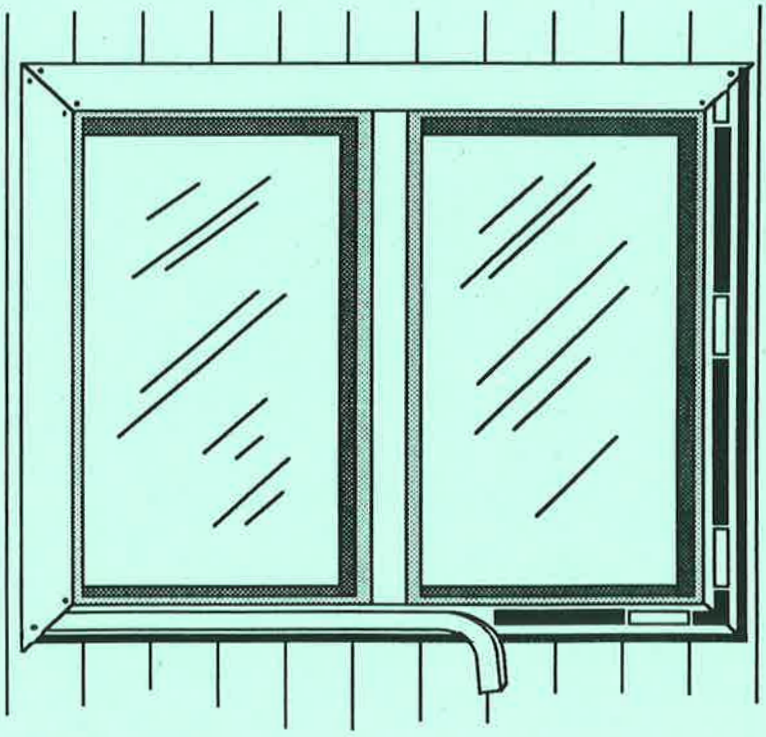
KVANTIFISERING AV MILJØULEMPER VED ULIKE ENERGITEKNOLOGIER

Delprosjekt 6: *Miljøulemper ved Enøk-tiltak*



Konsulent: Institutt for energiteknikk (IFE)

Desember 1991

Institutt for energiteknikk

	KJELLER	HALDEN
Postadresse	**Boks 40, N-2007 Kjeller**	**Boks 173, N-1751 Halden**
Telefon	**(06) 80 60 00**	**(09) 18 31 00**
Telex	**74 573 energ n**	**76 335 energ n**
Telefax	**(06) 81 11 68**	

Tilgjengelighet

Innskrenket

Rapport-type

Rapportnummer
IFE/KR/F-91/161

Dato
1991-12-10

Rapporttittel

Miljøkonsekvenser av enøk-tiltak

Dato for siste revisjon

Oppdragsgiver
Norges vassdrags- og energiverk

Revisjonsnummer

Oppdragsgivers referanse

Antall sider
33 + vedlegg

Antall eksemplar
20

Sammendrag

Denne utredningen tar sikte på å analysere miljøulemper forbundet med energiøkonomisering og søke å kvantifisere disse. Prosjektet er utført på oppdrag fra NVE og er en del av prosjektet "Kvantifisering av Miljøulemper ved ulike Energiteknologier".

Med utgangspunkt i den danske rapporten "Renere teknologi på energiområdet" er det i denne utredningen forsøkt å gjennomføre "livssyklusanalyser" for en rekke enøk-tiltak. Hovedvekten i utredningen er lagt på utredning av miljøkonsekvenser av enøk-tiltak på brukersiden innen industri, tjenesteyting og boliger.

De viktigste miljøkonsekvenser knyttet til enøk-tiltak i yrkesbygg og boliger er virkninger på innemiljø i forbindelse med etter-isolering og tetting av bygninger. Det er anslått at miljøkostnader knyttet til slike tiltak kan utgjøre 5-10 øre/kWh. Reduserte miljø-kostnader p.g.a. reduserte utslipp i bygg som fyres med olje vil utgjøre ca. 6 øre/kWh.

For andre enøk-tiltak i yrkesbygg og boliger er det beregnet at miljøkostnadene kan utgjøre 1-3 øre/kWh.

For enøk-tiltak i industrien er det beregnet at miljøkostnader knyttet til ulike tiltak ikke vil overstige 1-3 øre/kWh. I de tilfeller hvor enøk fører til redusert forbruk av olje vil reduksjon i miljø-kostnader p.g.a. redusert utslipp utgjøre 9,5 øre/kWh (50% lett-olje, 50% tungolje). Se også sammendrag.

Distribusjon

NVE 2 x

Per Finden
Ole Veiby
Karen Garder
Bibliotek
Arkiv

Sammendrag:
Direktører
Prosjektledelse, Halden
Avdelingssjefer

Stikkord:

	Navn	Dato	Signatur
Utarbeidet av	Karen Garder	1991-12-10	Karen Garder
Kontrollert av	Ole Veiby	1991-12-10	Ole Veiby
Godkjent av	Per Finden	1991-12-10	Per Finden

SAMMENDRAG

Denne utredningen tar sikte på å analysere miljøulemper forbundet med energiøkonomisering og søke å kvantifisere disse. Prosjektet er utført på oppdrag fra NVE og er en del av prosjektet "Kvantifisering av Miljøulemper ved ulike Energiteknologier".

Med utgangspunkt i den danske rapporten "Renere teknologi på energiområdet" er det i denne utredningen forsøkt å gjennomføre "livssyklusanalyser" for en rekke enøk-tiltak. Bruk av livssyklusanalyser er en helt ny og uprøvet analysemetode når det gjelder enøk-teknologier, og bortsett fra den ovennevnte danske studie, er det i litteraturstudien ikke funnet referanser til tilsvarende studier. Dette innebærer at det vil være store usikkerheter med hensyn til datagrunnlag og muligheter for detaljeringsgrader. I denne analysen har det derfor ikke vært mulig å komme frem til lik detaljeringsgrad for de ulike teknologier. Videre er de data som er benyttet beheftet med store usikkerheter. Det har heller ikke vært mulig innenfor rammen av dette prosjektet å gjennomføre fullstendige analyser for alle enøk-teknologier. Resultatene må derfor betraktes som foreløpige.

Hovedvekten i utredningen er lagt på utredning av miljøkonsekvenser av enøk-tiltak på brukersiden innen industri, tjenesteyting og boliger.

De viktigste miljøkonsekvenser knyttet til enøk-tiltak i yrkesbygg og boliger er virkninger på innemiljø i forbindelse med etterisolering og tetting av bygninger. Det er anslått at miljø-kostnader knyttet til slike tiltak kan utgjøre 5-10 øre/kWh. Reduserte miljøkostnader p.g.a. reduserte utslipp i bygg som fyres med olje vil utgjøre ca. 6 øre/kWh.

For andre enøk-tiltak i yrkesbygg og boliger er det beregnet at miljøkostnadene kan utgjøre 1-3 øre/kWh.

For enøk-tiltak i industrien er det beregnet at miljøkostnader knyttet til ulike tiltak ikke vil overstige 1-3 øre/kWh. I de tilfeller hvor enøk fører til redusert forbruk av olje vil reduksjon i miljøkostnader p.g.a. redusert utslipp utgjøre 9,5 øre/kWh (50% lettolje, 50% tungolje).

Enøk-tiltak som omfatter prosessomlegging og innføring av nye prosesser vil som regel føre til at prosessutslipp blir redusert, og vil derved bidra til forbedring både av arbeidsmiljø og ytre miljø.

Innhold

1. Innledning

1.1 Formål
1.2 Omfang og begrensninger
1.3 Litteratur

2. Metoder for analyse av miljøkonsekvenser i energisektoren

2.1 Verdsetting av miljøulemper
2.2 Renere teknologi - "Vugge til grav"-prinsippet
2.3 Renere teknologi på energiområdet
2.4 Energifaktor
2.5 Metodebegrensninger

3. Enøkpotensialet

3.1 Boliger og yrkesbygg
3.2 Industri
3.3 Husholdningsapparater
3.4 Potensialet for bruk av varmepumper

4. Miljøkonsekvenser av enøk-tiltak og kostnadsvurdering av miljøulemper

4.1 Enøk og innemiljø

4.1.1 Forurensninger i inneluft
4.1.2 Helseeffekter av forurensninger i inneluft
4.1.3 Kvantifisering av miljøulemper

4.2 Enøk ved effektivisering av industriprosesser

4.2.1 Energioppfølging, vedlikehold, reguleringsutstyr etc.
4.2.2 Innføring av nye prosesser, ombygging og omlegging av prosesser
4.2.3 Utnyttelse av spillvarme og avfall

4.3 Varmegjenvinning i ventilasjonsluft

4.4 Bruk av varmepumper

4.5 Etterisolering

4.6 Lav-energi lysarmatur

4.7 Husholdningsapparater

4.7.1 Lav-energi kjøleskap

5. **Kvantifisering av miljøkonsekvenser av enøk-tiltak i brukersystemet**

5.1 Industri
5.2 Tjenesteyting
5.3 Boliger

6. **Konklusjon**

6.1 Enøk i industrien
6.2 Enøk i yrkesbygg
6.3 Enøk i boliger

Litteraturliste

1. INNLEDNING

Enøk-tiltak blir idag betraktet som det viktigste virkemiddel for å begrense miljøpåvirkninger fra produksjon og bruk av energi.

For å kvantifisere miljønytten av enøk-tiltak vil det være nødvendig også å ta med i vurderingen miljøkonsekvensene forbundet med gjennomføring av enøk-tiltak.

1.1 Formål

Dette prosjektet er en del av prosjektet "Kvantifisering av Miljøulemper ved ulike Energiteknologier", hvor det tas sikte på å analysere miljøulempene forbundet med ulike energiteknologier og søke å kvantifisere disse. Det overordnede mål i hovedprosjektet er å legge grunnlaget for en samfunns-rasjonell energiplanlegging og energihusholdning gjennom å innbefatte miljøulempene ved kostnad/nyttevurderinger av energiprosjekter på regionalt og sentralt nivå.

Denne utredningen tar sikte på å analysere miljøulempene forbundet med energiøkonomisering og søke å kvantifisere disse.

Det er forutsatt at utredningen skal ta utgangspunkt i kjente data fra forskning og litteratur, og gi en oversikt over miljøkonsekvensene.

I prinsippet bør de ulike enøk-tiltak vurderes i hele teknologiens syklus, dvs.

- i fremstillingen av teknologien
- under driften av teknologien
- ved avvikling av teknologien.

Denne metoden er helt analog med metodikk som nå benyttes for tekniske miljøanalyser (SFT - mai 1991).

Fremstilling av en enøk-teknologi, f.eks. isoleringsmateriale, "koster" et energiforbruk, og vil derfor medføre en miljøbelastning. Man kan snakke om teknologiens energiinnhold. Det kan også være snakk om direkte utslipp ved fremstilling av f.eks. apparater.

1.2 Omfang og begrensninger

Hovedvekten i utredningen er lagt på utredning av miljøkonsekvenser av enøk-tiltak på brukersiden innen industri, tjenesteyting, boliger/husholdninger. Miljøulemper knyttet til enøk-tiltak i landbrukssektoren er også omtalt, men disse er ikke kvantifisert. Målsetningen var å komme frem til en kvantifisering av miljøulemper forbundet med enøk-tiltak. På grunn

av manglende datagrunnlag for en del helse/miljøvirkninger har det ikke vært mulig å gjennomføre dette for alle tiltak. Miljøeffekter ved utslipp av miljøgifter (tungmetaller, dioxiner etc.) er for eksempel foreløbig ikke kvantifiserbare. Utslipp av disse i forbindelse med enøk-teknologier er imidlertid totalt sett små.

Litteraturundersøkelsene viste at publisert litteratur om miljøulemper knyttet til enøk-tiltak er svært begrenset. Innen rammen av dette prosjektet har det derfor ikke vært mulig å foreta en kvantifisering av miljøulemper ved alle typer enøk-tiltak.

Rapporten "Renere teknologi på energiområdet" /1/ har vært et viktig bakgrunnsmateriale for vurderingene. Med utgangspunkt i det generelle prinsipp om "renere teknologi" er det i denne rapporten systematisert hva renere teknologi på energiområdet innebærer. Det gjøres oppmerksom på at bruken av livssyklusanalyser er en helt ny og uprøvet analysemetode når det gjelder energiteknologier, og at nødvendig dataunderlag er mangelfullt. Disse forhold vil naturlig nok gjenspeile seg i foreliggende utredning.

Når det gjelder kvantifisering av miljøvirkninger ved fremstilling av enøk-teknologien, er materialfremstillingen en viktig faktor. Miljøvirkninger av materialfremstilling er i stor grad avhengig av hvilket energiproduksjonssystem som benyttes ved fremstillingen (kap. 2).

1.3 Litteratur

I litteraturstudiene er det benyttet databasesystemer som Nordisk Energi Indeks (NEI), Energy Data Base (EDB, International Energy Agency), CADDET (Centre for the Analysis and Dissemination of Demonstrated Energy Technologies) m.fl.

Når det gjelder miljøkonsekvenser ved enøk-tiltak er den overveiende del av litteraturen knyttet til følgende temaer:

- Energiøkonomisering knyttet til nasjonale energiplaner
- Energiøkonomisering som et viktig ledd i begrensning av utslipp av klimagasser og andre forurensninger
- Energiøkonomisering og innemiljø

I en rekke land utarbeides det nå nasjonale energiplaner som et ledd i å redusere utslippene av klimagasser, og energiøkonomisering inngår som en meget viktig del i disse planene (/2/, /3/, /4/, /5/).

I SFTs analyse i forbindelse med Tiltakskatalog for Reduksjon av Klimagasser i Norge /6/ er en realisering av det samfunnsøkonomiske enøk-potensialet rangert som tiltak som både

gir stor miljøeffekt og har svært god kostnadseffektivitet.

Miljøgevinster ved enøk-tiltak er behandlet i en rekke publikasjoner (/7/, /8/, /9/, /10/). Det er i denne sammenheng bare tatt med noe av den nyeste litteratur.

2. METODER FOR ANALYSE AV MILJØKONSEKVENSER I ENERGISEKTOREN

Produksjon, fordeling og bruk av energi kan medføre kostnader som ikke dekkes av markedsprisene. Den skade som f.eks. oppstår på miljøet, må eventuelt dekkes av samfunnet på en eller annen måte.

Når det gjelder miljøkonsekvenser forbundet med enøk-tiltak, foreligger det rikelig med litteratur om problematikken enøk/innemiljø, men svært lite med hensyn til kvantifisering. For andre enøk-tiltak foreligger det sparsomt med litteratur når det gjelder miljøkonsekvenser.

2.1 Verdsetting av miljøulemper

Verdsetting av miljøulemper forbundet med utslipp av forurensende stoffer og andre miljøpåvirkninger kan foretas på to forskjellige måter:

- Verdsetting ut fra beregninger og vurderinger av hvilke kostnader samfunnet påføres som følge av utslipp og andre påvirkninger

- Verdsetting ut fra beregninger av hva en reduksjon i f.eks. utslipp vil koste dersom de gjennomføres ved å angripe kilden til miljøulemper (f.eks. utslippsreduksjoner).

Ulike metoder for verdsetting er behandlet nærmere i Delprosjekt 7 "Miljøkostnader og Samfunnsøkonomi".

For verdsetting av miljøulemper ved enøk-tiltak viser en gjennomgang av dataunderlaget at dette ikke er tilstrekkelig til å gjennomføre en analyse etter førstnevnte metode. Bakgrunnen for dette er at de undersøkelser og studier som er gjennomført i stor grad er fokusert på

- utslipp av store mengder forurensende stoffer, som f.eks. utslipp ved bruk av fossile brensler (beregninger etter doserespons-prinsippet).

- verdsetting av miljøgoder med utgangspunkt i beregninger av typen "betinget verdiundersøkelser" knyttet til større utbyggingsprosjekter (f.eks. i forbindelse med "samlet plan for vassdrag").

Når det gjelder mulige ulemper ved enøk-tiltak vil disse være av en annen karakter:

- Utslipp av forurensende stoffer vil være små

- Installasjoner av utstyr for energieffektivisering vil være små anlegg knyttet til eksisterende virksomheter.

Denne utredningen er derfor basert på en verdsetting ut fra kostnader for begrensninger ved kilden til miljøulempene, f.eks. utgifter til renseteknologi. Eksemplet på en slik beregning av miljøkostnader ved begrensning av utslipp fra bruk av fossile brensler er gitt i vedlegg 1.

2.2 Renere teknologi - "Vugge til grav"-prinsippet

En forutsetning for denne utredningen er at ulike enøk-tiltak skal vurderes i hele teknologiens syklus. Dette er i samsvar med prinsipper som er nedfelt i SFT's program for renere teknologi når det gjelder industrien. Renere teknologi defineres av SFT på følgende måte:

> "Renere teknologi innebærer endringer i råvarer, prosessendringer og nye produktkvaliteter for maksimalt å kunne redusere utslipp til vann og luft og avfallsproduksjon."

I samsvar med denne definisjonen skal renere teknologi innføres i industrien for i størst mulig grad å forhindre at utslipp og/eller avfall oppstår.

"Vugge til grav"-prinsippet innebærer generelt en vurdering av alle ledd i et produkts "livssyklus", fra råvareuttak, energiforbruk, produksjonsmetoder, distribusjon og avfallshåndtering for både restprodukter og selve produktet, etter at det har endt som avfall. Både avfallsminimering og gjenvinning må inngå i slike vurderinger.

2.3 Renere teknologi på energiområdet

Miljøkonsekvenser ved enøk-tiltak er behandlet i en dansk studie "Renere teknologi på energiområdet". Med utgangspunkt i det generelle prinsipp om renere teknologi er det i dette arbeidet konkretisert hva renere teknologi på energiområdet innebærer. Det pekes på at bruken av livssyklusanalyser er en helt ny og uprøvet analysemetode når det gjelder energiteknologier.

I analysen kan energi og materialstrømmer i et system beskrives parallelt for hvert enkelt ledd i livssyklusen.

Generelt er de punkter som skal behandles i analysen i overensstemmelse med målsettingen for vår studie. Det er i rapporten gjengitt en sjekkliste over de punkter som de har forsøkt å få med i livssyklusanalysen, denne listen er som følger:

Fremstilling
- Materialstrøm
- Energiforhold
- Transport
- Emisjoner og miljøeffekter
- Arbeidsmiljø

Drift
- Energi- og ressursforbruk
- Transport
- Emisjoner og miljøeffekter
- Arbeidsmiljø
- Levetid

Avvikling
- Energi- og ressursforbruk
- Transport
- Gjenbruk
- Emisjoner og miljøeffekter
- Arbeidsmiljø

Samlet analyse
- Energifaktor

2.4 Energifaktor

I rapporten "Renere teknologi på energiområdet" er det lagt stor vekt på energiinnholdet i materialer, og en energifaktor er benyttet til kvantifisering

$$\text{Energifaktor} = \frac{\text{energiproduksjon i driftsfasen}}{\text{energiforbruk til fremstilling, drift og avvikling}}$$

For enøk-teknologier betraktes således den sparte energi i livssyklusen som en slags energiproduksjon. Jo høyere energifaktoren er, desto bedre er livssykluseffektiviteten.

Energiinnhold i materialer

Et av de grunnleggende forhold som en livssyklusanalyse skal kunne klarlegge, er hvorvidt energiforbruket til fremstilling og sammenføyning av materialer kan ha en avgjørende betydning i forhold til energisparing i driftsfasen. Energiforbruk til fremstilling av materialer er materialspesifikt. I ref. 1 er det utarbeidet en materialliste som angir spesifikt forbruk av energi for fremstilling av et materiale, fra råstoffutvinning til levering hos forbruker. Denne listen er gjengitt i vedlegg 2.

Energiforbruket i denne listen er omregnet til forbruk av primære energikilder, hovedsakelig kull- og oljeprodukter, for el-forsyning er det regnet med en effektivitet på 34%.

I forbindelse med bygningsmaterialer er det utarbeidet en materialliste ved Norsk Treteknisk Institutt. Det er også utarbeidet en finsk liste over energiinnholdet ved husbygging /12/. Felles for disse listene er at det også her regnes om til primærenergiforbruk (kull, olje etc.).

Den gjengitte listen må derfor brukes med stor varsomhet, i våre beregninger av energifaktor for varmevekslere har vi gått ut fra Aluminium produsert med vannkraft.

2.5 Metodebegrensninger

Verdsetting av miljøulemper ved bruk av kostnadsanalyser for tiltak som reduserer utslipp/-ulemper har den begrensning at de knyttes til blant annet krav til utslippsbegrensninger. Dersom fremtidige utslippskrav generelt skjerpes, vil kostnadene for utslippsreduserende tiltak skjerpes.

I denne utredningen har man måttet benytte de kostnadstall som foreligger. Dette gjelder f.eks. kostnader til avfallsbehandling ved avvikling av en teknologi, på dette området er det mulig at kostnadene vil øke i fremtiden.

I foreliggende studie er det gjort forsøk på å benytte en livssyklusanalyse for å vurdere miljøkonsekvenser av enøk-tiltak. Dette er en forholdsvis ny analysemetode, og bortsett fra den ovennevnte danske studie er det i litteraturstudien ikke funnet referanser til tilsvarende studier. Dette innebærer at det vil være store usikkerheter med hensyn til datagrunnlag og muligheter for detaljeringsgrader. I denne analysen har det derfor ikke vært mulig å komme frem til lik detaljeringsgrad for de ulike teknologier. Videre er de data som er benyttet beheftet med store usikkerheter. Det har heller ikke vært mulig innenfor rammen av dette prosjektet å gjennomføre fullstendige analyser for alle enøk-teknologier. Resultatene må derfor betraktes som foreløpige.

Usikkerheten knyttet til denne beregningsmetode er for de fleste enøk-tiltak likevel kanskje ikke større enn usikkerhet knyttet til andre metoder. Dette fordi de fleste enøk-tiltak medfører små utslipp og andre miljøulemper.

Når det gjelder miljøulemper knyttet til innemiljø er kvantifiseringen basert på utgifter til økt ventilasjon, som er nødvendig for å opprettholde luftkvaliteten innendørs.

3. ENØKPOTENSIALET

Ifølge Stortingsmelding nr. 61 er anslaget på det samlede samfunnsøkonomiske enøk-potensialet:

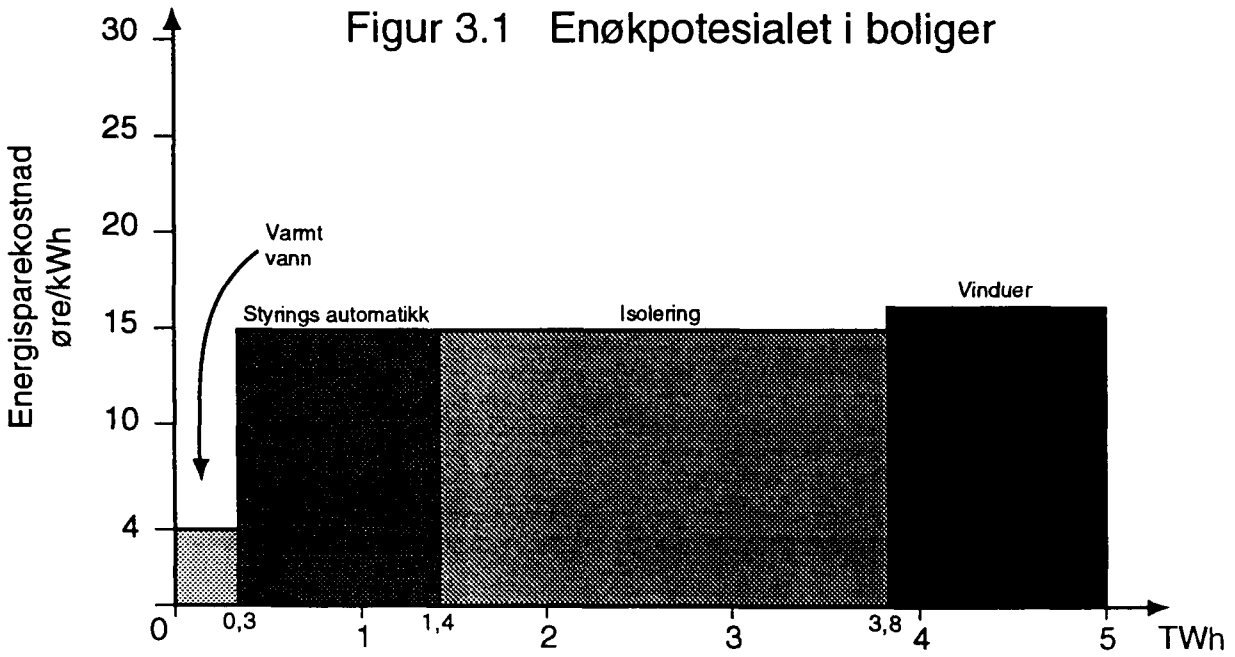
Produksjon og overføring: 5,5 TWh

	Olje	Elektrisitet	Total	% av forbruk
Boliger:	1,9 TWh	3,1 TWh	5,0 TWh	13
Tjenesteyting:	2,8 "	2,0 "	4,8 TWh	27
Industri:	2,6 "	6,6 "	9,2 TWh	13
Produksjons- og overføringssystem		5,5 "	5,5 TWh	5

3.1 Boliger og yrkesbygg

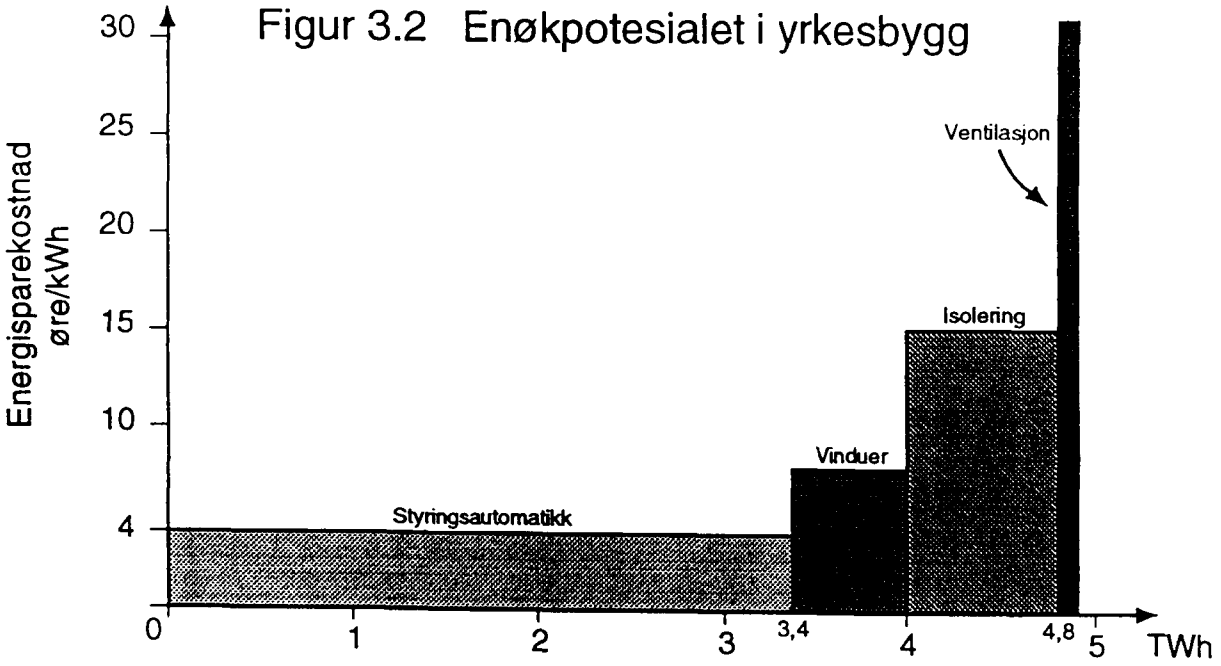
Det beregnede enøk-potensialet i boliger utgjør 13% av tilført energi. Figur 3.1 og tabell 3.1 i vedlegg 3 viser fordelingen av sparepotensialet på ulike enøk-tiltak.

Figur 3.1 Enøkpotesialet i boliger



Enøk ved etterisolering og utbedring av vinduer utgjør ca. 70% av sparepotensialet.

Det beregnede enøk-potensialet i yrkesbygg utgjør omlag 27% av tilført energi. Figur 3.2 og tabell 3.2 i vedlegg 3 viser fordelingen av sparepotensialet på ulike enøk-tiltak.



Omlag 70% av potensialet er knyttet til installasjon av ulike styringssystemer for ventilasjon og oppvarming.

Samfunnsøkonomisk enøk-potensial for boliger og yrkesbygg er beregnet ved å sammenligne langtidsgrensekostnad for utbygging av ny vannkraft (ref. abonnentens vegg) med kostnader for enøk-tiltak. Langtidsgrensekostnad 1988: kr 0,37/kWh. For fastsettelse av verdien av bespart olje er det benyttet oljepriser fra 1987 (fyringsolje nr. 1 og 2 - kr 1,53/l).

3.2 Industri

Enøk-potensialet i industrien /11/ er utarbeidet av IFE i samarbeid med Norsk Energi. Det samfunnsøkonomiske enøk-potensialet er beregnet til 9,2 TWh, fordelt på 6,6 TWh el, 1,5 TWh olje og 1,1 TWh kull og koks.

For alle bransjer, unntatt kraftkrevende industri, er grunnlaget for beregningene det samme som for boliger og yrkesbygg. For kraftkrevende industri er det benyttet en langtidsgrense-kostnad på kr 0,26/kWh (ref. snitt kraftstasjon/hovednett).

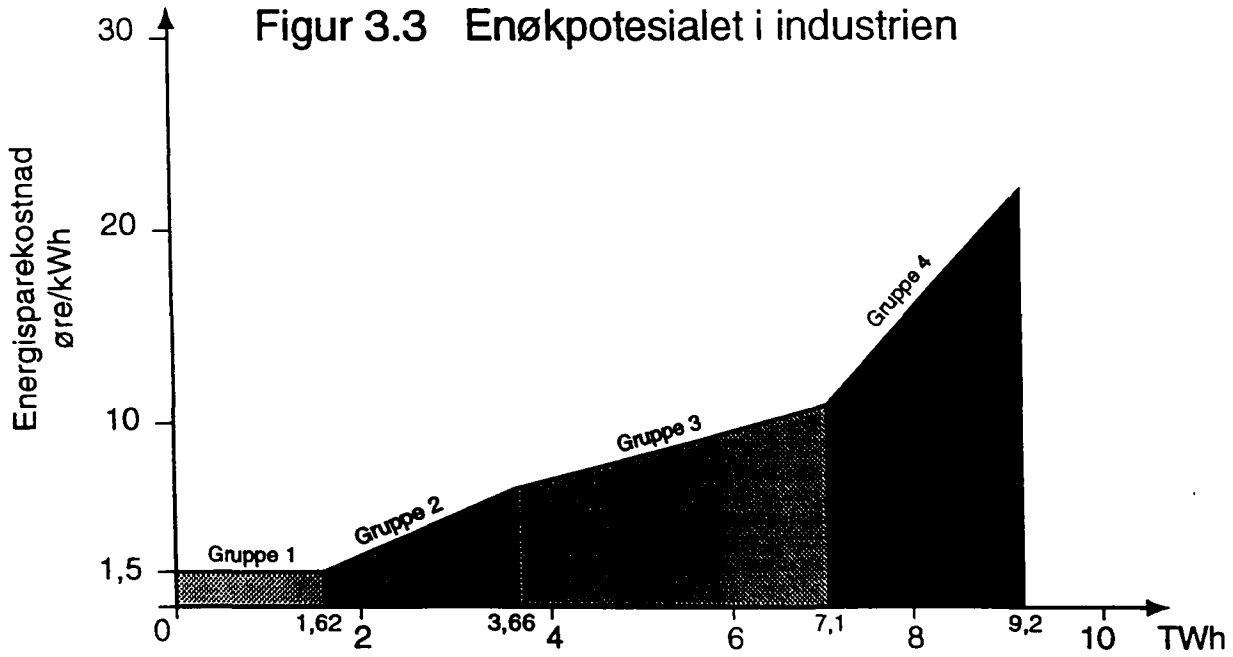
Det bedriftsøkonomiske potensialet varierer fra 1% til 15%. I kraftkrevende industri og treforedling ligger dette potensialet på 2 til 8%. I bransjer med typiske små og mellomstore bedrifter er potensialet mellom 10 og 15%.

Beregning av bedriftsøkonomisk enøk-potensial er basert på et nominelt avkastningskrav i bedriftene på 27%. Aktuelle energipriser (gjennomsnitt i bransjene 1988) er lagt til grunn for beregningene.

Det samfunnsøkonomiske potensialet varierer fra 5 til 23%. I kraftkrevende industri og treforedling er dette potensialet på 5 til 18% - høyest i treforedling og lavest i jern, stål og ferrolegeringer. I de andre bransjene er det samfunnsøkonomiske potensialet 10 til 23%, med de fleste i underkant av 20%.

Det beregnede samfunnsøkonomiske enøk-potensialet i industrien utgjør omlag 13% av tilført energi. I figur 3.3 og tabell 3.3 i vedlegg 3 er det vist en fordeling av enøk-potensialet fordelt på ulike typer tiltak og på ulike kostnadsklasser.

Figur 3.3 Enøkpotesialet i industrien



3.3 Husholdningsapparater

Den sterke økningen i el-forbruket innen privat sektor har i betydelig grad sammenheng med økt bruk av elektriske husholdningsapparater (kjøleskap/frysere/vaskemaskiner, oppvaskmaskiner etc.). Forbruket til disse maskinene og apparatene kan utgjøre en betydelig del av totalt elforbruk i en vanlig husholdning. Spørsmålet om en begrensning av husholdningsapparatenes elforbruk er på denne bakgrunn tatt opp i en rekke land. Interessen har dels konsentrert seg om tiltak fra produsentens side for å redusere energibruken, dels om innføring av frivillige eller obligatoriske systemer for energideklarasjoner som veiledning for forbrukerne ved kjøp. USA har lovfestet bindende maksimumsnormer for elforbruket i en lang rekke husholdningsapparater. Mange land krever energimerking.

I Danmark skal det gjennomføres en energimerkingsordning for de viktigste husholdningsapparater /2/.

I Norge skal nå også planlegging av energimerking igangsettes.

Potensialet for energisparing i denne sektor er beregnet i en AKF-rapport /16/. Koeffisienten for teknisk el-sparing er som angitt:

	Potensialet Markedsført teknikk % **År 1986**
Lys	74
Fryser	51
Vaskemaskin	33
Kjøleskap	41
Kombiskap	35
Tørketromler	26
Oppvaskmaskin	29
Elektrisk komfyr	7

Enøk-potensialet er beregnet for såkalt Markedsført teknikk, dvs. at de samme funksjoner blir utført med det mest energieffektive utstyr som finnes på markedet i dag.
En del av dette tekniske potensialet kan ikke forventes realisert uten særlige energipolitiske inngrep.

I tillegg kan også nevnes den norske sparedusjen "Best Saver" som ifølge produsent bruker bare 50% av varmtvannsmengden, med tilsvarende mindre energibruk.

3.4 Potensialet for bruk av varmepumper

Potensialet for bruk av varmepumper er blitt undersøkt i en rapport av Energidata /17/ for husholdning, tjenesteytende sektor og industrisektor for år 1990 og ved år 2000 ved ulike avkastningskrav. Det må gjøres oppmerksom på at ved beregning av potensialet for varmepumper er det ikke tatt hensyn til at en del av potensialet vil bli realisert ved andre enøk-tiltak.

Boligsektor

Ved en samfunnsøkonomisk betraktning med avkastningskrav på 7% (realrente) og levetid på 10 år er økonomisk varmepumpepotensial beregnet til 1,8 TWh i 1990 og 7 TWh i år 2000.

Med en miljøavgift på energi vil økonomisk potensial for 1990 øke til 2,4 TWh ved 7% avkastning, og for år 2000 til 8 TWh for 7% avkastning (se tabell 3.4 i vedlegg).

Tjenesteytende sektor

Med avkastningskrav på 7% vil det økonomiske varmepumpepotensialet i 1990 være ca. 8,0 TWh og 2 TWh med 30% avkastningskrav (levetid 15 år).

For år 2000 er økonomisk potensial 11,5 TWh ved 7% avkastning og ca. 6,0 TWh ved 30% avkastning.

Med miljøavgift på energi øker potensialet til 9 TWh (1990) og til 12 TWh (2000) for 7% avkastning. Det er denne gruppen som har det største økonomiske potensialet for varmepumper når energimengdene blir betraktet (se tabell 3.4 i vedlegg).

Industrisektoren

I industrisektoren har man ofte høyere avkastningskrav enn 7%, mens det samfunnsøkonomiske potensial var 3,4 TWh (1986) og 3,7 TWh i 2000. Det økonomiske potensialet i 1990 er ca. 1,5 TWh for 30% avkastning (15 års levetid).

Miljøavgift vil også gi en økning (se vedlegg 1).

4. MILJØKONSEKVENSER AV ENØK-TILTAK OG KOSTNADS-VURDERING AV MILJØULEMPER

I dette kapitlet er det foretatt en vurdering og kvantifisering av miljøkonsekvenser ved ulike enøk-tiltak på brukersiden.

I tabell 5.1 er det gitt en oversikt over miljøulemper knyttet til ulike enøk-tiltak.

Det er så langt det har vært mulig gitt oversikt over miljøulemper i enøk-teknologiens livssyklus, og en kvantifisering av miljøulempene. For noen tiltak inneholder tabellen også en beregnet Energifaktor.

Noen typer enøk-tiltak er aktuelle både når det gjelder industri, yrkesbygg og boliger, mens andre er spesifikke for en brukersektor som f.eks. i industrien. Aktuelle enøk-tiltak i de ulike brukersystemer er nærmere angitt i neste kapittel.

Når det gjelder miljøulemper forbundet med enøk-tiltak, bekrefter både litteraturstudier og kontakter med fagmiljøer at innemiljø-problemer knyttet til bygningsmessige enøk-tiltak kan være det største problemet. Dette gjelder både for yrkesbygg og boliger.

For andre enøk-tiltak er mulige ulemper knyttet til små utslipp ved fremstilling av enøk-utstyret og ved avvikling. Utslippene kan dreie seg om små mengder av tungmetaller og i noen tilfeller små mengder klimagasser.

Tabell 4.1 Oversikt over miljøulemper ved enøk-tiltak

Tiltak	Utslipp/miljøulemper Fremstilling	Drift	Innemiljø Arbeidsmiljø	Energifaktor	Avvikling kostnader kr/kWh
Prosessomlegging i industrien	-	-	Ofte for-bedring	X	-
Prosesstyring og kontroll	-	-	Ofte for-bedring	X	-
Utnyttelse av avfall og spillvarme	-	Utslipp redu-sert i forhold til ved depo-nering	0	∞	-
Varmegjenvinning	-	-	0	36	< 0,01 deponering
Varmepumper			0	39	0,01 klimagasser
Etterisolering	-	-	0,05-0,10 kr/kWh	39	X
Lavenergi lysarmatur	Små utslipp av tungmetaller	-	0	∞	0,01 Kvikksølv
Lavenergi kjøleskap	Små utslipp av klimagasser	-	0	5,9	Utslipp klimagasser
Andre husholdningsapparater	-	-	0	X	-

\- En ubetydelig andel av evt. utslipp kan tilskrives enøk-delen

X Ikke beregnet

0 Ingen kjente miljøeffekter

4.1 Enøk og innemiljø

I Norge tilbringer de fleste mer enn 90% av sin tid innendørs, luftkvaliteten innendørs blir derfor av avgjørende betydning for helse og trivsel.

Det blir fra mange hold pekt på at enøk-tiltak kan føre til dårlig inneklima. Dette henger blant annet sammen med at det på grunn av økte energipriser i tidsrommet 1973-86 var ønskelig å redusere energibehovet. Dette førte til at det ble bygget tettere bygninger for å begrense energitapet gjennom lekkasjer i vegger, vinduer o.l. Ventilasjonsluftmengdene er gjennom dette blitt redusert.

Samtidig er det også tatt i bruk nye materialer, stoffer og utstyr som avgir gasser, damper, fibre og andre forurensninger til inneluften. Dette har reist spørsmål om ikke ventilasjonsmengdene burde økes igjen.

Problemet enøk/inneklima er meget komplisert, mange mener at det ikke nødvendigvis er noe motsetningsforhold mellom enøk og et godt inneklima.

Det er i den senere tid rapportert to undersøkelser her i landet som vedrører enøk og innemiljø.

I forbindelse med etterkontroll av enøk-saker har Oslo Energi /18/ stilt spørsmål til bygg-/boligeiere vedrørende innemiljø etter gjennomførte enøk-tiltak.

Etterkontrollen omfattet 100 småhus, 63 boligblokker (1.620 leiligheter) og 80 næringsbygg (600.000 m^2). De fleste svarte at enøk-tiltakene også hadde ført til en forbedring av innemiljøet. I ca. 1/3 av sakene ble det også spurt om innemiljøet ble dårligere. Ingen svarte "ja" på dette.

På oppdrag fra Kommunenes Sentralforbund har T. Myhre fra Agderforskning utarbeidet en rapport om energiforbruksdata før og etter enøk-tiltak for skolebygg i Aust- og Vest-Agder /19/. I denne rapporten blir det hevdet at innemiljøet er blitt dårligere etter at enøk-tiltak er gjennomført.

Siden innemiljøproblemene etter hvert har fått stor oppmerksomhet, og det er blitt klart at problemene er av forholdsvis stort omfang, må dette trolig tas mer hensyn til når en bygger.

4.1.1 Forurensninger i inneluft

De viktigste forurensningene i inneluft er: svevestøv, fibre, bakterier og sopp, karbonmonoksyd, karbondioksyd, samt en rekke organiske forbindelser (som formaldehyd) og Radon.

Det er mange kilder til forurensning av inneluften, blant de viktigste er:

Avgassing fra byggematerialer, møbler o.l., samt avgassing fra renholds- og andre forbruksprodukter, tobakksrøyk, menneskelig aktivitet, uteluft og forurensning fra ventilasjonsanlegg.

4.1.2 Helseeffekter av forurensninger i inneluft

Forurensning i innelufta kan føre til en hel rekke helseeffekter. De vanligste er de "diffuse" symptomene, som

- hodepine
- unormal trøtthet
- tørrhet i øyne, nese, hals og hud
- rennende øyne eller nese

Disse symptomene opptrer ofte samtidig hos ansatte i kontorlokaler og kalles derfor "kontorsyke" eller "sick building syndrome". Stort sett er dette ikke alvorlige helseproblemer, men trivsel, arbeidslyst og -kapasitet kan bli betydelig redusert. Foreløpig har det ikke vært mulig å peke på en enkelt årsak til disse problemene.

En del alvorlige helseeffekter kan også skyldes innendørs forurensning:

- HYPERAKTIVITET OG ALLERGI - Dette er særlig et problem for astmatikere og andre med luftveisbesvær, men også husstøvmidd-allergi og andre allergier kan opptre.

- INFEKSJONER - Mest kjent er "legionærsyken" som i alvorlige tilfeller kan være dødelig, men også luftfukterfeber kan være alvorlig. Dette er en infeksjon med influensalignende symptomer som går over etter noen timer.

- KREFT - Dette forbindes i de fleste tilfeller med høye radon-konsentrasjoner, men også formaldehyd, andre organiske forbindelser og asbestfibre er stoffer som er klassifisert som kreftfremkallende.

4.1.3 Kvantifisering av miljøulemper

I en nylig utført utredning av Statens råd for Byggnadsforskning i Sverige, "Hus & Hälsa, Inneklimat och Energihushallning" (/20/), er det imidlertid fastslått at det i Sverige er altfor stor frekvens av "usunne hus". I rapporten blir det blant annet trukket følgende konklusjoner:

"Hvis det ikke lar seg gjøre å oppnå "sunne" hus på annen måte, må kostnadene tas i form av økt energiforbruk.

Målet må imidlertid være å utvikle kompetanse, materialer, teknikk og systemer på en slik

måte at godt miljø kan kombineres med vidtgående energiøkonomisering. Denne oppgaven er ikke lett, og den kan innebære store forandringer."

I rapporten er det også anslått at hvis lufttilførselen i gjennomsnitt må økes med 2-3 l/s pr. person, vil energibehovet økes med brutto 12-13 kWh/år/m^2, dvs. 10-25%. Med varmegjenvinning blir økningen 5-12%. Det blir videre pekt på at en økning i lufttilførselen ikke behøver å være uøkonomisk for samfunnet. Dette er vist ved følgende beregninger: "Kostnadene for oppvarming av Sveriges boliger og lokaler anslås til 35 milliarder kr/år. For samfunnsøkonomien kan det være på sin plass å sammenligne produksjonstap og varmekostnader. En fraværsdag pr. person i den totale arbeidsstokken innebærer et produksjonsbortfall og dermed relaterte kostnader som utgjør minst 6 milliarder kr/år. Man kan videre anta at den mest følsomme femtedel av befolkningen utsettes for 5 fraværsdager pr. person pr. år på grunn av inneklimaet, hvilket gir samme sum som ovenfor. Legebesøk kommer i tillegg til dette. Dette kan sammenlignes med at 20% økning av energiforbruket i en tredjedel av lokalene (de mest "usunne") kan beregnes å koste 1,1 milliarder kr/år." Disse kostnadsberegningene kan ikke direkte relateres til enøk, og rapporten peker også på at det er altfor overforenklet å se dagens innemiljøproblemer som resultat av energiøkonomisering.

I Norge er det foretatt noen beregninger av energibruk i moderne yrkesbygg i forbindelse med OPAL-prosjektet (Oppgradering av luftkvaliteten i yrkesbygg, NIFs hovedkomité for Helse-Trivsel-Innemiljø) ref. 21.

I disse rapportene er det beregnet at en oppgradering av luftkvaliteten i moderne kontorbygg fra minimumsmengde 3 l/s pr. person til "god luftkvalitet" 6,5 l/s pr. person vil betinge en økning i totalt energiforbruk på 10-30%, dvs. tilnærmet de samme tall som i den svenske utredningen. "Normalbygget" idag anses imidlertid å ha en luftmengde på 4 l/s pr. person, i relasjon til dette vil nødvendig økning av energiforbruket være 6-20%. Utførte analyser viser at årlig enrgiforbruk er svært avhengig av EDB-installasjoner og annet teknisk utstyr. Størst økning av energiforbruket vil være i bygg uten EDB-installasjoner. For et representativt kontorbygg er nødvendig økning i energiforbruket for oppgradering av luftkvaliteten beregnet til 8%.

Økonomiske konsekvenser av økt ventilasjon er særlig knyttet til investeringskostnadene. Det er beregnet at en dobling av luftmengdene vil bety en økning av årskostnadene (investeringene) på 1.125.000 kr (15 års avskrivning, 6% realrente) for et bygg på 25.000 m^2. Energiforbruket økes fra 226 kWh/m^2/år til 244 kWh/m^2. Totalt vil energiforbruket for bygget bli 6.100.000 kWh/år, og investeringskostnadene vil således beløpe seg til ca. kr 0,20 pr. kWh.

Med en mer moderat økning av luftmengdene (fra 3 l/s pr. person til 4 l/s) er investeringskostnadene omlag 1/3. Det blir videre påpekt at å løse problemene med dårlig luftkvalitet ved kun å øke luftmengden neppe vil være teknisk/økonomisk akseptabelt, man må også gjøre det som er mulig for å redusere forurensningene. (Aktuelle tiltak er: bruk av mindre forurensende materialer, godt renhold, forbedret vedlikehold av ventilasjonsinstallasjoner etc.)

Med bakgrunn i ovennevnte data, og hvis vi betrakter investeringskostnadene som "rense-kostnader", kan man "grovt" anslå at miljøkostnaden ved bygningsmessig enøk (etterisolering og tetting av bygninger) kan beløpe seg til 5-10 øre/kWh. På sikt bør det tilstrebes å redusere disse kostnadene ved at forurensningene stoppes ved kilden.

Det kan også nevnes at i NTNFs FoU-program "Produktutvikling og forsøksbygg", er energi og innemiljø ett av satsningsområdene. I beskrivelsen av programmet blir det pekt på at for innemiljøområdet er forskningshistorien så kort at det vil være nødvendig også å støtte kunnskapsprosjekter. Eksempler på uløste spørsmål er sammenhengen mellom godt innemiljø og økonomi, samt mellom innemiljø og materialbruk.

Skal man vurdere miljøulemper ved energiøkonomisering i bygninger, må det også tas hensyn til hvilken energikilde som benyttes til oppvarming. Hvis oppvarming skjer ved fossilt brensel, representerer utslipp av forbrenningsgasser også en samfunnsøkonomisk kostnad. Ved bruk av lettolje er det anslått en samfunnsøkonomisk kostnad på 6 øre/kWh (vedlegg 1).

4.2 Enøk ved effektivisering av industriprosesser

I industrien pågår en løpende aktivitet for å utnytte energien bedre, enten direkte eller indirekte. Dette skjer dels ved innføring av nye prosesser, nytt utstyr og dels ved utnyttelse av spillvarme. Bedre prosesskontroll gir ofte økt produktivitet og lavere spesifikt energi-forbruk. Energioppfølging som betyr at det gis muligheter for kontroll av energiforbruket regelmessig, fører ofte til at energiforbruket synker med 3-5%. Motivasjonen hos energi-ansvarlige øker når vedkommende gis muligheter til å vise hvor mye som brukes av energi i en periode og hvor mye som spares. I rapporten "Enøk-potensialet i industrien" er enøk-tiltakenes lønnsomhet (kostnader) fordelt på kostnadsklasser. Investeringsbehovet for en gitt besparelse er angitt for 4 kostnadsklasser. De fire kostnadsklassene er:

Kostnads-klasse	Investering kr/kWh
1	< 0,1
2	0,1-0,5
3	0,5-1,0
4	> 1,0

Investeringsbeløpet refererer seg til hvor mye det i dag er nødvendig å investere for å spare én enhet energi hvert år i tiltakets levetid. Typiske tiltak i hver kostnadsklasse er:

Tiltak med lavere investeringer enn 0,1 kr/kWh er energioppfølging, opplæring av drifts-ansvarlige, kontroll og vedlikehold av reguleringsutstyr, urstyringer, bedre prosessforståelse og vedlikehold av damp og kondensatsystemer.

Tiltak med investeringer mellom 0,1-0,5 kr/kWh er enkle ombygginger/omlegginger av prosessene, varmeveksling mellom avløpsvann (kjølevann) og inntaksvann, prosesskontroll, tiltak på varme- og ventilasjonsanlegg, maskinkjøling brukt til oppvarming, enkel isolering av bygg, rør og tanker.

Tiltak med investeringer mellom 0,5-1,0 kr/kWh er større ombygginger/omlegginger av prosessene, varmegjenvinning på ventilasjonsluft, varmepumper på vannsiden og omfattende regulerings- og kontrollutstyr.

Tiltak med investeringer over > 1,0 kr/kWh er varmepumper til maskinkjøling, varmepumper på inndampere, røykgassvaskeanlegg, utskiftning av prosesser med nye prosesser basert på dagens teknologi, de fleste tiltak på bygningene, produksjon av el. energi fra støvholdige gasser og utnyttelse av spillvarme i fjernvarmeanlegg.

4.2.1 Energioppfølging, vedlikehold, reguleringsutstyr etc.

Dette er enøk-tiltak i industrien og i yrkesbygg som har, som tidligere, en høy kostnads-effektvitet. Tiltakene innebærer lave utstyrskostnader. Miljøbelastninger både ved fremstilling av utstyr, drift og avvikling må betraktes som neglisjerbare.

4.2.2 Innføring av nye prosesser, ombygging og omlegging av prosesser

Miljøbelastninger - Fremstilling av utstyr

Ved innføring av nye prosesser, utskifting/endring av prosessutstyr blir ofte enøk-tiltak gjennomført som en del av dette arbeidet. Dette medfører normalt at en mindre kostnadsandel faller på enøk-tiltaket. Det vil derfor være rimelig å anta at andelen av eventuelle miljøvirkninger ved fremstilling av utstyret også vil være små.

Drift

Installasjoner av nytt prosessutstyr vil som oftest innebære at man går over til mer lukkede prosesser.

Dette vil som regel medføre at utslippene fra prosessen reduseres, hvilket gir både mindre miljøbelastninger og et forbedret arbeidsmiljø. Gjennom kontakten med industrien er det ikke rapportert noen tilfeller hvor enøk-tiltak har medført økte miljøulemper.

Arbeidsmiljø

I en rekke enøk-prosjekter i industrien, EII-programmet, låne- og tilskuddsordningen, har

enøk-tiltakene ført til bedring av arbeidsmiljøet. Dette skyldes at i mange tilfeller har nødvendige arbeidsmiljøforbedringer vært integrert i enøk-tiltakene. Dette gjelder for industriens produksjonslokaler.

4.2.3 Utnyttelse av spillvarme og avfall

Utnyttelse av spillvarme og avfall i industrien kan omfatte en rekke tiltak.

Utnyttelse av spillvarme kan omfatte tiltak innenfor bedriften for utnyttelse av egen spillvarme. Det kan også omfatte utnyttelse av spillvarme ved overføring til eksterne brukere, fjernvarme. Dette er behandlet i en annen del av utredningen.

I denne utredningen er det kun sett på utnyttelse av avfall fra industriproduksjon. Det er særlig innen sagbruk og treforedlingsindustri at store mengder avfall kan nyttiggjøres til energiproduksjon. I forbindelse med klimagassproblemet har anvendelse av bioenergi fått meget stor oppmerksomhet.

Siden biomasse betraktes som en fornybar energikilde, regnes utslipp av klimagasser lik null. Litteratur som omfatter bioenergi og miljø er derfor utelukkende fokusert på de positive miljøvirkninger ved bruk av biobrensel.

Overskudd av flis fra treforedling og sagbruk representerer dessuten i seg selv et problem med hensyn til deponering, avrenning etc. Avfallet representerer således både en energi-ressurs og et miljøproblem.

Miljøulemper ved utnyttelse av avfallet vil være knyttet til forbrenningen. Utslipp av betydning for miljøet vil særlig være sot og PAH (tjærestoffer). Ved større forbrennings-anlegg kreves konsesjon fra SFT.

Totalt sett må man anta at miljøulempene vil være langt mindre ved utnyttelse av slikt avfall til energi enn de er ved deponering av avfallet.

Det er SFTs målsetting at luftforurensningsproblemer forårsaket av avfallsforbrenning innen 1995 reduseres ned til en femtedel i forhold til 1987. Det er videre en målsetting at minst 50% eller ca. 3,1 mill tonn av alt avfall (eksklusive gruveavfall) skal materialgjenvinnes hvert år. Av resterende brennbart avfall skal minst 80% utnyttes til energi (13).

Gjennom økt fokusering på miljøproblemene har industrien stadig blitt pålagt strengere utslippskrav. På mange områder har dette resultert i betydelig økte krav til rensing. Dette medfører at det i industrien, f.eks. treforedling, produseres store mengder slam med høyt energiinnhold.

I Stortingsmelding 46 (1988-89) er det varslet at Miljøverndepartementet og Olje- og

energidepartementet vil vurdere utarbeidelse av et program for utnyttelse av avfall i energiøyemed.

Varmegjenvinning fra prosessvann

I EII-programmet er det gjennomført flere prosjekter som omfatter varmegjenvinning fra prosessvann.

Innen næringsmiddelindustrien, tekstilindustri og andre virksomheter kan energiforbruk til varmtvann, autoklavering etc. utgjøre relativt store mengder. Reduksjon i energiforbruket kan oppnås ved lukking av prosessen (avløp), varmevekslere og bruk av varmepumper.

Miljøkonsekvenser

Når det gjelder bruk av varmevekslere regner vi med at miljøkonsekvenser, kostnader og energifaktor kan bli sammenlignbare med luft til luft varmeveksler som beskrevet nedenfor.

4.3 Varmegjenvinning i ventilasjonsluft

Bruk av varmeveksler for gjenvinning av varme fra ventilasjonsluft er et viktig enøk-tiltak - både i industrien og i yrkesbygg.

Varmevekslere kan være av forskjellige typer, f.eks. platevarmevekslere, roterende varmevekslere.

Krav til ventilasjon i en bedrift eller yrkesbygg bestemmes ut fra to hovedkriterier

- helse og miljøkrav for personalet som arbeider i bedriften/bygget
- produksjonstekniske krav til klima for prosess og prosessutstyr.

Det er viktig at det tas hensyn til disse hovedkriterier når det foretas endringer i virksomheten med hensyn til rominndeling eller installering av nytt produksjonsutstyr.

Myndighetene har satt krav til ventilasjon og varmegjenvinning i forbindelse med ventilasjon. Disse finnes i byggeforskriftene av 1987, samt veiledning til byggeforskriftene.

Det er i vedlegg 4 gjennomført en analyse av miljøkonsekvensene for varmevekslere. Analysen viser at miljøulemper i forbindelse med fremstilling og avvikling av varmevekslere er små. Kostnadene vil være mindre enn 1 øre/kWh.

4.4 Bruk av varmepumper

En varmepumpe er energimessig gunstig til å levere varme ved moderate temperaturer. Den leverte energien fra varmepumpen er lik energien som tas opp i et lavtemperatursystem (f.eks. i jord eller sjø) pluss drivenergien.

Grunnen til at varmepumpen er med i energi- og miljødiskusjonen er at denne lavtemperaturenergien kan tas opp lokalt, og ikke belastes elnett eller skaffes frem gjennom forbrenning.

Når en varmepumpe kan benyttes til både varming og kjøling samtidig, blir energien spesielt godt utnyttet.

En konvensjonell varmepumpe må tilføres mekanisk energi til kompressoren. I Norge er det naturlig å bruke elektrisk energi fra vannkraft og elektromotorer til å drive varmepumper. På denne måten forbrukes minimalt med fossilt brensel og CO_2-utslippene holdes lave. Energien blir utnyttet meget effektivt slik at den tilgjengelige elektriske energien holder lenger.

Et minus for varmepumpen er selvfølgelig de høye installasjonskostnadene, men økonomien blir bedre med stigende energipriser.

Miljøkonsekvenser

For at en varmepumpe skal fungere kreves et arbeidsmedium som vekselvis fordamper og kondenserer inne i en lukket krets. Arbeidsmediet må tilpasses temperaturnivåene varmepumpen arbeider mellom. Alle større anlegg vil få lekkasje av arbeidsmediet bl.a. på grunn av reparasjoner av deler i anlegget. En del varmepumper bruker klorfluorkarboner (KFK) som ikke brytes ned i den lavere delen av atmosfæren. I stratosfæren (15-50 km over bakken) spalter sollyset KFK-molekylene. Dermed frigjøres kloratomer, som så reagerer med ozon og bidrar til å bryte ned ozonlaget.

Miljøulempene fra varmepumper vil variere sterkt med anleggsoppbygning og energibehov. Små varmepumper med miljøvennlig arbeidsmedium vil i liten grad ha andre ulemper enn støyen tilsvarende et kjøleskap. Store industrivarmepumper med R-12 som arbeidsmedium derimot vil kunne belaste miljøet, hvis de blir uforsvarlig konstruert og drevet.

Som følge av de sterke indikajsonene på at fullhalogeniserte klorfluorkarboner og haloner i sterk grad medvirker til nedbrytning av ozonlaget, ble den såkalte Montreal-protokollen underskrevet av 24 land samt EF 16. september 1987. Protokollen trådte i kraft 1. januar 1989 og omfatter reduksjonsplaner for bl.a. KFK-stoffene: R11, **R12**, R113, **R114** og R115.

SFT angir KFK-utslippene i Norge til 1300 tonn/år (1985) og at 2,3%, eller 30 kg/år, kommer fra varmepumper.

NTH/SINTEF angir KFK-utslippet i forbindelse med kuldeanlegg og varmepumper i Norden til anslagsvis 10-15% mindre enn forbruket. Det henvises også til en IIR-undersøkelse som presenterer 10% årlig svinn fra store varmepumper og 12-15% fra de mindre.

De tidligere systemløsninger hadde ofte direkte fordamping av kuldemedium i kopperrør nedgravd i bakken, eller store fylte fordampere som krevde mye kuldemedium. Nyere mindre varmepumpeaggregater har som oftest en meget kompakt krets med lite fylling, eks. en 10 kW varmepumpe kan ha en fyllingsmengde på kun 2 kg.

Aktuelle arbeidsmedier

Det er gjort flere omfattende undersøkelser for å identifisere alternativer til KFK-mediene. Undersøkelsen viser et antall alternativer. I tabell i vedlegg 5 er de mest aktuelle mediene for varmepumpeformål stilt opp.

Støy

Varmepumpens kompressor, pumper eller eventuelle vifter er mekaniske innretninger som vil gi fra seg støy. Store industrielle varmepumpeanlegg har egne maskinrom der hørselvern må brukes ved opphold under drift. Dette er tilsvarende som for kuldeanlegg og er sjelden noe stort problem.

Eldre varmepumper som ble målt under en undersøkelse i Sverige gav verdier på mellom 60 og 80 db. Det er derfor utarbeidet svenske regler hvor maksimalt lydnivå i bostedsområder skal være 50 db om dagen og 40 om natten (måleprosedyre etter SIVV-1984). Ved testing og godkjenning av effekt og kapasiteter vil støymåling være en av testkriteriene.

Kuldebærerutslipp

Når varme skal hentes ut av lavtemperaturkilder som jord, vann og fjell, blir rørslynger eller plastslanger benyttet. Systemer som ikke har kjølemedium ut i varmeopptaksrørene kalles indirekte. Væsken som benyttes i indirekte systemer kalles kuldebærere og disse må kunne ha temperaturer under 0°C. Det er vanlig å benytte vann med tilsatsmiddel for å hindre frysing. Anleggene blir ofte dimensjonert for en min. temperatur på -5°C og frostsikret for -15°C.

Krav til kuldebærer er at den ikke skal gi skade på mennesker eller natur. Ved montasje skal ikke kuldebæreren forårsake allergier eller irritasjoner om den kommer i kontakt med huden. Det må ikke være eksplosivt eller være brannfarlig. Nedbrytbarheten i naturen bør være god uten å skade omgivelsene.

Vanlige kuldebærerblandinger er Monoetylenglykol, Monopropylenglykol, Etanol, Kalciumklorid, Kaliumkarbonat.

Lokal nedkjøling

I varmepumpeanlegg med store effekter og lang driftstid blir lavtemperaturkilden kjølt ned og kan gi konsekvenser for miljøet lokalt. Et feildimensjonert anlegg vil alltid føre til en for stor nedkjøling, dvs. en lavere temperatur enn nødvendig.

I jordvarmesystem der kollektorslangen som regel ligger ca. 1 meter under bakken, vil jorda rundt slangen fryse.

Store luftvarmepumper fører til nedkjøling av lufta og endring av vindklimaet rundt anlegget.

Varmepumper som tar varme fra vann kan gi endrede strømforhold, temperaturer og oppumping av dypvann.

I vedlegg 5 er det gjennomført en analyse av kvantifiserbare miljøulemper ved bruk av varmepumpe.

Avvikling

Ved deponering må innholdet tappes av. I SFTs "Tiltakskatalog for reduksjon av klimagasser" er det for varmepumper beregnet at negative bidrag (utslipp) fra KFK'er og HKFK kan utgjøre 35.000 tonn CO_2 ekvivalenter pr. TWh nyttiggjort energi. Dette utgjør 35 g CO_2 ekvivalenter pr. kWh, med en CO_2-avgift på ca. kr 115/tonn CO_2 utgjør dette ca. 0,5 øre/kWh.

4.5 Etterisolering

Bygningsisolering

I /1/ er det foretatt en analyse av miljøkonsekvenser ved økt isolering av bygninger. Formålet med denne analysen var å belyse de energimessige konsekvenser ved en forbedring av isoleringsstandarden av bygninger ved hjelp av mineralull.

Fremstilling

Mineralullisolering omfatter både steinull og glassvatt. Under fremstillingen tilsettes et bindemiddel som inneholder phenol. Dette kan medføre utslipp av stoffer som phenol,

formaldehyd, ammoniakk m.fl. For den delen av mineralullfremstilling som går til etter-isolering må det antas at utslipp av disse stoffene er små. Det foreligger ingen data som gjør det mulig å kvantifisere disse.

Under arbeidet med isolering foretas ofte oppskjæring av materialet, dette kan være et problem ved etterisolering hvis det foretas i dårlig ventilerte rom.

Isolasjon av rørsystemer

Til isolasjon av rørsystemer i kuldeanlegg benyttes ekstrudert gummi-isolasjon som Armaflex, Vidoflex, Auroflex, Kayflex. Gummien består av PVC og utvikler klorgass ved en eventuell brann.

Andre isolasjonsmaterialer er ofte brannklassifisert (A60, A120 osv.) ut fra tiden det tar for gjennombrenning. Det er ikke krav til materialvalget ut fra hvilke gasser som utvikles ved brann.

4.6 Lav-energi lysarmatur

Det finnes mange forskjellige lav-energipærer på markedet. I /1/ er det foretatt en sammenligning mellom et kompakt lysstoffrør med elektronisk tenning (11W) og en vanlig lyspære (60W). Det kompakte lysstoffrøret inneholder kvikksølvdamp.

Det kompakte lysstoffrøret inneholder også mindre mengder miljøskadelige stoffer som Antimon, Barium, Bly, Kvikksølv og Lanthanider. Vanlige lyspærer inneholder også bly.

Energiforbruk til fremstilling av det kompakte lysstoffrør er ubetydelig lavere enn forbruk til fremstilling av tilsvarende mengde vanlige lyspærer.

Rapporten peker på at det i fabrikasjonen inngår en rekke helseskadelige stoffer - og at det må stilles store krav til sikkerhet. Bariumoksyd er meget eksplosivt og reagerer voldsomt med vann. Det er i rapporten ikke foretatt noen beregning av hvilke tilleggskostnader en sikring av arbeidsmiljøet vil kunne medføre.

Ifølge analysen vil det i lysstoffrørets levetid (8000 timer) spares 392 kWh i forhold til bruk av vanlige lyspærer.

I rapporten konkluderes det med at det er energimessig optimalt å benytte lav-energi lysstoffrør.

Det er i denne analysen ikke tatt hensyn til varmeutnyttelsen, bortsett fra når det gjelder utelys, vil den energi som tilføres via vanlige lyspærer gi et bidrag til oppvarmingen.

Som det fremgår av ovenstående vil det være kvikksølvet i lysstoffrørene ved kassering som vil være det største miljøproblemet. Fra Statens forurensningstilsyn er det opplyst at årlig import av lysstoffrør er 7 millioner. Hvert lysstoffrør inneholder 16 mg kvikksølv. Dette vil tilsvare en årlig tilførsel av 112 kg. Til sammenligning kan nevnes at årlig utslipp av kvikksølv er beregnet å være ca. 3000 kg (utslipp fra industri, tannleger og fra beising av såkorn).

Når det gjelder kasserte lysstoffrør er det to steder i landet hvor det foregår innsamling av disse, Oslo Renholdsverk og Bergen Lysverker. Bedrifter må her betale for levering av lysstoffrørene, mens private leverer gratis.

Det er opplyst at prisen for levering av brukte lysstoffrør til Oslo Renholdsverk er kr 4,50 pr. stk.

Som nevnt ovenfor vil et lysstoffrør med levetid 8000 timer spare 392 kWh.

Miljøkostnadene i forbindelse med bruk av kompakt lysstoffrør vil således bli

$$\frac{\text{kr } 4{,}50}{392 \text{ kWh}} = \text{kr } 0{,}011/\text{kWh}$$

dvs. ca. 1 øre pr. innspart kWh.

4.7 Husholdningsapparater

Når det gjelder miljøkonsekvenser er det i litteraturen ikke funnet omtale av miljøulemper ved overgang til mer energieffektive husholdningsapparater. Dette gjelder med ett unntak, nemlig lav-energi kjøleskap/frysere hvor økt isolasjon medfører økt bruk av isolasjons-materialer.

4.7.1 Lav-energi kjøleskap

Som et eksempel på en livssyklusanalyse på dette området er det i vedlegg 7 gjengitt en analyse av miljøkonsekvenser ved overgang til lavenergi-kjøleskap (ref. Renere teknologi på energiområdet). Det er i denne analysen foretatt en sammenligning av livsløpsanalyser for to 200 l kjøleskap, nemlig K 200 og lavenergikjøleskapet LER 200 (begge fra bedr. Gram). Det bemerkes at bortsett fra LER 200 er K 200 det mest energieffektive på det danske markedet. Analysen omfatter fremstilling, drift og avvikling.

I vedlegg 7 er det gitt en nærmere omtale av denne analysen.

5. KVANTIFISERING AV MILJØKONSEKVENSER AV ENØK-TILTAK I BRUKERSYSTEMET

Det er i flere studier fra forskjellige land påpekt at kostnader ved energiøkonomiseringstiltak er lavere enn ved utbygging av ny kraft. I den grad miljøbelastningene reflekteres i kostnadene, vil man dermed kunne anta at miljøbelastningene også vil være lavere ved energiøkonomisering enn ved utbygging av tilsvarende ny kraftforsyning. Dette vil utvilsomt være riktig i de fleste land, hvor kraftforsyning er basert på fossilt brennstoff.

Det er i det følgende gjort en sammenstilling av miljøkonsekvenser knyttet til ulike enøk-tiltak i brukergruppene industri, yrkesbygg og boliger. For landbrukssektoren er det kun gitt en kvalitativ vurdering.

I tabell 5.1 - 5.3 er miljøkostnader satt opp sammen med investeringskostnader for enøk-tiltakene, samt energisparekostnad. Investeringskostnader er basert på data fra Energidata og IFE/Norsk Energi i forbindelse med beregning av energisparepotensialet. For boliger og yrkesbygg ligger kostnadsnivået i 1987 til grunn, for industrien kostnadsnivå i 1988.

Investeringskostnad for enøk-tiltak kr/kWh år angir kostnadene for å spare 1 kWh pr. år i enøk-tiltakets levetid.

Energisparekostnad er beregnet på annuitetsform utfra forventet levetid for de ulike tiltak. (Forventet levetid i automatisering: 10 år, faste installasjoner, f.eks. varmevekslere: 15 år, bygningsmessige tiltak: 30 år.) Miljøkostnader er beregnet på tilsvarende måte.

5.1 Industri

Det beregnede samfunnsøkonomiske enøk-potensialet i industrien utgjør omlag 13% av tilført energi. Omlag 75% av enøk-potensialet er knyttet til tiltak som har investeringskostnader på kr 1,00 pr. kWh/år eller lavere.

I tabell 5.1 er det laget en oversikt over miljøulemper knyttet til ulike enøk-tiltak i industrien.

Når det gjelder enøk-tiltak i industrien blir disse ofte gjennomført i forbindelse med tiltak for økt produksjonseffektivitet, miljø- og arbeidsmiljøtiltak. Det blir derfor bare en liten del av eventuelle utslipp i forbindelse med materialfremstilling og avvikling som kan tilskrives enøk-tiltaket alene. Det er ikke funnet noen arbeider hvor miljøulemper av enøk-tiltak i industrien er analysert.

Til tross for begrenset dataunderlag, vil vi anslå at kostnader tilknyttet miljøvirkninger for enøk-tiltak i industrien neppe vil utgjøre mer enn høyst 1-3 øre/kWh. (Miljøkostnader forbundet med fremstilling av utstyr og avvikling). Disse kostnadene vil videre måtte ses i

forhold til de positive miljøvirkninger som oppnås som forbedret råvareutnyttelse og mindre prosessutslipp.

5.2 Tjenesteyting

For yrkesbygg er det beregnet at enøk-potensialet utgjør omlag 27% av energiforbruket. Omlag 2/3 av potensialet er knyttet til effektivisering med styringsautomatikk (nattsenking). Dette er også svært kostnadsffektive tiltak. Miljøkonsekvenser forbundet med slike enøk-tiltak vil være neglisjerbare. De vesentligste miljøkonsekvenser forbundet med enøk-tiltak i yrkesbygg vil være knyttet til innemiljøproblematikken.

I tabell 5.2 er det gitt en oversikt over miljøkonsekvenser ved enøk-tiltak i yrkesbygg. Det er også gitt overslag over investeringskostnader samt energisparekostnader. Det er her antatt at konsekvenser av enøk-tiltak for innemiljøet er knyttet til etterisolering og annen tetting av bygningene. Det forutsettes at bruk av styringsautomatikk og varmegjenvinning fra ventilasjonsluft utføres på en slik måte at hensyn til innemiljøet ivaretas.

5.3 Boliger

For boliger er det beregnet at enøk-potensialet utgjør omlag 13% av tilført energi. Omlag 70% av enøk-potensialet er knyttet til etterisolering og utbedring av vinduer. Disse tiltakene har lav lønnsomhet, samtidig som det er disse tiltakene som vil ha de største miljøkonsekvenser knyttet til innemiljøet.

I tabell 5.3 er det gitt en oversikt over miljøkonsekvenser ved enøk-tiltak i boliger, samt oversikt over investeringskostnader og energisparekostnader.

Når det gjelder husholdningsapparater, er det i litteraturen ikke funnet omtale av miljøulemper ved overgang til mer energieffektive husholdningsapparater, forutsatt at det ikke foregår noen form for forsert utskifting av apparater. Dette gjelder med unntak av de lavenergi kjøleskap/frysere hvor økt isolasjon medfører økt bruk av isolasjonsmaterialer.

ENØK i landbruket

De negative effektene ved ENØK-investeringer i landbruket har ikke vært fremtredende. Det har i første rekke vært satset på varmeisolering med mineralull i vanlige bygninger, og tekking av veksthus med doble akrylplater. Dette medfører at gratisvarmen fra husdyrene, vekstlys m.m., kan utnyttes bedre enn tidligere.

Bruk av mer tekniske installasjoner som avfuktere, varmepumper, varmegjenvinnere, har bare i liten grad funnet innpass i landbruket. Dette henger sammen med at denne type utstyr

blir utsatt for krevende miljø med støvholdig luft som også kan inneholde ammoniakk og andre korrosive gasser. Drift og velikehold av slikt utstyr krever ofte at brukerne er teknisk interesserte, og er villige til å sette seg inn i virkemåte og vedlikehold. I en del tilfeller har man ikke lagt stor nok vekt på dette, slik at enøk-investeringen ikke har kommet til sin rett p.g.a. feil eller uhensiktsmessig bruk av utstyret.

Det er ikke foretatt noen kvantifisering av miljøulemper forbundet med enøk-tiltak i landbruket.

Tabell 5.1 Miljøkonsekvenser av enøktiltak i industrien

	Investeringskostnad kr/kWh	Energisparekostnad kr/kWh	Miljøkostnad (Fremstilling, drift, avvikling kr/kWh	Innemiljø kr/kWh	Ikke kvantifiserbare miljøulemper
Energioppfølging, bedre driftsrutiner, opplæring etc.	0,10	0,015	0	0	0
Varmeveksling - vann enkle prosessomlegginger	0,10-0,50	0,01-0,06	0,01	Ofte bedring av arbeidsmiljø	0
Varmeveksling luft	0,50-1,00	0,06-0,11	0,01	"	0
Prosessomlegging	0,50-1,00	0,06-0,11	0	"	0
Varmepumper	0,50-1,00	0,06-0,11	0,01-0,03	0	0
Bygningstiltak etterisolering etc. forb. med prod.	1,00-2,00	0,08-0,16	0,01-0,03	0	Små utslipp i av isol.materiale
Større prosessomlegginger	1,00-2,00	0,11-0,22	0	Ofte bedring av arbeidsmiljø	0
Avfallsutnyttelse [1] (treforedling)	0,50-1,00	0,06-0,11	Miljøforbedringer	0	0

[1] Data basert på informasjoner gjennom låne- og tilskuddsordningen (1990 kostnader)

0 - Ingen kjente miljøeffekter

Tabell 5.2 Miljøkonsekvenser av enøktiltak i yrkesbygg

	Investerings-kostnad kr/kWh	Energispare-kostnad kr/kWh	Miljøkostnad (Fremstilling, drift, avvikling kr/kWh	Innemiljø kr/kWh	Ikke kvanti-fiserbare miljøulemper
Etterisolering utbedring av vinduer	0,75-1,30	0,08-0,15	0,01-0,03	0,05-0,10	Små utslipp i forb. med prod. av isol.materiale
Varmegjenvinning ventilasjon	2,95	0,32	0,01-0,03	0	0
Styringsautomatikk	0,30	0,04	0	0	0
Bruk av varmepumper	1,78	0,20	0,01-0,03	0	0
Lavenergi lysarmatur	0,95	0,14	0,01	0	Små utslipp av miljøgifter i forb. med prod.
Sparedusjhoder	0,90	0,13	0	0	0

0 - Ingen kjente miljøeffekter

Tabell 5.3 Miljøkonsekvenser av enøktiltak i boliger

	Investerings-kostnad kr/kWh	Energispare-kostnad kr/kWh	Miljøkostnad (Fremstilling, drift, avvikling kr/kWh	Innemiljø kr/kWh	Ikke kvanti-fiserbare miljøulemper
Etterisolering	1,80	0,15	0,01-0,03	0,05-0,010	Små utslipp i forb.med prod. av isolasjons-materialer
Utbedring av vinduer	2,00	0,16	0	0,05-0,010	0
Styringsautomatikk	1,40	0,15	0	0	0
Redusert varmtvannsforbruk	0,40	0,04	0	0	0
Lav-energi lysarmatur	0,95	0,14	0,01	0	Små utslipp av miljøgifter i forb. med produksjon
Sparedusjhoder	0,90	0,13	0	0	0

0 - Ingen kjente miljøeffekter

6. KONKLUSJON

6.1 Enøk i industrien

Som det fremgår av kapittel 5.1, er det anslått at miljøkostnader knyttet til enøk-tiltak i industrien neppe vil overstige 1-3 øre/kWh. I de tilfeller hvor enøk fører til redusert bruk av olje, vil reduksjonen i miljøkostnader p.g.a. redusert utslipp utgjøre 9,5 øre/kWh (50% lettolje, 50% tungolje)

Enøk-potensialet i industrien er beregnet til ca. 9,2 TWh, hvorav olje utgjør 1,5 TWh (16%) og kull/koks 1,1 TWh (12%). Antatt at enøk-potensialet realiseres proporsjonalt med dette vil reduksjonen i miljøkostnader p.g.a. redusert utslipp utgjøre ca. 4 øre/kWh. (Det er da ikke regnet miljøkostnader for el-delen).

Enøk-tiltak i industrien, som omfatter prosessomlegging og innføring av nye prosesser, vil svært ofte medføre at man går over til mer lukkede prosesser. Dette vil som regel føre til at utslippene fra prosessen reduseres, hvilket gir både mindre belastninger på ytre miljø og et forbedret arbeidsmiljø.

6.2 Enøk i yrkesbygg

Omlag 2/3 av enøk-potensialet i yrkesbygg er knyttet til effektivisering med styringsautomatikk (nattsenking etc.). Miljøkonsekvenser knyttet til slike tiltak vil være neglisjerbare.

De viktigste miljøkonsekvenser forbundet med enøk-tiltak i yrkesbygg er virkninger på innemiljøet i forbindelse med etterisolering og tetting av bygninger. Det er anslått at miljøkostnader knyttet til slike tiltak kan utgjøre 5-10 øre/kWh. Beregnet enøk-potensial for yrkesbygg er 4,8 TWh, hvorav olje utgjør 2,8 TWh, eller ca. 60%. Reduserte miljøkostnader p.g.a. reduserte utslipp i bygg som fyrer med olje vil utgjøre ca. 6 øre/kWh.

6.3 Enøk i boliger

Omlag 70% av enøk-potensialet i boliger er knyttet til etterisolering og utbedring av vinduer. For disse tiltakene er miljøkostnadene beregnet til 5-10 øre/kWh. Beregnet enøk-potensial for boliger er 5,0 TWh, hvorav olje utgjør 1,0 TWh, eller ca. 20%. Reduserte miljøkostnader p.g.a reduserte utslipp i boliger som fyres med olje vil utgjøre ca. 6 øre/kWh.

Ved en realisering av enøk-potensialet for etterisolering og tetting av boliger vil reduksjonen i miljøkostnader p.g.a. redusert utslipp utgjøre ca. 2 øre/kWh.

LITTERATUR

1. Miljøstyrelsen
"Renere teknologi på energi-området", Miljøprosjekt nr. 138
Miljøministeriet 1990

2. Energiministeriet
"Energi 2000, Handlingsplan for en bæredyktig udvikling"
København 1990
med bilag + 6 bakgrunnsrapporter

BAGGRUNDSRAPPORT TIL ENERGI 2000

Nr. 1 Energiforbrug i bygninger
Nr. 2 Procesenergiforbrug og besparelsesmuligheder
Nr. 3 Vurdering af teknologier til el- og kraftvarmeproduktion
Nr. 4 El- og varmeproduktionsteknologier
Nr. 5 Vurdering af biomasse til energiforsyning
Nr. 6 Samfundsøkonomiske beregningsforudsætninger
Nr. 7 Brundtland-scenariemodellen - BRUS

3. R.S. Carlsmith et. al.
"Energy Efficiency" - How far can we go? ORNL/TM 11441

4. Rapport fra FNs Klimapanel "Globale Klimaendringer". Utgitt av Miljøvern-departementet, høsten 1990.

5. Energie und Umwelt
Technologie Nachrichten, Programme - Information, Nr. 468, 6. April 1990.

6. Tiltakskatalog for Reduksjon av Klimagasser i Norge
Statens forurensningstilsyn 1990

7. Energy for Tomorrow
Division 2, Energy and the Environment, World Energy Conference, Montreal 1989

8. Miljøtilpasset Enøk, en god investering, og
Dagsaktuelt om inneklima/innemiljø
VVS-dagene 24.-27. oktober 1990

9. Energieffektivisering og innemiljø.
NTNF/BA, Årskonferansen

10. N.I. Meyer og J.S. Nørgård
Energi og Ressourcer for en bæredygtig fremtid, Polyteknisk Forlag, 1989.

11. Norsk Energi, Institutt for energiteknikk
Enøk-potensialet i industrien, 1989.

12. R. Salvkangas et al. Energi-innehållet i husbyggande
Nordisk konferanse om bygningens totalenergiforbruk og relatert miljøbelastning, København, september 1990.

13. Framtiden er nå! Et sammendrag av SFTs langtidsplanlegging 1990-93
Statens forurensningstilsyn 1990.

14. A. Heiberg og K.G. Hem, Use of formal methods in evaluating countermeasures to coastal water pollution, i Risle Management of Chemicals in the Environment, Plenum Publishing Corporation 1989.

15. Forskningsprogrammet, Miljøvirkninger av vassdragsutbygging (sluttrapport) NTNF 1989.

16. Elbesparelsen i Danmark
AKF Amternes og Kommunernes Forskningsinstitutt, 1989

17. Anvendelse av varmepumper - rammebetingelser
Energidata 1990

18. "Oslo-Enøk, etterkontroll av enøk-saker"
Oslo Lysverker, Enøkavdelingen, april 1989

19. T. Myhre: Energiforbruksdata før og etter enøk-tiltak for skolebygg i Aust- og Vest-Agder

20. Hus & Hälsa, Inneklimat och energihushållning
Statens råd for byggnadsforskning, Stockholm 1990

21. A. Rødseth og G. Flatheim
Konsekvenser av å oppgradere luftkvaliteten innendørs
OPAL-prosjektet Rapport nr. 1 1989

L. Emborg, B. Juul-Kristensen
Sammenhængende teknologi-vurdering på energi- og miljøområdet, Teknologi Nævnets rapporter 1989/4.

O. Hohmeyer
Social Cost of Energy Consumption
Springer Verlag 1988

O. Benestad: "Oversikt over den norske energiforskningen som er relevant i forhold til Brundtland-kommisjonens anbefalinger"
SUM - Universitetet i Oslo - Avdeling for miljøforskning

VEDLEGG 1

BEREGNING AV MILJØKOSTNADER VED FORBRENNING AV FOSSILT BRENSEL

Med utgangspunkt i verdsettingen av reduserte utslipp av ulike forurensende stoffer, samt gitte utslippskoeffisienter, beregnes verdien av reduserte utslipp for ulike brensler. Disse er gjengitt i tabellen.

Energibærer	Miljøkostnad (øre/kWh)
Kull	18
Koks	15
Ved	1
Parafin	4
Lettolje	6
Tungolje	13

Beregningene er basert på følgende:

Utslipp av NO_x

For å beregne verdien av reduserte utslipp av NO_x er det tatt utgangspunkt i kostnadene ved katalytisk rensing i gasskraftverk. Katalytisk rensing kommer som et tilleggskrav til "lavNO_xbrenner" og koster marginalt ca. 25 kr/kg NO_x-reduksjon. Dette tilsvarer ca. 2 øre/kWh produsert elektrisitet i gasskraftverk.

Utslipp av SO_2

For å beregne verdien av reduserte utslipp av SO_2, er det tatt utgangspunkt i hva det eventuelt ville koste for forbrukerne å gå over til oljetyper med lavere svovelinnhold. Med dagens oljepriser gir dette en miljøkostnad for SO_2-utslipp på ca. 55 kr/kg, eller ca. 10 øre/kWh.

Utslipp av CO_2

Det finnes foreløpig ingen kjent, praktisk metode for å rense utslippene av CO_2 til akseptable kostnader. Miljøpolitikken for å oppnå reduksjoner i utslippene av CO_2 må derfor foreløpig baseres på redusert bruk av brensel.

Det foreligger foreløpig ingen beregninger for å fastlegge verdien av reduserte utslipp av CO_2.

I Norge er det fra 1991 innført en CO_2-avgift på fyringsolje og parafin til stasjonær forbrenning på 30 øre/liter, eller ca. 3 øre pr. kWh. På gass er avgiften 60 øre/stm^3. Kull og koks er foreløpig fritatt for CO_2-avgift.

VEDLEGG 2

ENERGIFORBRUK VED MATERIALFREMSTILLING

Materiale	Spes.vekt (kg/m^3)	ASF-89 (kWh/kg)
Aluminium	2700	46
Aluminium (forarb.)	-	52
Beton	-	1,9
Kopper (forarb.)	-	26
Stål	7900	7,0
Stål (forarb.)	-	13
Tegl	-	0,9

Materiale	Spes.vekt (kg/m^3)	ASF-79 (kWh/kg)
Glass (enkelt lags)	2500	5,2
Glass (2-,3-lags)	-	7,0
Glassfiber	-	7,0
Gummi (syntetisk)	1100	18
Jern (støpt)	-	7,0
Kobber	-	20
Leca-kuler	-	0,9
Maling m.m.	-	7,0
Messing	-	20
Mineralull	30	5,3
Mørtel	-	1,9
Nylon	-	14
Papp	600	6,5
Plast	1200	20
Polystyren	-	30
Polyurethan	40	19
Silicone	-	8,0
Tre	700	1,6

VEDLEGG 3

ENØKPOTENSIALET I BOLIGER, YRKESBYGG OG INDUSTRI

Tabell 3.1 Fordelingen av enøk-potensialet i boliger på ulike sparetiltak

	Energi TWh	Elektrisitet TWh	Kostnad[1] kr/kWh (1986)
Etterisolering	2,4	1,2	1,80
Utbedring av vinduer	1,2	0,6	2,00
Styringsautomatikk	1,1	1,0	1,40
Redusert varmtvannbruk	0,3	0,3	0,40
I alt	5,0	3,1	1,80

1) Gjennomsnittlig investeringskostnad for vedkommende tiltak

Tabell 3.2 Fordeling av samfunnsøkonomisk enøk-potensial i yrkesbygg på ulike grupper tiltak

	Energi TWh	Elektrisitet TWh	Kostnad[1] kr/kWh (1986)
Etterisolering	0,6	0,2	1,30
Utbedring av vinduer	0,6	0,1	0,75
Utbedring av ventilasjon	0,2	0,2	2,95
Styringsautomatikk	3,4	1,5	0,30
I alt	4,8	2,0	0,60

1) Gjennomsnittlig investeringskostnad for vedkommende tiltak

Tabell 3.3 Fordeling av samfunnsøkonomisk enøk-potensial i industrien fordelt på ulike grupper tiltak.

	Energi (totalt) TWh	Elektrisitet TWh	Inv.kostnad kr/kWh (1986)	Inv.kostnad kr/GJ (1986)
Energioppfølging, opplæring, kontroll, vedlikehold, urstyring etc.	1,62	1,18	0,10	28,-
Varmeveksling vann, enkle prosess-ombygginger/omlegginger etc.	2,04	1,38	0,10-0,50	28,- - 140
Prosessomlegging, varmeveksling luft, varmepumper etc.	3,44	1,93	0,50-1,00	140 - 280
Bygningstiltak, større prosessomlegninger, varmepumper på vannsiden etc.	2,10	2,09	> 1,00	> 280
I alt	9,20	6,6		

VEDLEGG 4

ANALYSE AV MILJØKONSEKVENSER VED FREMSTILLING, DRIFT OG AVVIKLING FOR VARMEVEKSLERE

Fremstilling

Fremstilling av aluminium ca. 21 kWh/kg (el-energi fra vannkraft).

Valsing til plater	
Ekstrudering til profiler	
Produksjon (sveising)	Anslått 20%
Transport	ca. 4 kWh/kg
Montering	

Energiforbruk til fremstilling av varmegjenvinner 25 kWh/kg

Det er videre anslått at en platevarmeveksler for 20.000 m^3 luft/time har en vekt på ca. 1.500 kg (0,075 $kg/m^3/h$).

Energiforbruk til fremstilling av varmegjenvinner blir da

$$25 \text{ kW/kg} \cdot 1500 = 37.500 \text{ kWh}$$

Miljøulemper ved fremstillingen vil være knyttet til Aluminiumsfremstillingen, hvor utslipp av fluor er en miljøulempe. I forhold til den totale Aluminiumsproduksjon her i landet vil materiale til fremstilling av varmevekslere utgjøre en absolutt neglisjerbar andel.

Drift

For å beregne hvor mye energi platevarmeveksleren vil spare i løpet av driftstiden, er det gjort følgende forutsetninger:

Luftmengde: 20.000 m^3/h
Temperaturvirkningsgrad: 50%
Innetemperatur: 20°C
Gjennomsnittlig utetemperatur i fyringssesongen: 1°C

Temperaturen på tilførselsluft etter varmegjenvinner blir da i gjennomsnitt

$$t_{vv} = t_{inn} + (t_{avtrekk} - t_{inn}) \cdot 50\% = 1 + (20-1) \cdot 0,5 = \underline{10°C}$$

Dette utgjør i effekt og energi:

Massestrøm : V = 20.000 m^3/h • 1,2 kg/m^3 = 24.000 kg/h

P = 0,28 • 24.000 • 10 = 67.200 W = 67,2 kW

Driftstid for varmeveksler 2000 t/år
Levetid 10 år
Energisparing i varmevekslerens levetid

67,2 kW • 2000 • 10 = 1.344.000 kWh

Med de ovennevnte forutsetninger blir energifaktoren:

$$\text{Energifaktor} = \frac{1.344.000 \text{ kWh}}{37.500 \text{ kWh}} = 36$$

dvs. varmeveksleren sparer (produserer) i levetiden 36 ganger mer enn energiforbruket som gikk med til fremstillingen.

Arbeidsmiljø og innemiljø

Som ovenfor nevnt er det et hovedkriterium at ventilasjonsanlegg tilpasses slik at det tas hensyn til helse og miljøkrav for personalet som arbeider i virksomheten. Se også kapittel 4.1 "Enøk og innemiljø".

Avvikling

En brukt varmeveksler vil bli betraktet som produksjonsavfall. Kostnader for levering av slikt avfall til Oslo Renholdsverker er kr 460,- pr. tonn. Prisen for avfallslevering av varmevekslerutstyret blir ca. kr 800,-, og prisen pr. kWh ca. 0,6 øre. Materialet vil også kunne gjenvinnes.

Aluminium er egnet for materialgjenvinning da energiforbruket ved omsmelting av skrapaluminium er bare 5% av behovet ved produksjon av primæraluminium.

VEDLEGG 5

ARBEIDSMEDIER OG ENERGIBRUK TIL FREMSTILLING AV VARMEPUMPER

Aktuelle arbeidsmedier for varmepumper

Full halogeniserte KFK				Alternative arbeidsmedier					
Nummer	Formel	NKP (°C)	TK (°C)	Navn/ nummer	Formel	NKP (°C)	TK (°C)	Tilgjengelighet	Brennbart
R114	CF_2Cl-CF_2Cl	4	146	Butan	C_4H_{10}	-1	152	K	J
				R142b	$CClF_2CH_3$	-9	137	K	J
				Iso-butan	C_4H_{10}	-12	135	K	J
				R143	CHF_2CH_2F	5	157	L	J (?)
				R124	$CHClFCF_3$	-12	122	M-L	N
R12	CF_2Cl_2	-30	112	R134	CHF_2CHF_2	-20	114	L	N
				R152a	CHF_2CH_3	-25	114	K	J
				R134a	CF_3CH_2F	-27	101	M	N
				Ammoniakk	NH_3	-34	132	K	J*
				R22	CHF_2Cl	-41	96	K	N
				Propan	C_3H_8	-42	97	K	J
				Dimetyl-eter	CH_3CH_3	-25	127	K	J

NKP - normalkokepunkt (°C, kokepunkt ved 1 bars trykk) TK - kritisk temperatur (°C)
K - kort sikt (3-5 år) M - medium sikt (5-10 år) L - Lang sikt (>10 år)
*) Brennbart bare i konsentrasjoner mellom 15-28 vol% i luft. Høy antennelsestemperatur (630°C)

Energiforbruk til fremstilling av varmepumper

Det er i det følgende gjennomført en analyse av miljøkonsekvenser for varmepumper ved et gitt sett av antagelser.

7 kWh/kg for alle materialer i gjennomsnitt (stål, plast, kopper, kuldemedium, aluminium
Produksjon (maskinering, sveising) + 100% (14 kWh)
Transport + montasje + 20%

Gir ca. 17 kWh/kg for fremstilling

Antagelser: (middels varmepumpe)

- Varme fra jord eller vann indirekte med gjennomsnittstemperatur på 0 °C.

- Varmtvann til radiator med gjennomsnittstemperatur på 50 °C for å varme rom til 20 °C.

- Eksempel: effekt 23 kW vekt 300 kg på aggregatet.

- Varmluftsvarmeveksler + rør 200 kg (stål)
- Varmeopptakssystem 100 kg (slange plast)

- Total vekt 600 kg
  Fremstillingsenergi: 600 x 17 = ca. 10.200 kWh

- Installert med en driftstid på 3500 timer pr. år vil varmepumpen, på bakgrunn av gjennomsnittsbetingelsene, levere ca. 80.000 kWh pr. år. I løpet av 10 år gir dette 800.000 kWh.

- Energiforbruk til drift vil være ca. 10 kW til aggregatet og ca. 1,5 kW til pumpe etc. Dette gir en effektfaktor på 2,0.
  Energiforbruket blir 11,5 kW x 3500 x 10 = 400.000 kWh

Besparelser blir 800.000 kWh
\- 400.000 kWh
= 400.000 kWh

$$\text{Energifaktor} = \frac{400.000}{10.200} = 39$$

VEDLEGG 6

ENERGIFORBRUK TIL FREMSTILLING AV BYGNINGSISOLASJON

I rapporten er det beregnet at ved etterisolering av en bolig fra BR-S 85 til lavenergistandard, vil energimengden til fremstilling av tilleggsisolering utgjøre 6800 kWh. Noen av beregningsforutsetningene er gitt i tabell vedlegg 2.

	Isoleringstykkelser BR-S 85 (m)	Isoleringstykkelser Lavenergi (m)	Isoleringsareal (m^2)
loft	0,20	0,35	120
yttervegger	0,10	0,25	95
gulv	0,15	0,25	110

Drift

Netto energisparing ved denne type isolering er oppgitt til 5250 kWh/år, med en levetid på 50 år kan energifaktoren beregnes til:

$$\text{Energifaktor} = \frac{50 \text{ år} \cdot 5250 \text{ kWh/år}}{6800 \text{ kWh}} = \underline{39}$$

VEDLEGG 7

MILJØULEMPER VED LAV-ENERGI KJØLESKAP

Materialstrømmer

Det er i /1/ gitt en oversikt over materialforbruk ved fremstilling av kjøleskapene. På dette grunnlag er energiinnholdet i kjøleskapene omregnet til primærenergiforbruk. (Alle materialer er forutsatt fremstilt ved bruk av kullkraft, 27% energiutbytte).

Energi-innnholdet i lavenergi-kjøleskapet LER 200 er 250 kWh høyere enn i K 200 (K 200: 800 kWh - LER 200: 1050 kWh). Det største bidrag til energi-innholdet er fra stål, plast og polyurethan, hvor innholdet er størst p.g.a. større dimensjoner.

Arbeidsmiljø

Rapporten omtaler også hvilke materialer og prosesser ved fremstillingen som kan gi opphav til arbeidsmiljøproblemer.

ABS-plast: ved oppvarming frigis styren-damper

Polyurethan-skum: Ved fremstilling frigis isocyanider

KFK-gasser - KFK 12 benyttes som kjølemiddel i kjøleskapene.

Drift

Energiforbruket for kjøleskap K 200 er ved forsøk funnet å være 157 kWh pr. år, mens det for LER 200 er 89 kWh/år.

Analysen viser at det spares 113 kWh/år ved bruk av lavenergikjøleskapet.

Miljøeffekter

Miljøproblemer ved drift av kjøleskapene er utslipp av KFK11 fra isolering. Årlig utslipp settes til 0,5% av den totale mengden. Settes levetiden til 13 år, vil lavenergikjøleskapet avgi 32 g KFK11 i forhold til 14 g fra K 200.

Avvikling

Ved avvikling kan deler av kjølemiddelet samles opp og gjenvinnes. I Danmark finnes ordninger hvor kjøleskap samles inn og kjølemiddelet tappes av. Det største miljøproblemet er innholdet av KFK11 i isoleringen. Det finnes for tiden ingen metoder for å ta vare på dette. Det foregår forsøk på å løse dette problemet. Hvis det ikke skjer noen oppsamling av KFK11, vil det fra et K 200-kjøleskap frigis 0,21 kg og fra et LER 200 0,49 kg.

Samlet analyse

Det er i rapporten beregnet en energifaktor

$$\text{Energifaktor} = \frac{113 \text{ kW/år} \cdot 13 \text{ år}}{250 \text{ kWh}} = 5{,}9$$

I den miljømessige vurdering som er foretatt i rapporten har man funnet at bruken av lavenergikjøleskap vil medføre en liten reduksjon i utslipp av klimagasser når el-produksjonen er basert på kullkraft.

For norske forhold vil lavenergikjøleskap med denne teknologi bety en økning i utslipp av klimagasser.