompetanse i planlegging, installasjon og drift av vannbårne varmesystemer.
- Bevisstgjøring og økt kompetanse hos sluttbruker (informasjonskampanjer, informative strømgjøringer m.m.)
- Bedre rammebetingelser for forskning og produktutvikling (ventilasjonskomponenter og – utstyr, varmeanlegg, reguleringsautomatikk, nye byggemetoder, m.m.)
- Stimulere til at energispørsmål inkorporeres bedre i planleggingsprosessen, både i region- og områdeplanlegging og i planleggingen av den enkelte bygning.

Utviklingen når det gjelder kraftproduksjon og bruksmønster i Norge de siste årene tilsier at det nå må settes inn nye virkemidler for å få bedre energieffektivitet i norske bygninger. En del av energi- og elektrisitetspotensialet bør kunne gjennomføres uten offentlig bidrag. Men bedre økonomiske rammebetingelser, f.eks. støtteordninger, vil være avgjørende for å få gjennomført en merkbar reduksjon i elektrisitetsbruken i bygninger.

REFERANSER

1. Dokka T.H. 1997. "Nye byggeforskrifter med feil fokus". Norsk VVS 11/97.
2. Elmroth A. m.fl. 1987. "Energisvar '87". G17:1987. Byggforskningsrådet.
3. Energistyrelsen. 1998 <http://www.ens.dk/tilskud/index.htm>. Danmark
4. Gundersen P. 1993. Lavenergiboliger. Byggdetaljer 472.321. Norges byggforskningsinstitutt.
5. Gundersen P. Rimelige lavenergiboliger med rasjonelle installasjoner. Prosjektrapport 196/1996. Norges byggforskningsinstitutt.
6. Blom P., Skåret E. Ventilasjon og luftkvalitet i småhus. Feltundersøkelse og litteraturgjennomgang. Prosjektrapport 169/1995. Norges byggforskningsinstitutt.
7. Bartlett, S. The evolution of Norwegian energy use from 1950 to 1991, Rapport 93/21. Statistisk Sentralbyrå.
8. Haugland T. & Ljones A. 1996. "Enøk og klimapolitikk".
9. NOU 1998:11. "Energi- og kraftbalansen mot 2020". Olje- og energidepartementet.
10. Mysen M. 1998. "Energieffektiv ventilasjon - innføring av SFP". Oppdragsrapport O 9321. Norges byggforskningsinstitutt.
11. Sveriges energimyndighet. 1998. <http://www.stem.se/>. Sverige.
12. Søgne O.G. 1998 a). "Energifleksibilitet i bygningsmassen". NVE's byggoperatør. Publikasjon 1/98.
13. Søgne O.G. 1998 b). "Bygningsnettverket. Enøk og energistatistikk". NVE's byggoperatør. Publikasjon 2/98.
14. Øie, L. 1998. "The role of indoor building characteristics as exposure indicators and risk factors for development of bronchial obstruction in early childhood". Dr.ing 1998:51.
15. Selskapet for lyskultur: Lys og energibruk
16. IAQ Audit. Indoor Air Quality and energy use in 56 European Buildings. Norges byggforskningsinstitutt 1995.
17. Enfo: Elpriser og energibruk i husholdningene i Norden
18. NATVENT: Overcoming barriers to natural ventilation. CD-Rom, Norges byggforskningsinstitutt, 1999.

