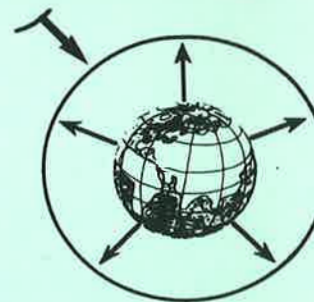
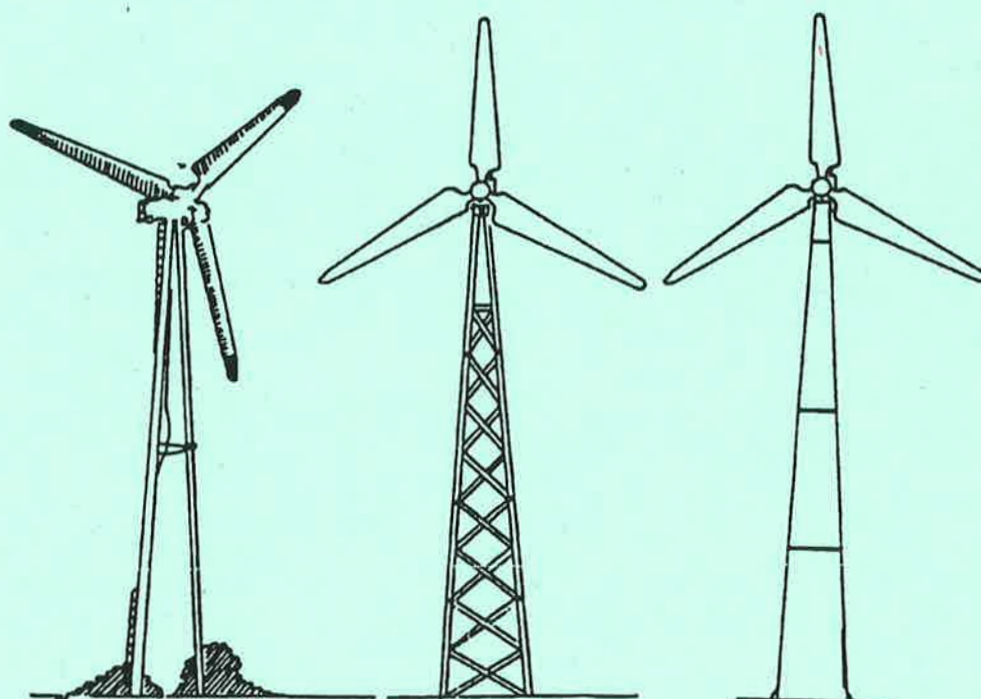




KVANTIFISERING AV MILJØULEMPER VED ULIKE ENERGITEKNOLOGIER

Delprosjekt 2:

Miljøulempen ved nye, fornybare energikilder



Konsulent: Institutt for energiteknikk (IFE)
Senter for forskningsoppdrag (SEFO)

Desember 1991

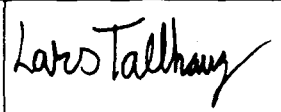
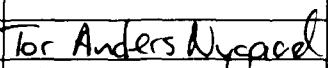
INNHALDSFORTEGNELSE

DEL I VIND, BØLGE- OG SOLENERGI

	<u>Side</u>
1. INNLEDNING	1
2. VINDKRAFT	1
2.1 Beskrivelse av miljøkonsekvenser	3
2.1.1 Visuell påvirkning på landskapet	3
2.1.1.1 Ulike fysiske faktorerers betydning for den visuelle påvirkningen	4
2.1.2 Støy	6
2.1.3 Forstyrrelse av fugleliv	8
2.1.4 Elektromagnetisk kommunikasjon	9
2.1.5 Arealbruk	9
2.1.6 Sikkerhet	12
2.1.7 Lokal motstand mot vindkraft	12
2.2 Tiltak for reduksjon av konsekvenser	13
2.2.1 Visuell påvirkning	13
2.2.2 Støy	14
2.2.3 Forstyrrelse av fugleliv	15
2.2.4 Elektromagnetisk kommunikasjon	15
2.2.5 Arealbruk	15
2.2.6 Sikkerhet	16
2.3 Kostnad for tiltakene	17
2.3.1 Visuell påvirkning	18
2.3.2 Støy	18
2.3.3 Forstyrrelse av fugleliv	19
2.3.4 Elektromagnetisk kommunikasjon	20
2.3.5 Arealbruk	20
2.4 Substitusjon av konvensjonelle energikilder	21
3. BØLGEKRAFT	22
4. SOLENERGI	26
4.1 Passiv utnyttelse av solenergi	26
4.2 Aktive solvarmesystemer	27
4.3 Fotoelektrisitet	28
5. KONKLUSJON	29
6. LITTERATUR	30
7. VEDLEGG	33

DEL II BIOENERGI

Se egen innholdsfortegnelse i Del II

KJELLER Postadresse Boks 40, N-2007 Kjeller Telefon (06) 80 60 00 Telex 74 573 energ n Telefax (06) 81 11 68		HALDEN Boks 173, N-1751 Halden (09) 18 31 00 76 335 energ n		Tilgjengelighet Innskrenket
Rapport- type F	Rapportnummer IFE/KR/F-91/159		Dato 1991-12-10	
	Rapporttittel Kvantifisering av miljøulempen ved ulike energiteknologier, - vindkraft, bølgekraft og solenergi		Dato for siste revisjon 1991-12-10	
	Oppdragsgiver NVE - E		Revisjonsnummer	
	Oppdragsgivers referanse Arne J. Carlsen		Antall sider 33	
			Antall eksemplar 10	
Sammendrag Rapporten er et litteraturstudium over miljøulempene ved utnyttelse av vindkraft, bølgekraft og solenergi. Bølgekraft og solenergi er kun lett behandlet. Det er spesielt kvantifiseringen som er viet oppmerksomhet. Kun få kilder er funnet med kvantifisering av miljøulempen. I et lite prosjekt som dette er det også uoverkommelig å produsere slike tall selv. For de fleste miljøulempene er det derfor tiltak som er kvantifisert. Vindkraft utnytter fornybare energiresurser og medfører ingen vesentlig utslipp til luft eller vann, verken ved produksjon eller i bruk. Vindturbiner genererer noe støy, og vil måtte synes i terrenget på grunn av den lave energiintensiteten, og at det blåser best i åpne områder.			Distribusjon NVE - E Kjell O. Solberg Tor Anders Nygaard Lars Tallhaug Bibliotek Arkiv Sammendrag: Direktører Prosjektledelse, Halden Avdelingssjefer	
Stikkord: Miljøulempen, vindkraft, bølgekraft, solenergi, kvantifisering.				
	Navn	Dato	Signatur	
Utarbeidet av	Lars Tallhaug	1991-12-10		
Kontrollert av	Tor Anders Nygaard	1991-12-10		
Godkjent av	Kjell O. Solberg	1991-12-10		

1. INNLEDNING

Dette delprosjektet inngår i prosjektet "Kvantifisering av miljøulempere ved ulike energiteknologier" i regi av Norges Vassdrags og Energiverk. Det overordnede mål med prosjektet er å legge grunnlaget for en samfunnsrasjonell energiplanlegging og energihusholdning gjennom å innbefatte miljøulempene ved kostnad/nyttevurderinger av energiprojekter på regionalt og sentralt nivå.

Prosjektet tar sikte på å analysere miljøulempene forbundet med ulike energiteknologier og søke å kvantifisere disse. Dette delprosjektet omhandler hovedsaklig vindkraft, men solenergi og bølgekraft er enkelt behandlet i tillegg. Prosjektet vil kunne danne grunnlag for fastsettelse av miljøavgifter der miljøkostnadene ikke på annen måte reflekteres i dagens system.

Delprosjektet er hovedsaklig en litteraturstudie der aktuell litteratur er fremskaffet og gjennomgått. I de tilfellene litteraturen ikke har gitt tilstrekkelig svar er det supplert med enkle beregninger og vurderinger. Dette gjelder spesielt kostnadsbestemmelse av tiltak.

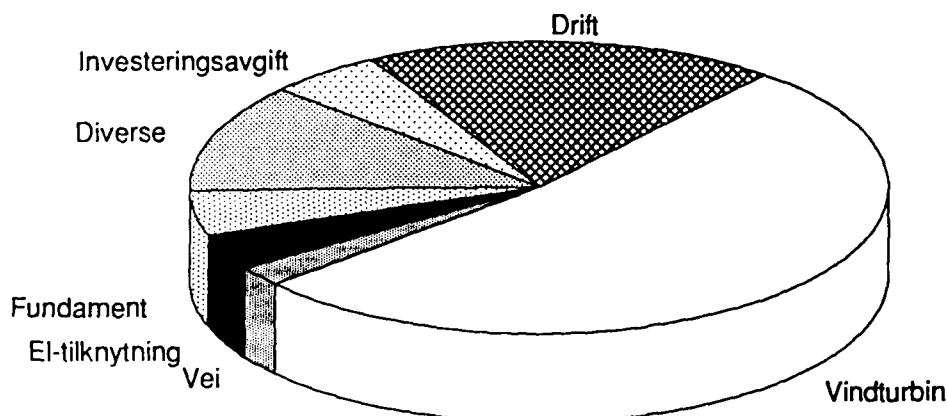
2. VINDKRAFT

Vindkraft er nå kommersiell tilgjengelig teknologi for produksjon av elektrisk energi. I Europa er det nå (1991) installert omlag 500 MW og i USA omlag 1500 MW. Ved utgangen av 1991 er det 10 nettilknyttede vindturbiner i Norge med en samlet effekt på nesten 3000 KW.

Vindkraft spiller spesielt godt sammen med det norske vannkraftsystemet på grunn av den gode reguleringsevnen til vannkraften, høy vinterenergiandel fra vind og det store effektoverskuddet i vannkraftsystemet.

Kostnaden for elektrisk energi produsert med vind er svært avhengig av vindforholdene. Et sted med årsmiddelvind på 8 m/s vil produsere vindkraft 25-30 % billigere enn et sted med årsmiddelvind på 7 m/s. Dersom en tar utgangspunkt i stedet med middelvind 7 m/s og antar at dette ligger nær vei og nett, vil en kunne få produsert elektrisk energi til 40-45 øre/kWh. Med middelvind over 8 m/s vil en kunne komme under 35 øre/kWh. Fordeling av kostnadene på de ulike deler er antydnet i figur 2.1.

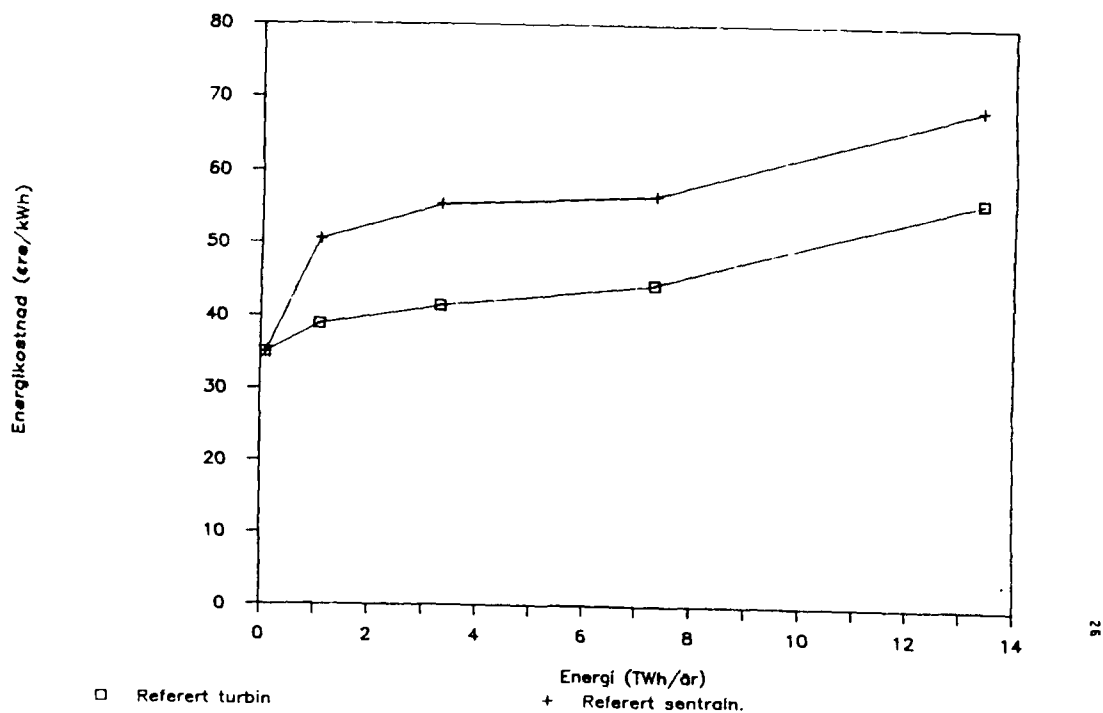
Kostnadsfordeling for vindkraftanlegg



Figur 2.1 Kostnadsfordeling for vindkraftanlegg.

Figur 2.2 viser vindkraftpotensialet i Norge i år 2000. Kurven er hentet fra /33/. Denne kurven inneholder ingen miljøkostnader, men vanlige avstandskrav til bebyggelse er tatt med. Alle tiltakskostnader i denne rapporten må derfor adderes disse.

Vindkraftpotensialet i Norge i år 2000



Figur 2.2 Vindkraftpotensialet for Norge.

2.1 BESKRIVELSE AV MILJØKONSEKVENSER

Utnyttelse av vindkraft medfører ingen direkte utslipp til jord, luft eller vann. Det påvirker ikke klimaet og anleggene kan fjernes uten at de etterlater seg vesentlige spor i terrenget.

Noen miljøkonsekvenser vil det imidlertid medføre å utnytte vindkraft i stor skala. Opphavet til noen av disse problemene ligger i at energikilden har så lav intensitet. Typisk teoretisk årlig energiinnhold i vinden på norskekysten er 5000 kWh pr. m² vinkelrett på vindretningen. Med dagens teknologi kan vi ta ut noe over 1000 kWh pr. m². Denne lave intensiteten medfører at store arealer må eksponeres for vinden for å få ut energimengder av betydning.

I tillegg til at vindkraftverk blir store og synlige, sender de ut litt støy til sine nærmeste omgivelser. Elektromagnetisk kommunikasjon kan bli forstyrret og fugler kan i enkelte tilfeller la seg påvirke av turbinene.

Et vindkraftverk vil også medføre en viss risiko for at løse gjenstander skal bli slynget ut fra kraftverket.

Alle disse negative miljøkonsekvensene vil bli nærmere beskrevet i det etterfølgende.

2.1.1 Visuell påvirkning på landskapet

Som nevnt er energiintensiteten i vinden relativt liten. Dette gjør at store arealer må eksponeres for vinden for å få ut energimengder av betydning. I tillegg er det slik at det er på de mest åpne områdene at det blåser mest. Tilsammen medfører dette at det er vanskelig å unngå at vindturbiner blir synlig fra en del av sine omgivelser.

Med visuell påvirkning på landskapet menes at vi forandrer utseende på landskapet. Det er folks oppfatning av denne forandringen som har betydning. Dette betyr at det ikke bare er selv landskapsendringen, men folks holdninger til det som settes opp, som får betydning for reaksjonene. En person kan synes en bru er flott og forskjønnende for landskapet, mens en annen kan synes brua ødelegger landskapet.

På spørsmål vil de fleste svare at vindkraft er en energiressurs med store miljømessige fordeler fremfor kull, olje og naturgass. Det er allikevel mange problemer som melder seg når en kommer dithen at turbinene skal få et sted å stå. I hvilken grad turbinene skal bli oppfattet som positive, mindre positive eller uakseptable er blant annet avhengig av de oppfatninger berørte personer og organisasjoner har.

- Det må ikke være tvil om at Norge behøver energien turbinen skal produsere.
- Det må ikke være tvil om hvorvidt vindkraft er en teknikk som fungerer.
- Kostnadsforholdene må være kjent, slik at ingen tror det er sløsing med skattepenger.

I tillegg vil det være av stor betydning at alle berørte parter blir tatt med i beslutningsprosessen på et tidlig stadium.

Berg og Jørgensen /11/ omtaler en metode til hjelp ved vurdering av de visuelle virkningene av en vindkraftutbygging. De har laget grenser for ulike visuelle effekter.

Forutsetningene er:

- turbinen er i bevegelse,
- høyden regnes til toppen av rotoren,
- flatt åpent landskap,
- horisontalakslet turbin.

I Stryksone

Stryksonen begrenses av turbinradien.

II Restriksjonssone

Sone der aggregatet kan oppfattes som visuelt påtrengende. Som grenseverdi anslås en avstand tilsvarende 3 ganger høyden, der betrakteren må løfte blikket for å se hele turbinen.

III Visuell dominanssone

Sone der en turbin dominerer en sektor av synsfeltet. Som grense for denne sonen angis ca. 10 ganger høyden.

Ett høyt objekt dominerer bare en sektor av synsfeltet. Når flere turbiner opptrer i gruppe vil alle sektorene i synsfeltet kunne domineres av vindturbiner. Dette kalles "områdedominans".

IV Siktbarhetssone

Sone der turbinen(e) kan sees, men oppfattes som tilhørende det fjerne landskapsrommet. Teoretisk sikt lengde for en 45 m høy turbin, er ca. 18 km. I praksis begrenses imidlertid sikt lengden av værforholdene, vegetasjon, topografi og bygninger.

2.1.1.1 Ulike fysiske faktorerers betydning for den visuelle påvirkningen

Selv om det er av stor betydning hvilke øyne som ser, er det ikke uten betydning hvordan en vindkraftutbygging utføres. I det etterfølgende vil hovedsakelig horisontalakslede turbiner bli omtalt. Vertikalakslede turbiner er foreløpig ikke økonomisk konkurransedyktige.

Størrelse

Flere undersøkelser tyder på at det er et mindre inngrep med få store i forhold til mange små turbiner /2/. Mye av årsaken til dette er at det er svært vanskelig å bedømme størrelsen på et vindkraftverk når vi betrakter det fra litt avstand. Det kommer også av det forhold at energiutbyttet er proporsjonalt med rotordiameteren i annen, mens tårnhøyden er vanligvis lik diameteren.

Antall blader

De fleste mindre vindturbiner har tre blader, større turbiner har ofte to. Trebladede turbiner har den fordel at de ser ut til å gå jevnere. Årsaken til det er at rotoren på en to-bladet turbin ikke er så lett å se i det den passerer tårnet.

Rotasjonshastighet

De fleste som ser en vindturbin for første gang, er overrasket over hvor sakte den går rundt. Noen vil si at den bare lunker av gårde. Vanlig rotasjonshastighet er 30-40 o/min., det vil si at rotoren bruker ca. 2 sek. på en runde. Rotasjonshastigheten er allerede så lav at det er lite å vinne på å senke denne ytterligere.

Farge

Det kan diskuteres hvorvidt en vindturbin skal ha en farge slik at den synes minst mulig, eller om den skal være fargesprakende og artig å se på. Med storskala vindkraftutbygging blir det så mange turbiner at det vil være viktigst å prøve å få turbinene til gå mest mulig i ett med omgivelsene. De fleste vindkraftverk som er satt opp til nå er lyse i fargen, eventuelt med grått metalltårn (galvanisering).

Tårntype

Det finnes ulike typer tårn i bruk til vindkraftverk. Tidligere var det mest vanlig å benytte fagverkskonstruksjoner av stål. I de siste årene har imidlertid rørtårnet av stål blitt svært vanlig. Det har også blitt laget tårn av tre tynnere rør, av betong og av et tynt rør i kombinasjon med barduner.

Den peneste og enkleste formen gir trolig det vanlige rørtårnet.

Parkutforming

Ved storskala vindkraftutbygging er en avhengig av å plassere turbinene i parker for å få til rasjonell drift og for at man skal slippe å ha turbiner "over alt". Det er imidlertid mange måter å gruppere turbinene på.

I parker med mindre enn ti turbiner anbefales det av enkelte /2/ å sette dem på linje. En betrakter vil alltid være et stykke unna endel av turbinene dersom de plasseres på en linje. Et rektangulært mønster kan da virke mer dominerende.

I parker med flere turbiner er det mange brukbare måter å plassere dem ut på. Fra det strengeste rektangulære mønster til tilfeldig spredt ut i terrenget. Hva som velges er noe avhengig av hva slags terreng en har /1/ (og hvilke vindforhold som er på stedet).

I et terreng som har typiske linjer (dyrket mark, vannsystemer, veier e.l.) er det viktig å ta hensyn til disse ved utplasseringen.

Der terrenget ikke gir spesielle føringer på hvordan turbinene bør utplasseres er det flere måter å gjøre det på.

1. Rektangulært. Det vil si turbinene på rekke i begge retninger.
2. Fristilte rekker.
3. Grupper. Skal det ha noen hensikt å dele opp en vindpark i grupper må gruppene stå mer enn 10 ganger høyden fra hverandre. En som står ved en gruppe/er innenfor restriksjonssonen til en gruppe, bør da være utenfor den visuelle dominanssonen til den andre gruppen.

2.1.2 Støy

Lyd er trykkvariasjoner i luft over og under atmosfære-trykket, sammensatt av en eller flere ulike svingninger. En tone karakteriseres av sin amplitude (styrke) og sin frekvens (tonehøyde). Lydstyrken eller lydtrykket er avviket fra atmosfæretrykket. Sterk lyd kan være ca. 10^{-5} bar og svak lyd ca. 10^{-10} bar. Vanligvis måler vi lydstyrken i desibel (dB)

$$\text{Lydstyrke} = 20 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ (dB)} \quad P_1 \text{ og } P_2 \text{ er lydtrykknivåer.}$$

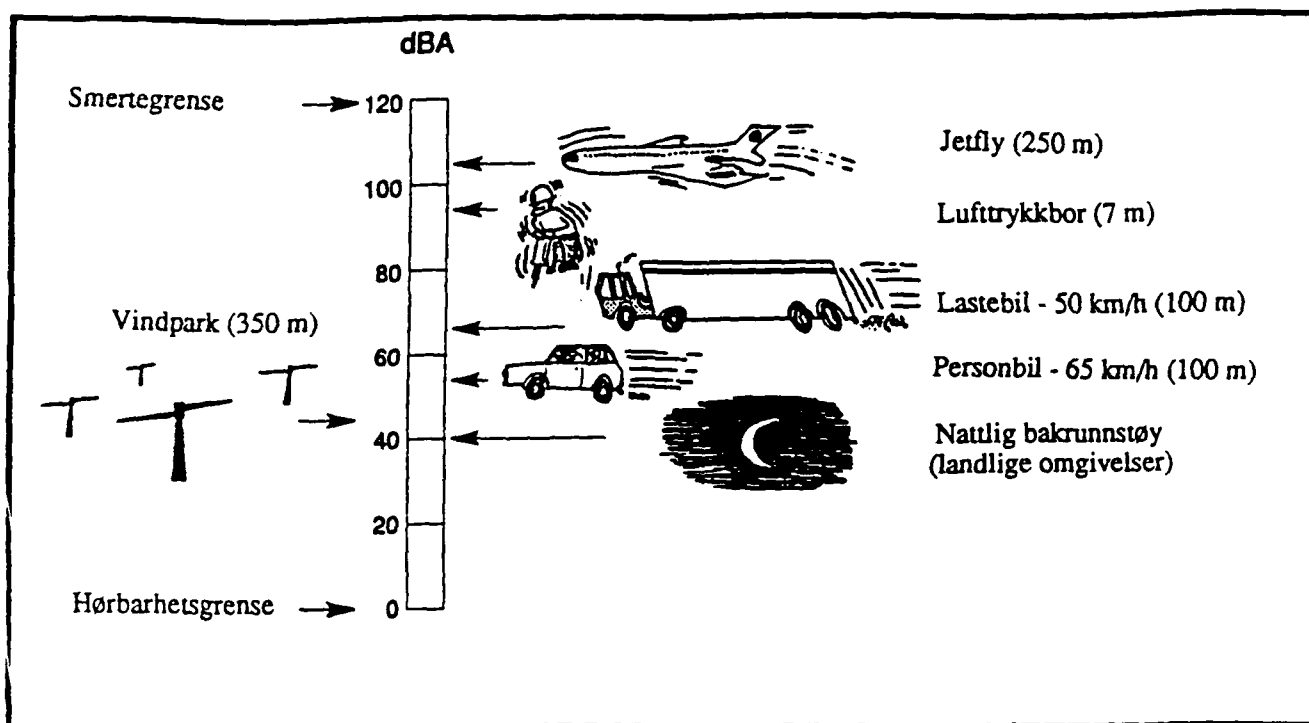
For å få en absolutt skala settes $P_2 = 2 \cdot 10^{-10}$ bar. Tonehøyden måles i hertz ($\text{Hz}=\text{s}^{-1}$), og det menneskelige øre kan oppfatte lyder i området 20-20.000 Hz. Det menneskelige øre er imidlertid ikke like følsomt for alle frekvenser. Derfor legges det på et veiefilter (A) som er tilpasset ørets frekvensfølsomhet.

Støyen som et vindkraftverk sender ut kommer dels fra mekaniske komponenter som gir-kasse, generator og hydraulikksystem og dels fra vekselvirkningen mellom vingene og luftstrømmer (aerodynamisk støy). Turbiner med rotoren plassert nedstrøms av tårnet vil også gi fra seg en bankelyd som oppstår på grunn av vaken bak tårnet. Denne type turbiner er imidlertid blitt svært lite utbredt.

Hvilket støynivå det dreier seg om er vist i tabell 2.1, der støyen fra et middels stort vindkraftverk (~300 kW) er vist i ulike avstander. Figur 2.3 gir eksempler på støy fra andre og mere kjente kilder.

Avstand til turbinfot	Lydtrykknivå, V=8 m/s (dBA)
50	55
100	50
150	46
200	44
250	41
300	40

Tabell 2.1 Støynivå i ulike avstander fra et middels stort vindkraftaggregat (~300 kW).



Figur 2.3 Støyutsendelse fra kjente kilder /36/.

Støynivået oppgis vanligvis ved en vindhastighet på 8 m/s i navhøyde. Ved lavere hastighet støyer turbinen mindre, ved høyere hastighet overdøves støyen av bakgrunnstøy (se figur 2.7). På litt avstand fra turbinen dominerer den aerodynamiske støyen over den mekaniske støyen. Den aerodynamiske støyen inneholder ingen dominerende frekvenser (hvit støy) på samme måte som vanlig bakgrunnsstøy forårsaket av vind.

Dersom støyen fra turbinen inneholder noen klare rentoner blir forholdene endret.

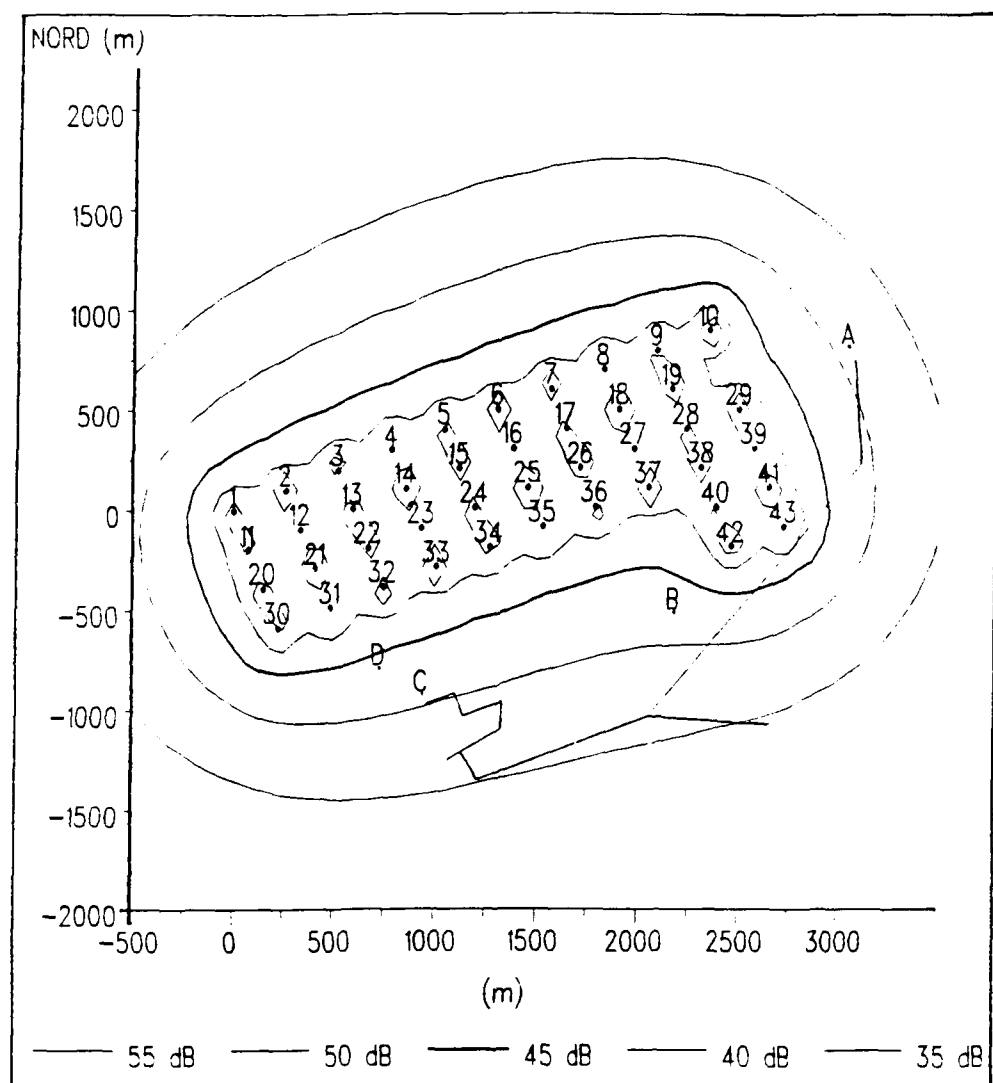
I Norge finnes det ikke noe eget reglement som tar for seg støy fra vindturbiner. Danmark har imidlertid sitt eget reglement. Hovedregelen der er slik at støybelastningen ved utendørs oppholdsarealer i umiddelbar tilknytning til nærmeste bolig, ikke får overstige 45 dB(A). Kravene skjerpes ved støyfølsom arealanvendelse. Kravene er slik at det vanligvis blir støy som bestemmer hvor nær bebyggelse en kan plassere vindturbiner.

Ved utbygging av vindparker vil støyen fra de enkelte turbiner i parken addere seg sammen slik at støyemisjonen øker. Figur 2.4 viser resultater fra en beregning av støyforholdene ved en vindpark. Måten støybidragene adderes på er illustrert med ligningen under.

$$L_{total} = 10 \log(10^{L_{n1}/10} + 10^{L_{n2}/10} + \dots)$$

der

L_{n} er støybidraget fra turbin nr. n.



Figur 2.4 Eksempel på støyutsendelse fra en vindpark

2.1.3 Forstyrrelse av fugleliv

En vindkraftutbygging vil kunne påvirke fugleliv på to måter. Den ene er terrenginngrep i områder der fugler hekker, og den andre er at tårn og blader vil kunne stå i vegen for fugler i flukt, både lokal forflytting og trekkfugler.

Når det gjelder trekkfulger, så flyr disse svært ofte i høyder over der vindturbiner befinner seg. Om dagen vil fuglene kunne se bladene på grunn av den lave rotasjonshastigheten.

I nærheten av høye master er det funnet betydelig antall døde fulger. Kollisjonene skjer om natten og bare ved master som er høyere enn 250 m. Slike master er alltid bardunert, og tynne barduner kan være svært vanskelig å se.

Det er foretatt en rekke undersøkelser omkring vindkraftens forstyrrelse av fugleliv. /13/ refererer til undersøkelser ved 9 danske vindturbinparker i 1987-1988. Undersøkelsene har gått ut på observasjoner av forbiflyvende fugler's reaksjoner på turbinne, søk etter døde fugler og registreringer av rastende fugler. Alle undersøkelser har ikke inneholdt alle momenter.

Resultatet av disse undersøkelsene har vært at det er funnet 2 døde fugler som antas å være kollisjonsdrepte. Dette er et meget lite antall helt uten betydning for bestanden.

Det er observert tydelige reaksjoner hos trekkende andefugler. Det ser ut som de tar en stor sving utenom vindturbinene.

De tydeligste reaksjoner er funnet på rastende fuglers utnyttelse av områdene der turbinne er plassert. I en av undersøkelsene er det registrert at gjess ikke oppholder seg nærmere enn 400 m fra vindturbinene.

Undersøkelser fra Nederland viser at de aller fleste trekkfugler flyr høyere enn bladene på en vindturbin rekker /18/.

2.1.4 Elektromagnetisk kommunikasjon

Vindturbiner kan på samme måte som andre høye byggverk skape forstyrrelser på elektromagnetiske kommunikasjonssystem, slik som f.eks. radio og TV. I praksis viser det seg at det er TV-mottakingen som kan gi problemer. Forstyrrelser kan oppstå både på forsiden og baksiden av turbinen sett fra senderen. Forstyrrelsene vil vise seg som intensitetsvariasjoner og/eller eventuelt såkalte synkroniseringshopp /17/.

I forbindelse med de norske vindkraftverkene er det ikke kommet inn klager på TV-mottaking. Målinger på stedene har heller ikke påvist forstyrrelser.

I Sverige har det kommet enkelte klager på forstyrrelse av TV-mottaking. Problemene har vært få, og enkle å løse.

2.1.5 Arealbruk

En omfattende vindkraftutbygging vil bestå av flere store vindparker. Engelskmennene mener ca. 10 MW er tilstrekkelig for en vindpark. Den vil da bestå av f.eks. 25 stk. 400 kW turbiner. En av grunnene til at turbinene bør plasseres i parker, er at de da blir mer rasjonelle å drive. En annen grunn er at da vil det være forsvarlig å investere i ekstra el-nett for å nå de mest vindfulle steder.

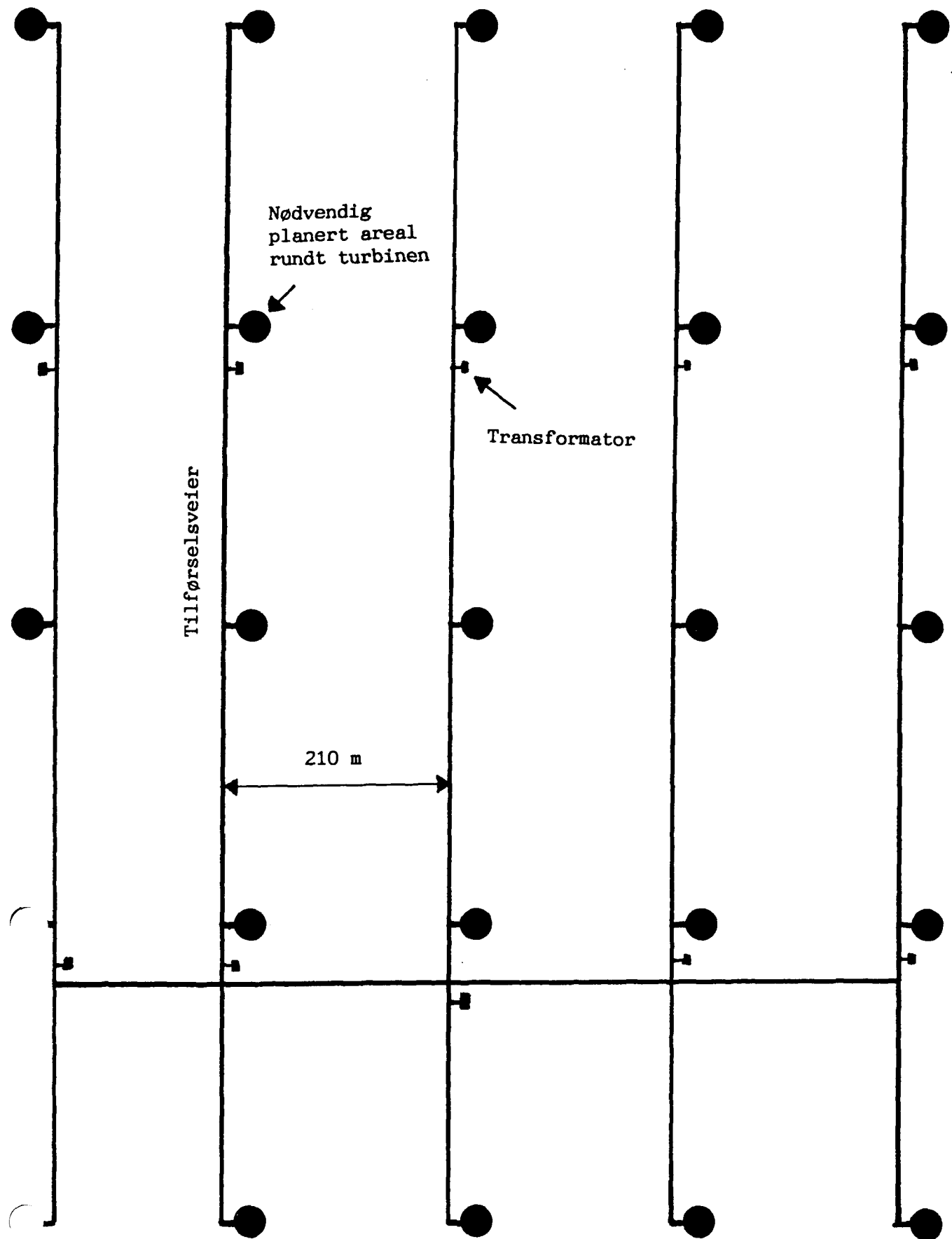
En vindpark på 10 MW vil bestå av:

- et servicebygg på ca. 50 kvm,
- en liten trafokiosk pr. 2-5 turbiner,
- adkomstveier mellom turbinene (dersom marken ikke er dyrket),
- planert areal rundt hver av turbinene for heisekraner til reising (radius 10-15 m).

Dersom en sikkerhetssone på 200-300 m inkluderes, vil en stor vindpark på et bra sted i Norge kunne produsere 20-30 GWh/km² med dagens vindturbiner. Dersom store vindturbiner på 2-3 MW blir konkurransedyktige, vil energiutbyttet kunne økes til 40-50 GWh/km². Dette skyldes i første rekke at store turbiner utnytter et tykkere lag av grensesjiktet.

Det er imidlertid svært viktig å legge til at en vindkraftpark ikke vil forhindre all annen aktivitet i området. Beitemark for kyr og sau vil uten problemer kunne utnyttes på de store urørte flatene mellom turbinene. Dette gjøres med hell i Danmark. Der er det imidlertid enda mer vanlig å legge vindparkene til dyrkede arealer. På dyrkede arealer vil det også være mulig å klare seg uten forbindelsesveger. Eneste arealinngrep vil da være fundament, servicebygg og transformatorer.

Figur 2.5 viser hvor store arealer som det gjøres inngrep i. Den fylte sirkelen ved hver turbin illustrerer hvor stort areal som må planeres for å gi plass til kran etc.



Figur 2.5 Eksempel på arealinngrep fra en stor vindpark med turbiner i størrelsesorden 400 kW. Alt som er tegnet betyr inngrep i naturen. Der intet er tegnet blir naturen ikke rørt.

2.1.6 Sikkerhet

Et vindkraftverk er et stort maskineri med roterende deler. Det vil derfor alltid være en risiko for at deler kan bli slynget ut fra turbinen og skade personer/dyr eller utstyr.

I tillegg til risikoen for havari, vil det alltid være en viss risiko forbundet med produksjon og montasje. Risikoen forbundet med produksjonen er ikke noe større enn ved fremstilling av annet maskinelt utstyr. Montasjen kan sammenliknes med bygging av høye hus.

Vingespissen på en horisontalakslet turbin har en rotasjonshastighet på 40-100 m/s. Det minste tallet for de små (ca. 50 kW) og det største for de helt store (2-3000 kW). Dette betyr at dersom et blad skulle løsne, vil det kunne kastes et godt stykke. Etter noen uhell i pionértiden i California, regnes nå vindkraftverk for å være svært sikre. Svenske kravspresifikasjoner krever at vindkraftverk dimensjoneres for at sannsynligheten for brudd skal være mindre enn en på hundretusen over en tredveårsperiode.

Dersom et blad mot formodning skulle løsne, er sannsynligheten for å blir truffet for en person som befinner seg 250 m unna, omlag en totusendel /4/.

En vindturbin som opererer i kaldt, fuktig klima vil kunne få dannet is på vingene. Vibrasjoner og sentrifugalkrefter gjør imidlertid sitt til at isen blir kastet av før det rekker å bygge seg opp mengder av betydning. Dersom isen bygger seg opp mens turbinen står stille, er det stor sannsynlighet for at den faller av før rotoren får noen hastighet av betydning. Skulle isen henge på, er det stor sannsynlighet for at den vil utløse vibrasjonsalarmen. Under uheldige omstendigheter kan en ikke se bort fra at is kan bli slengt av i stor fart. En isklump vil da kunne kastes maksimalt 250 m /12/.

2.1.7 Lokal motstand mot vindkraft

For de aller fleste står vindkraft fram som en miljøvennlig måte å produsere elektrisk energi på. Dette gjelder spesielt i andre land enn Norge, der alternativene er enten fossilt brensel eller kjernekraft. På sikt skal en heller ikke se bort fra at Norge må produsere elektrisk energi fra fossilt brensel. Vindkraft gir ikke sur nedbør, bidrar ikke til drivhuseffekten eller gir fare for radioaktive utslipp.

På tross av disse åpenbare miljøfordelene er det flere steder i verden problemer med å få utplassert vindkraftverk. I California viser det seg at flere lokale miljøverngrupper opponerer mot vindkraft.

Årsaken til at disse lokale miljøverngruppene går mot vindkraft har naturlig nok sammenheng med at alle ulempene med vindkraft er lokale. Undersøkelser /28/ og /29/ viser at disse gruppene legger stor vekt på visuell påvirkning av landskapet. I tillegg er det brukt en del ulike argumenter som tyder på manglende tiltro til teknologien. Uttalelser som "Wind Energy simply does not work!" er eksempel på dette.

Siste nytt er at trenden med at lokale miljøverngrupper opponerer mot vindkraft er i ferd med å snu. Årsaken er at nye vindparkanlegg søkes lagt til øde steder. Eksempel på dette er "Sky River" prosjektet til Zond ved Tehachapi i California. Her bygges 342 stk. 225 kW danske turbiner svært langt fra bebyggelse.

2.2 TILTAK FOR REDUKSJON AV KONSEKVENSER

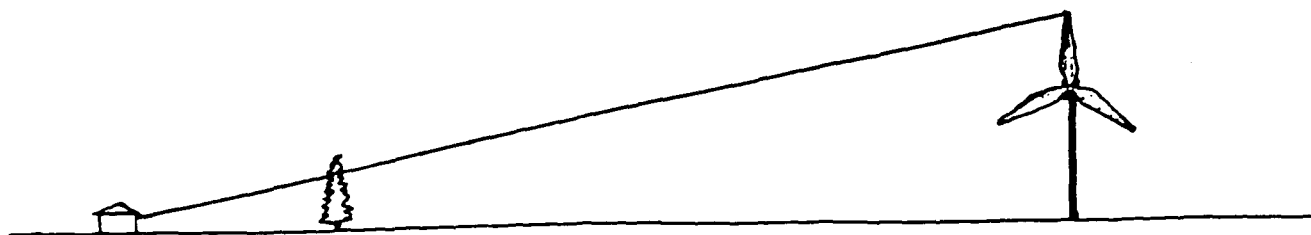
I dette kapittelet vil det bli gitt eksempler på hvordan noen av de miljøulempene nevnt i kapittelet foran kan begrenses. Det blir ikke forsøkt kvantifisert hvor mye tiltaket reduserer den aktuelle miljøulempen, der ikke ulempen helt blir fjernet.

2.2.1 Visuell påvirkning

Som nevnt tidligere i rapporten tyder resultater fra andre land på at det visuelle inngrepet i landskapet kan bli den største begrensningen for storskala utbygging av vindkraft. Det finnes tekniske tiltak som kan begrense disse problemene kraftig. Hovedproblemet med disse tiltakene er at de kan bli kostbare og at de kan ligge litt frem i tid på grunn av manglende utviklet teknikk.

En mer drastisk metode for å redusere det visuelle inngrepet i naturen på, er å flytte turbinene off-shore. På grunn av dypt vann vil det i Norge bety å flytte turbinene ut på holmer, skjær og ubebodde øyer. I Storbritania arbeides det med off-shore vindkraft som et mulig alternativ. I følge /2/ bør imidlertid størrelsen på turbinene opp i 100m/6MW før det kan blir brukbart økonomisk. Tidsskalaen for kommersiell utnyttelse av off-shore vindkraft er imidlertid svært lang. I /20/ antydes det omlag 20 år for å få en stor (ca. 2000 MW) vindpark på lufta. I Danmark settes det opp en liten offshore vindpark (5 x 450 kW) i disse dager. Vindparken settes opp uten å være økonomisk konkurransedyktig.

I tillegg til disse drastiske tiltakene bør en naturligvis sørge for en best mulig tilpassning til terrenget. Dette kan f.eks. gjøres gjennom å legge rekker av turbiner langs eksisterende linjer i terrenget. Stor skjermingseffekt kan en oppnå ved å plante busker eller trær nær der folk bor (se fig. 2.6).



Figur 2.6 Det skal ikke så mye til av skogplanting for å skjule en vindturbin.

Galvaniserte tårn bør males for å se mer velstelt og skikkelige ut.

Visuelle inngrep i naturen er svært avhengig av øyet som ser. Av det kan man slutte at det ikke bare er det fysiske inngrepet som kan endres, men også øyet som ser. Dette kan gjøres ved å skape positive holdninger til vindkraft hos den berørte del av befolkningen. Positive holdninger kan skapes på mange ulike måter:

- unngå negativ mediaomtale av vindkraft generelt,
- dersom et prosjekt skal utredes bør den berørte del av befolkningen informeres på et tidligst mulig stadium,
- vurdere å la befolkningen være økonomisk delaktige i prosjektet.

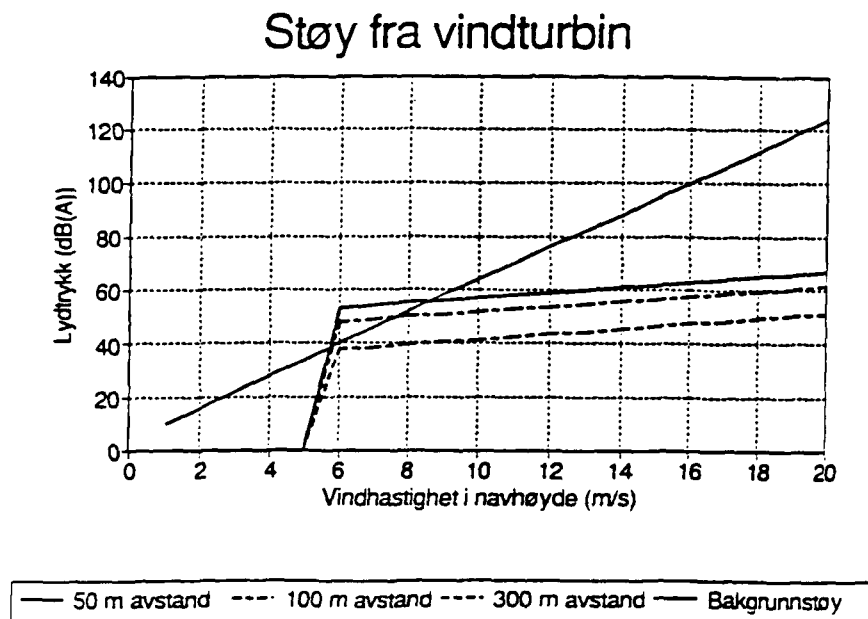
2.2.2 Støy

Støyen fra en vindturbin vil aldri kunne bli helt borte. Det er den turbulente strømmingen rundt bladene som skaper støy det er svært vanskelig å fjerne. Utvikling av nye vingeprofiler kan redusere problemet noe.

Størst effekt på denne aerodynamisk induserte støyen vil variert turtall gi. En turbin med variabelt turtall vil gå med lavere rotasjonshastighet enn dagens turbiner når vindhastigheten er lav. Dette vil redusere vindstøyen når den høres best. Variabelt turtall er foreløpig ikke kommersiell tilgjengelig teknikk.

En enkel og effektiv metode for å redusere støyen ved bolighus, er naturligvis å øke avstanden til turbinene. Dette vil redusere potensialet for vindkraft betydelig, samtidig som kostnadene vil øke noe. Kostnadene vil øke først og fremst fordi en må bygge ut de mindre gode lokalitetene på en tidligere stadium.

Støyutsendelsen kan også reduseres ved å øke vindhastigheten turbinen kobler seg inn på. Innkoblingshastigheten må økes til over den hastigheten der vindsuset fra hus og trær overdøyer støyen fra turbinen(e). Se figur 2.7.



Figur 2.7 Bakgrunnstøyens skjerming av støy fra vindturbiner som funksjon av vindhastigheten.

Den andre delen av støyen fra en vindturbin, den mekanisk induserte, er langt enklere å redusere. Aktuelle tiltak er:

- mindre støyende gir,
- mindre støyende generator,
- mindre støyende hydraulikksystem,
- støydemping av turbinhatten og
- tiltak for å hindre at støy (vibrasjoner) forplanter seg til tårnet.

2.2.3 Forstyrrelse av fugleliv

Det er svært lite som kan gjøres dersom det skulle vise seg at en bestemt fugleart blir forstyrret av vindturbiner. Det beste tiltaket er å unngå de stedene der det hekker spesielt følsomme/sjeldne fuglearter.

2.2.4 Elektromagnetisk kommunikasjon

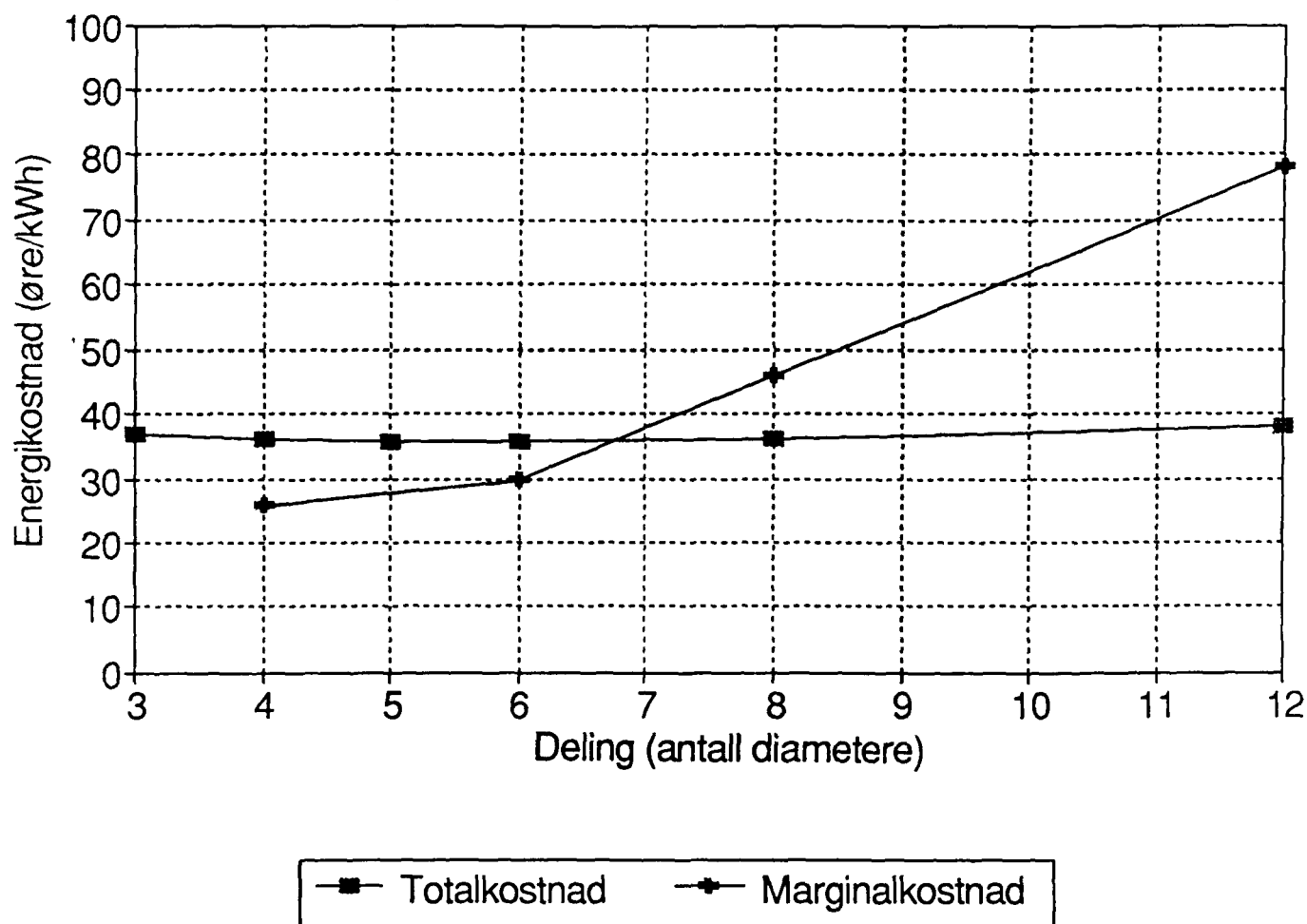
Dersom mottakingen av TV-sendinger skulle bli forstyrret i et område er det mange ulike tiltak som kan innføres. Det første og enkleste tiltaket er å prøve å få inn en annen sender. Hjelper ikke det, må det litt mer kostbare tiltak til, som f.eks. installasjon av en stavsender i nærheten av de berørte hus. En løsning som kan brukes dersom husene ligger tett, er å innføre kabel-TV med antennen plassert et sted som ikke forstyrres. Er bebyggelsen mer spredt, er en mulig løsning parabolantenne på hver enkelt husstand.

Problemet er lite og av rent teknisk karakter, og vil bli redusert da fremtidens TV-mottaking antagelig vil skje med parabol i griségrente strøk og kabel-TV i tettbygde strøk.

2.2.5 Arealbruk

Det er mulig å legge beslag på mindre areal ved å øke turbinstørrelsen. En annen mulighet er å minke avstanden mellom turbinene i vindparken. Reduksjon i avstanden mellom turbinene vil medføre økte utmattingsbelastninger som følge av turbulensen bak turbinene. Bak en vindturbin vil det også være lavere vindhastighet enn foran som vil medføre redusert energiproduksjon. På grunn av at kostnaden til kabler og anleggsveier øker når turbinavstanden øker, vil det finnes en optimal avstand. Figur 2.8 gir et eksempel på hva optimal avstand kan være. Hva som er optimal avstand er avhengig av ulike parametere som grunnforhold, turbintype, parkstørrelse osv.

Optimal turbinavstand



Figur 2.8 Et eksempel på optimal turbinavstand.

Å redusere avstanden mellom turbinene vil ikke være til hjelp i alle tilfeller. Står turbinene i dyrket mark vil redusert dyrkbart areal bli det samme uansett turbinavstand. Er derimot yttergrensen til vindparken det avgjørende, vil det være aktuelt å minke avstanden.

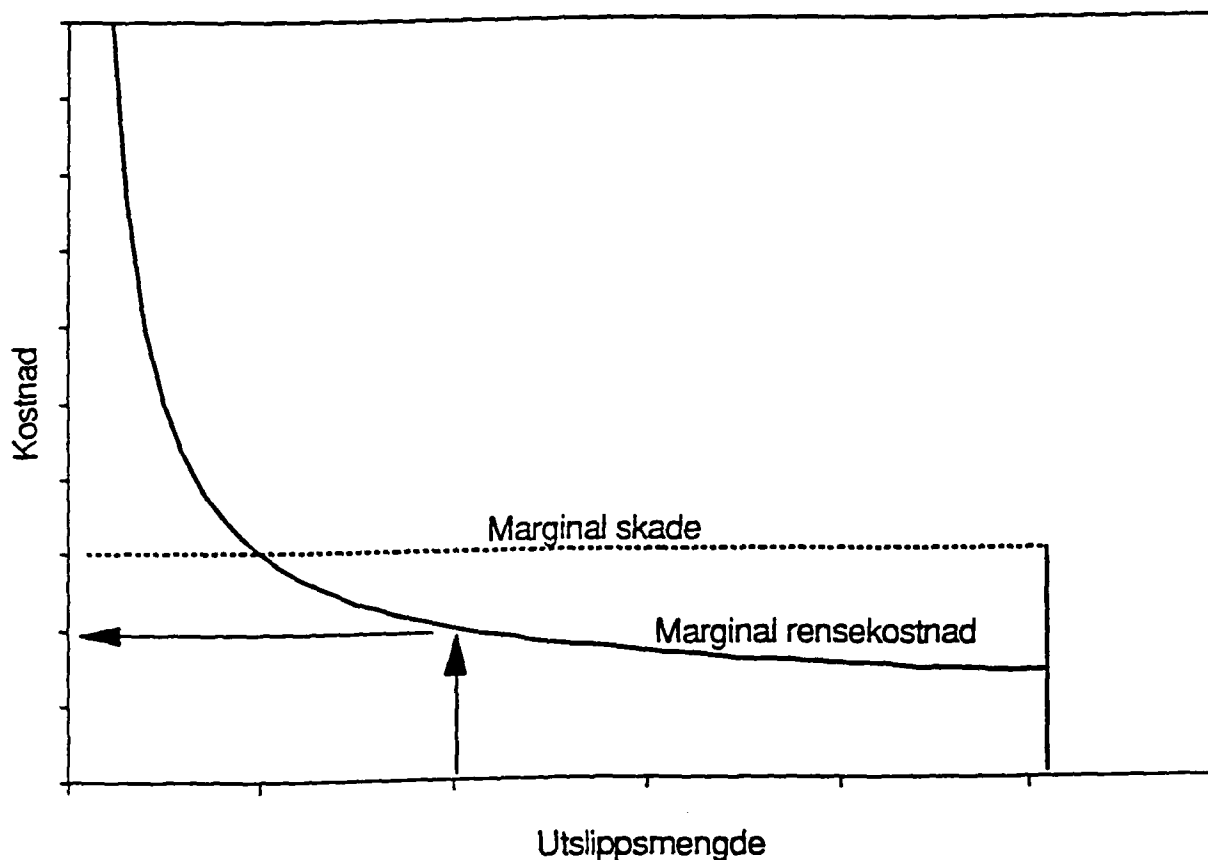
2.2.6. Sikkerhet

Det finnes heller ikke mange tiltak som kan innføres for å øke sikkerheten forbunden med bygging og drift av vindkraftverk. Dersom sikkerhetsregler under byggeperioden overholdes og sikkerhetsavstandene under drift overholdes, medfører imidlertid ikke vindkraft noen økt risiko utover det vi utsetter oss for ellers i samfunnet.

2.3 KOSTNAD FOR TILTAKENE

Kvantifisering av miljøulempere og kostnadsbestemmelse av tiltak for reduksjon av miljøulempere er i virkeligheten to helt separate regnestykker. Kostnaden for tiltak kan imidlertid brukes til å sette tall på miljøulempene. For å få dette til må imidlertid en viktig forutsetning gjøres; en må bestemme seg for hva som er akseptabel miljøulempe.

Er man enig om at utslippene fra et avfallsforbrenningsanlegg med elektrofilter er akseptabelt, regner en ut miljøulempene med avfallsforbrenning uten partikkelfilter ved hjelp av kostnaden for dette. Mener man at det også bør være våtvasking, regnes miljøulempene ut ved hjelp av kostnaden for begge anleggene. Poenget er at for å bestemme kostnaden med miljøulempere på denne måten, må akseptabelt utslippsnivå bestemmes først. Dersom miljøavgiftene bestemmes på denne måten, er det meningsløst å si at det er markedskreftene som bestemmer hva som er samfunnsøkonomisk riktig utslippsnivå.



Figur 2.9 Sammenhengen mellom rensekostnad, marginal skade og utslippsmengde

To parametere må bestemmes for å finne den tredje. Bestemmes rensekostnaden og akseptabel utslippsmengde kan kostnaden for skade finnes fra figuren der den stiplede linjen skjærer den heltrukne (følg pilene). Dersom rensekostnaden og kostnaden for skade bestemmes kan akseptabel skade finnes fra figuren. Hvis bare tiltakene kvantifiseres kan ikke kostnaden for skade fra en bestemt prosess bestemmes.

I dette kapittel er det tiltakene som kostnadsbestemmes og ikke miljøulempene. Det tas overhodet ikke stilling til hva som er akseptabelt utslippsniva. I forrige kapittel ble det gitt eksempler på tiltak for å løse en del av miljøulempene forbundet med vindkraft. Noen av tiltakene betyr i virkeligheten bare retningslinjer for planleggingsprosessen for fremtidige anlegg. Andre tiltak er meget omfattende sammenlignet med hvor små miljøulempene er med på å redusere.

I denne sammenhengen er det naturlig å starte med de tiltakene som er til bekjempelse av de største miljøulempene.

2.3.1 Visuell påvirkning

Større turbiner

Dersom en antar at utgangspunktet er optimal turbinstørrelse vil tillegget for å øke turbinstørrelsen være større enn null. Hvis vi ikke regner med noen dramatisk økning i størrelsen vil heller ikke kostnadene øke dramatisk. Et anslag blir da 0-5 øre/kWh.

I vindkraftbransjen er det hele tiden en diskusjon om hvilken turbinstørrelse som vil bli den mest økonomiske. Noen mener de helt store vil bli mest økonomiske, andre mener den mellomstore (300-750 kW) vil bli den optimale størrelsen.

I /21/ har vi imidlertid funnet en studie som går ut på å finne ulike parameteres innvirkning på kostnader for en vindturbin. Denne studien konkluderer med at for vindturbiner i størrelseorden 30-80 m diameter vil energikostnaden bli svært lik. Forutsetningen man har er naturligvis at alt er ferdig utviklet for de største turbinene. Dette betyr at dersom større turbiner må innføres av miljøårsaker før de er kommersielle vil ekstra kostnader måtte påregnes.

Offshore-plassering

Forholdene i norske farvann er svært forskjellig fra det vi finner i England. Vi tar allikevel med noen kostnadstall. I /20/ er det laget kostnadsoverslag for en stor offshore vindutbygging. Et av overslagen lyder på omlag 80 øre/kWh mot 40-50 øre/kWh på land.

En dansk offshore park under bygging antyder energikostnader på ca. 60 øre/kWh /22/. En annen dansk undersøkelse antyder 45 øre/kWh /23/. Endel av forskjellen mellom den engelske og de danske studiene er havdybden (ca. 20 m i England og 2-6 m i Danmark). Uten å glemme at forholdene i Norge er svært forskjellig fra England og Danmark kan vi si at offshore vindkraft gir 5-40 øre/kWh økte kostnader.

2.3.2 Støy

Det eneste som er funnet av kvantifisering av ulemper med støy er fra /27/ der verdireduksjon på eiendommer som følge av støy er vurdert. Resultatet av denne vurderingen er en ekstrakostnad forbundet med vindkraft på ca. 0,05 øre/kWh.

1. Økning av innkoblingshastigheten

En økning av innkoblingshastigheten vil medføre at en mister energi ved de lavere vindhastigheter. Dersom innkoblingshastigheten økes til omlag 8 m/s (fra ca. 4 1/2) vil støyen fra vindturbinene alltid maskeres av bakgrunnsstøy. Riktig innkoblingshastighet er naturligvis avhengig av størrelsen på bakgrunnsstøyen i området.

Det tapte energimengden er avhengig av middelvinden på det aktuelle stedet. Dersom vi setter innkoblingshastigheten lik 8 m/s vil ca. 32 % av energien gå tapt på et sted med middelvind 6 m/s. Tilsvarende for middelvind 7 m/s er 22 % og for 8 m/s 16 % (det gjøres oppmerksom på at vindhastigheten det her dreier seg om måles i turbinens navhøyde, ca 30 m.o.b.). Ved å ta utgangspunkt i en energikostnad på 40 øre/kWh og en middelvind på 7 m/s blir kostnaden for å redusere støyen med dette tiltaket 11 øre/kWh ($40 \cdot (100/78 - 1)$).

2. Økning av minsteavstander

Dersom en bestemmer seg for at regelen om maks 45 dB(A) ved nærmeste bebyggelse ikke er tilstrekkelig går det an å beregne tilleggskostnadene med å stramme inn kravet til 40 dB(A) (Nederlandske krav /7/).

Dette tiltaket vil ifølge egne beregninger gi en økt energikostnad på ca. 6 øre/kWh. Dette forutsetter at en har bygd ut de første ca. 500 turbinene (~ 500 kW). Se vedlegg 1.

3. Offshore plassering

Kapittel 2.3.1 gir eksempler på hva offshore vindkraft koster. Under danske og engelske forhold er ekstrakostnadene funnet å være 5-80 øre/kWh.

4. Øvrige tekniske tiltak for støybegrensning

De øvrige tiltak slik som nye vingeprofiler, variabelt turtall og bedre mekanikk er svært vanskelig å kostnadsbestemme. Dels fordi komponentene ikke er ferdig utviklet og dels fordi hovedgrunnen til nyutviklingen ikke er å redusere støy.

2.3.3 Forstyrrelse av fugleliv

Det beste tiltaket her er som nevnt å unngå spesielt følsomme steder. Dersom et aktuelt utplasseringssted med spesielt gode vindforhold også er hekkeplass for følsomme fuglearter, vil vindturbinene måtte flyttes til et sted med mindre gode vindforhold. Noe som igjen vil gi økte kostnader. Hvor stor økning er naturligvis avhengig av vindforholdene.

Et eksempel kan være at et vindkraftanlegg må flyttes fra et sted med meget gode vindforhold (middelvind 30 m.o.b. = 8 m/s) til et sted med gode vindforhold (middelvind 7 m/s). Dette vil øke energikostnaden med ca. 30 % eller omlag 12 øre/kWh. I USA gjøres det forsøk med å male bladene på turbinene på utsatte steder (turbinene i ytterkantene av en vindpark) med kontrast farger. Kostnadene for dette er minimale. Hvorvidt dette har noen effekt er for tidlig å si da det nettopp er satt i verk.

2.3.4 Elektromagnetisk kommunikasjon

Hvilke tiltak som bør settes i verk dersom et vindkraftanlegg skaper problemer med TV-mottaking er avhengig av hvor mange som har problemer. Dersom det er en person, utstyres han ganske enkelt med en parabolantenne til ca. kr. 10.000. Er det flere vil det være rimeligere med en slavesender eller liknende. I følge /17/ vil en liten ekstrasender i et slikt tilfelle kunne installeres for ca. kr. 250.000 (1979kr). Med den norske konsumprisindeksen blir det ca. kr. 600.000 i 1991 kr.

Hvor stor økning i energikostnaden dette gir, er igjen avhengig av hvor stort vindkraftanlegget er. Er det en turbin til 3 mill. eller en del av en stor park til 200 mill. Spennvidden ut fra dette blir 0,002-2 øre/kWh. Det siste tallet er beregnet ut fra at det ble satt opp en ekstra sender på grunn av problemene noen få turbiner gav.

2.3.5 Arealbruk

Utnyttelsen av arealene kan bedres ved å gå over til større turbiner. Kostnaden til dette er tidligere beregnet til å ligge i størrelsesorden 0-5 øre/kWh. Kostnaden for reduksjon av avstanden mellom turbinene i en park er avhengig av hvor en er på kurven for optimal turbinavstand, figur 2.8. Det som kjennetegner denne kurven for reduksjon av turbinavstand kan bestemmes innenfor et relativt lite intervall; 0-5 øre/kWh.

I tabell 2.2 er de ulike tiltak listet opp. Under kostnad er det satt opp øvre og nedre grense for tiltaket. Det er fortsatt viktig å huske på at det ikke sies noe om hvor stor ulempen er eller hvor stor del av ulempen tiltaket fjerner.

ULEMPE	TILTAK	KOSTNAD (ØRE/kWh)
Støy	Øke innkoblingshastigheten	10-12
	Innføre variabelt turtall	-
	Øke avstanden til hus	4-8
	Flytte turbinene offshore	5-40
	Innføre mindre støyende mekanikk	-
Visuell påvirkning	Flytte turbinene offshore	5-40
	Bedre innpasning i landskapet	0-1
	Mer informasjon til lokalbefolkningen i planperioden	-
	Øke turbinstørrelsen	0-5
	Øke avstanden til hus	4-8
Arealbruk	Øke turbinstørrelsen	0-5
	Minke avstanden mellom turbinene	0-5
Forstyrrelse av fugleliv	Unngå områder med spesielt sjeldne/følsomme arter	0-12
Elektromagnetisk kommunikasjon	Kabel TV Parabolantenner Slavesender Ekstra sender	0,002-2

Tabell 2.2: Opplisting av miljøkonsekvenser, tiltak og kostnader

2.4 SUBSTITUSJON AV KONVENSJONELLE ENERGIKILDER

Dersom vindkraft velges istedenfor en annen energikilde er det nettoeffektene som har betydning. Nettoeffekten er naturligvis avhengig av hva slags energikilde som substitueres.

Slik som situasjonen er i Norge nå (1991) er det vannkraft som er den mest aktuelle kilden å substituere. I noen fremtid er det mulig at det blir aktuelt å produsere el av andre energikilder enn vann, slik som f.eks. naturgass. I tillegg må det også vurderes om en øket el-produksjon kan brukes til å substituere annen energibruk i samfunnet, slik som f.eks. stasjonær oljefyring. Dersom miljøavgifter innføres eller stasjonær oljefyring av en annen grunn blir uønsket vil det være nødvendig å øke el-produksjonen vesentlig. Netto stasjonært forbruk av petroleums-

produkter er i størrelseorden 15-25 TWh/år /31/. Dette forbruket er større enn det norske vindkraftpotensialet. Et aktuelt miljøcase er derfor substitusjon av stasjonært oljeforbruk med vindkraft.

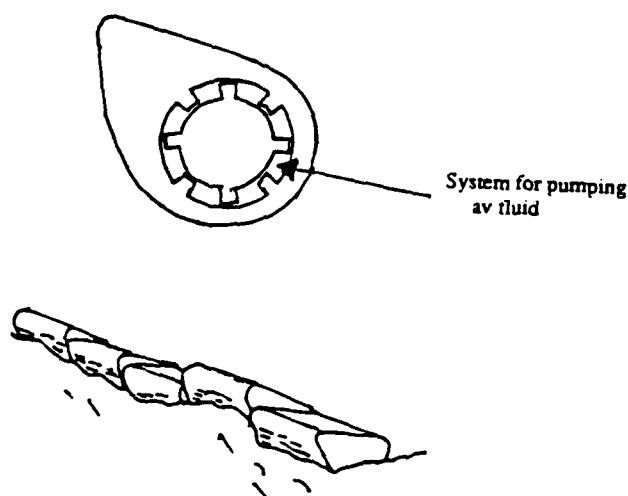
I eksemplet under er noen av miljøeffektene fra substitusjon av 1 TWh/år netto oljeforbruk illustrert. Oljekjelenes virkningsgrad er antatt lik 75 % og utslippstallene er fra /32/.

- CO₂ - NO_x - SO₂ - Arealbruk	- reduseres med <u>ca.</u> 360.000 tonn - reduseres med <u>ca.</u> 400 tonn - reduseres med <u>ca.</u> 1.000 tonn - vindparker på tilsammen 30-40 km² må etableres
- Endelige ressurser spares for senere generasjoner.	

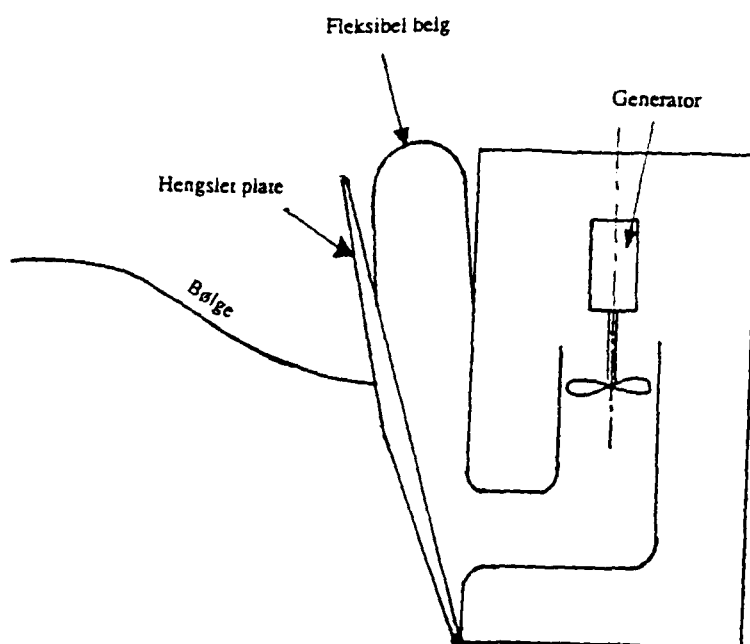
3. BØLGEKRAFT

Slik som vind- og vannkraft er bølgekraft en avledning av solenergi. Solen får luften til å bevege seg, og krefter mellom lufta og vannet setter vannet i bevegelse. Denne bevegelsen kan utnyttes til produksjon av elektrisk energi.

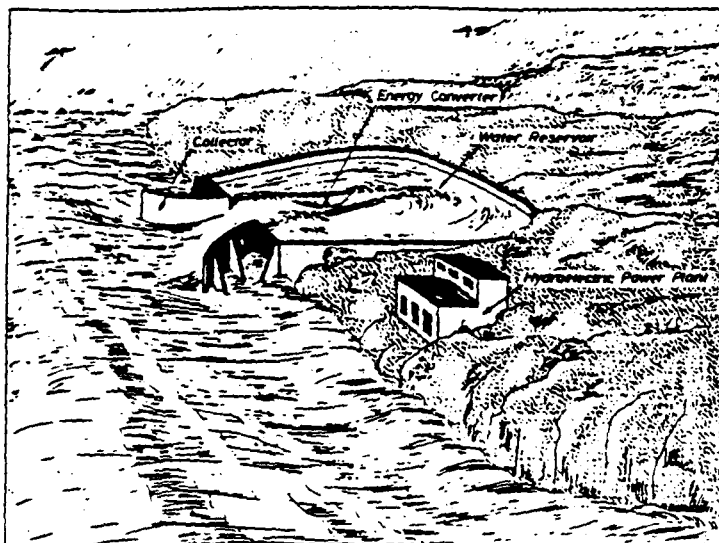
For å omdanne bevegelsene i havoverflaten til elektrisk energi behøver vi en form for mekanisk innretning. Opp igjennom tidene er det lansert en meget stor mengde med idéer for bølgekraftverk. Under følger en oppstilling av noen av mulighetene:



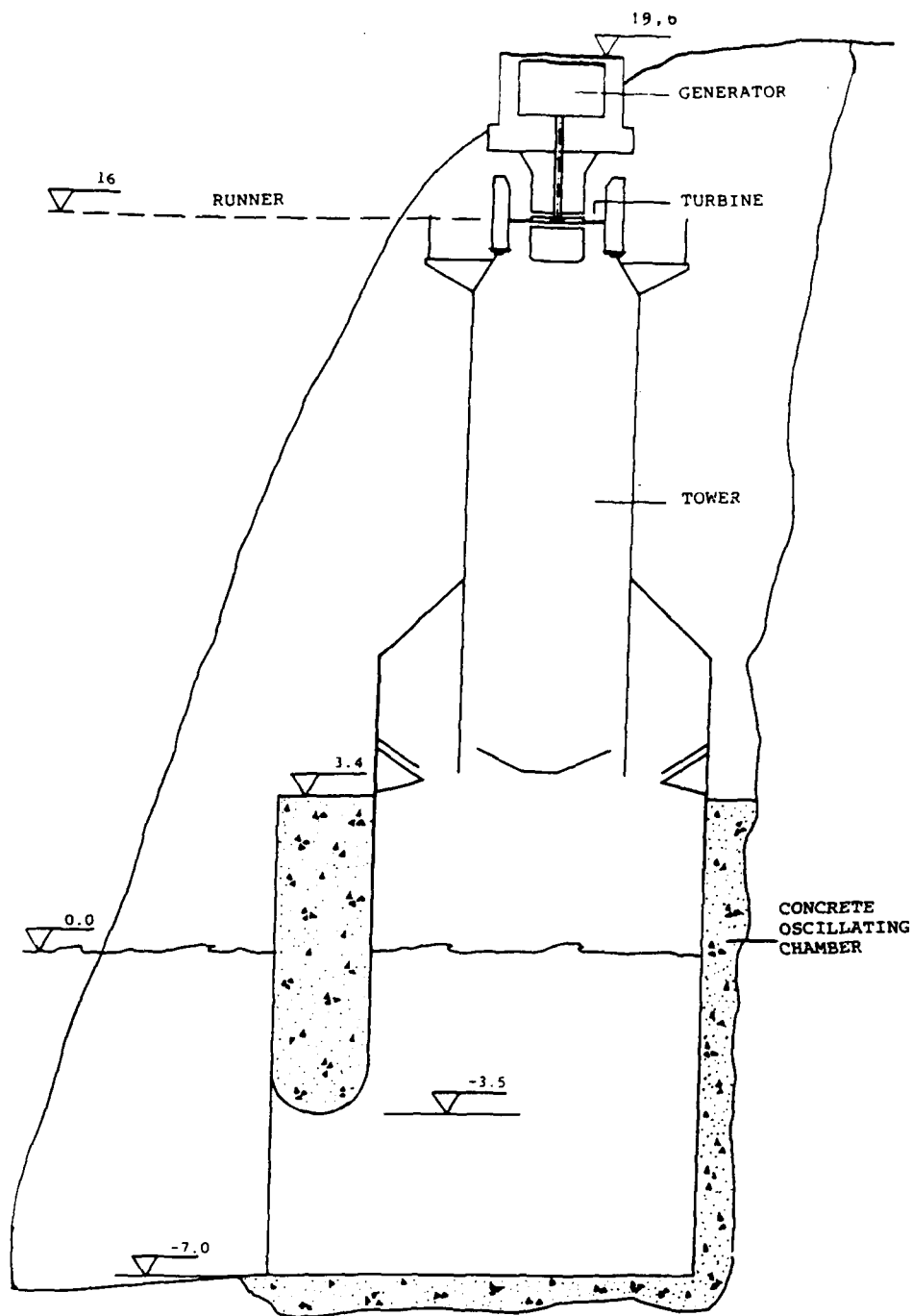
- flytende pontonger et stykke ut fra kysten, også kalt Nodding Duck



- systemer med fleksible belger



- kilerenne systemer



- svingende vannsøyle

Energiintensiteten i bølger på Norskekysten er i følge /39/ ca. 38 kW/m i årlig middelværdi. I følge /38/ vil et 10 km langt bølgekraftverk bestående av 410 kraftbøyer produsere ca. 420 GWh/år, som tilsvarer ca. 5 kW/m i middel. Disse siste tallene gir

ca. 42.000 kWh/(m · år).

For å produsere energi tilsvarende et vannkraftverk med 12 m fallhøyde i Glomma må en kyststrekning på mellom 5 og 10 km utnyttes.

Disse tallene betyr at utnyttelse av bølgekraft vil kunne medføre visse arealkonflikter spesielt hvis deler av anleggene plasseres på land. Arealkonfliktene begrenses imidlertid av at de kyststrekningene som egner seg for bølgekraft ikke vil være de mest attraktive til andre aktiviteter.

Dersom det istedenfor landplasserte velges offshore plasserte bølgekraftverk, vil disse bli utplassert i flere rekker delvis bak hverandre. En energiutnyttelse pr. overflateenhet kan derfor regnes ut.

I følge /38/ vil det være mulig å komme opp i 250 GWk/km², noe som er et høyt tall sammenliknet med sol og vind (se tabell 3.1).

Offshore plasserte bølgekraftverk	ca. 250 GWh/km
Termiske solfangerfelt med sesonglager	ca. 150 GWh/km
Vindparker	ca. 30-40 GWh/km

Tabell 3.1 Arealutnyttelse med nye fornybare energikilder.

Det er svært viktig å være klar over at det er forskjellige typer arealer det er snakk om, og at arealene ikke båndlegges 100 % i alle tilfellene. Et solfangerfelt vil ikke kunne brukes til noe annet, mens arealet mellom turbinene i en vindpark kan brukes til jordbruk, beitemark eller vei.

Av øvrige mulige miljøproblemer nevnes endrede erosjonsforhold på kystlinjen innenfor offshore plasserte kraftverk. Endringen vil sannsynligvis ikke bli så stor på grunn av at bølgekraftverkene ikke vil bli dimensjonert til å ta ut energi av de største bølgene. Mindre bølger mot strandlinjen vil kunne være av positiv betydning for enkelte aktiviteter, slik som f.eks. fritidsaktiviteter og fiskeoppdrett.

Slik som med vindkraft vil visuell påvirkning av landskapet kunne bli et problem med bølgekraft. I motsetning til vindkraftutnyttelse er den visuelle påvirkningen av landskapet sterkt teknologiavhengig ved bølgekraftutnyttelse, slik at for endel av teknologiene vil det være et lite problem (bølgekraftverk offshore).

Forstyrrelse av båttrafikk er et annet mulig problemområde. Bølgekraft vil imidlertid også gi fordeler for båttrafikken i form av roligere sjø på innsiden av kraftverkene. Kraftverkene vil også kunne bli utstyrt med lyssignaler og på den måten gjøre det lettere å bestemme posisjonen.

I /34/ antas det at konflikter med fiskeriinteresser vil oppstå. Problemene for fiskerne vil bestå i hindringer i fremkommelighet til/i fiskefeltene. Noen trussel for bestander er lite sannsynlig. Bølgekraftutnyttelse vil snarere gi mulige fristeder for enkelte fiskearter. I /24/ nevnes imidlertid mulige konflikter med fiskearter som oppholder seg mye nær havoverflaten (f.eks. sild).

4. SOLENERGI

For utnyttelse av solenergi er en rekke ulike teknikker mulig. De mest aktuelle for norske forhold er:

- passiv utnyttelse av solenergi for oppvarming av bygninger,
- aktive systemer for oppvarming av varmt tappevann og for romoppvarming. Slike systemer kan være sentrale med fjernvarmedistribusjon eller desentrale med solfanger på taket til forbrukeren,
- produksjon av elektrisitet med solceller. Dette er etablert teknologi på steder med svært høye kraftverdier. Foreløpig kan slik el-produksjon ikke konkurrere med konvensjonelle kilder.

Innenfor hver av disse områdene er det igjen et meget stort antall teknikker. Ulike solfangere, ulike lagersystemer, ulike distribusjonssystemer osv. Disse forskjellige teknikkene kan ha svært forskjellige miljømessige effekter.

Et forhold har alle teknikkene felles og det er energiintensiteten i kilden. På yttersiden av vår atmosfære er intensiteten i gjennomsnitt 1353 W/m^2 , mest om vinteren, minst om sommeren. På grunn av dag/natt, sommer/vinter, atmosfæren og vanlige skyer blir innstrålingen i Oslo redusert til ca. $950 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$ på en vannrett flate (sammenliknet med $(1353 \times 8760)/1000 = 11.850 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{år})$). Energiinnstrålingen øker til ca. 1200 kWh/m^2 dersom flaten ikke er vannrett, men vender mot syd med en vinkel på omlag 45° med horisontalplanet.

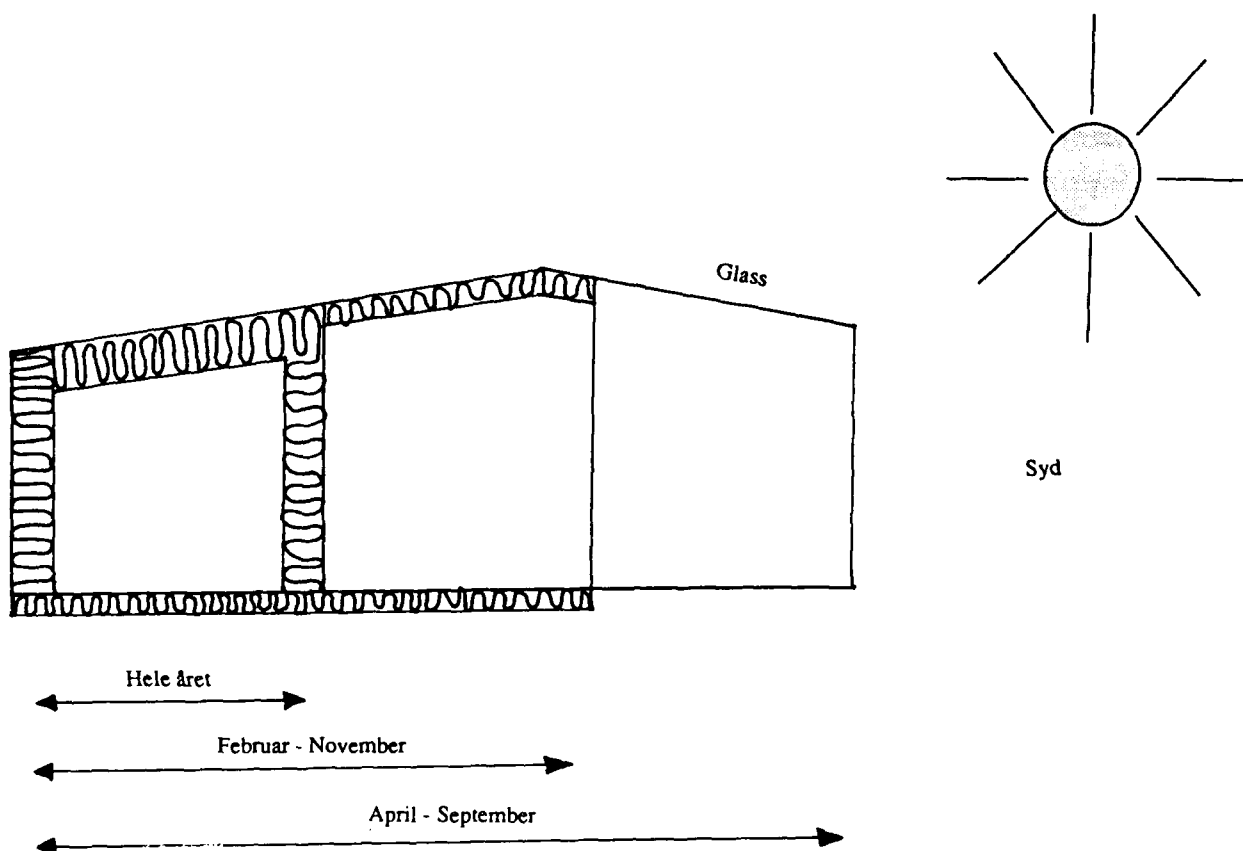
På grunn av at alle systemer har tap, vil den utnyttbare energien bli vesentlig mindre, 10-40% av det innstrålte vil være tilgjengelig. Dette betyr at dersom det er ønskelig å hente ut energimengder av betydning må store flater utnyttes. Fordelen med solenergi fremfor f.eks. vindkraft er at de energiabsorberende flater ikke behøver å synes, de kan f.eks. legges opp på tak eller integreres i tak på nye bygninger.

I sentrale anlegg for produksjon av fjernvarme eller elektrisitet vil arealutnyttelse være et problem. I planlagte svenske kjempeanlegg for fjernvarmeproduksjon er det beregnet at 360 kWh/m^2 solfanger kan utnyttes /29/. Dette forutsetter et stort sesonglager slik at deler av sommersolen kan utnyttes. Dersom en regner med at solfangerene må stå litt fra hverandre blir energiutbyttet pr. km^2 landareal omlag 150 GWh/år /30/.

4.1 PASSIV UTNYTTELSE AV SOLENERGI

For å nyttiggjøre seg energimengder av betydning, er det nødvendig å endre arkitekturen en del i forhold til det tradisjonelle. Det vil være nødvendig å ha en stor andel av vindusarealene i huset mot syd samtidig som huset må utformes slik at innstrålingen om sommeren ikke blir for stor. Slike bygninger vil kunne stikke seg kraftig ut i områder med tradisjonsrik arkitektur.

Bygninger med ulike klimasoner kan også medføre at det er nødvendig å legge litt om på levesettet, se figur 4.1.



Figur 4.1: Bygning for passiv utnyttelse av solenergi.

En bygning som får tilført deler av sitt energibidrag fra solvarme blir naturligvis følsom ovenfor beplantning i nærheten av bygningen. Dette kan bety restriksjoner på utseende til boligområder.

Øvrige miljøulemper vil ikke øke utnyttelse av passiv solvarme medføre.

4.2 AKTIVE SOLVARMESYSTEMER

Aktive solvarmesystemer vil kunne installeres på eksisterende bygningsmasse uten at arkitekturen eller utseende på huset forandres i særlig stor grad. Den eneste forskjellen er at takoverflaten vil kunne bli glattere og blankere. På hus med flatt eller svakt skrånede tak vil solfangerne måtte løftes opp fra taket for å motta en større andel vintersol.

Materialene i et aktivt solvarmesystem vil for det meste være vanlige bygningsmaterialer slik som glass, aluminium, tre, ulike isolasjonsmaterialer etc. I tillegg vil det i mange tilfeller være nødvendig med tilsetningsmaterialer til varmebæreren i systemet, f.eks. glykol. Isolasjonsmaterialet er i de fleste tilfeller mineralull som har få miljømessige ulemper.

Dersom det innføres et system av miljøavgifter vil disse isolasjonmaterialene bli dyrere slik at det for solenergianlegget ikke blir en kostnad å legge til.

Energiforbruket til produksjon av solfangere er i /37/ beregnet til å være omlag like stort som ett års innsamlet solenergi. Dette gjelder en type solfanger.

4.3 FOTOELEKTRISITET

Miljøeffektene ved bruk av solceller for el-produksjon kan stort sett sammenliknes med miljøeffektene ved bruk av aktive solvarmesystemer.

Den eneste forskjellen er miljøeffektene som kommer fra fremstillingen. Fremstillingsprosessen for de ulike typer solceller er svært ulike. Dagens kommersielle solceller er for det aller meste polykrystallinske eller monokrystallinske silisium celler. I fremtiden vil imidlertid ulike typer tynnfilmceller kunne konkurrere ut silisiumcellene. Under fremstillingen av disse vil det kunne bli nødvendig å ta i bruk svært giftige væsker og gasser (kadium og arsenikk) /28/. En del av kostnadene for denne risikoen må forutsettes å bli lagt til som en følge av sikkerhetskrav som blir pålagt produsenten.

Et ankepunkt mot solceller har vært at det forbrukes mer energi ved fremstillingen enn solcellen klarer å produsere i løpet av sin levetid. I følge /35/ trenger en monokrystallinsk silisiumcelle nå typisk 4 år på å produsere den samme energimengde som gikk med til produksjon av den.

I tillegg er det viktig å være klar over at batterier har et dårligere energiregnskap enn solceller /36/. Energiregnskapet for et batteri er noe kunstig da det ikke omformer en lavkvalitets- til en høykvalitetsenergikilde. I et typisk solcelleanlegg har det gått med mere energi til fremstillingen av batteriene enn til fremstilling av solcellene.

I /27/ er det satt tall på miljøulempene med et stort kraftverk basert på solceller. Det er tatt utgangspunkt i silisium celler, slik at ekstrakostnader forbundet med risiko under produksjonen ikke behøver å taes med. Det som det da er tatt med ekstra kostnader for er faren for ulykker forbundet med vedlikehold av desentrale installasjoner (faren for å falle ned fra tak) og redusert verdi på landarealet. For sistnevnte er det tatt med en ekstrakostnad på 10 % av verdien på arealet. Ekstrakostnader for solcelleprodusert strøm blir da i følge /27/:

- | | |
|---|---------------|
| - risiko ved vedlikehold av desentrale anlegg (på tak): | 0,003 øre/kWh |
| - redusert verdi på landareal (sentrale anlegg): | 4 øre/kWh. |

Dersom en antar at halvparten av anleggene er sentrale og halvparten er desentrale blir tillegget på ca. 2 øre/kWh.

5. KONKLUSJON

Utnyttelse av vindkraft medfører ingen vesentlige utslipp til jord, luft eller vann. Det eneste som kan karakteriseres som utslipp er den støyen som vindturbinen genererer. Dersom avstanden til turbinene er stor nok (ca. 150-500 m avhengig av type, størrelse og antall) er det ikke noe problem å overholde krav som settes til generell industristøy.

Den antatt største ulempen med vindkraftutnyttelse kommer av energikildens lave energiintensitet. Det medfører at store arealer må stilles opp mot vinden. Av den grunn vil vindkraftverk aldri klare å unngå og bli et synlig inngrep i landskapet.

Særlig for omlag ti år siden var det frykt for at fugler skulle kollidere med vindturbiner og dø i stort antall. Til nå er det ikke rapportert om vesentlige problemer med kollisjon mellom fugler og vindturbiner. Men problemet følges fortsatt nøye flere steder i verden.

Forstyrrelse av TV og annen elektromagnetisk kommunikasjon har også vært et problemområde i diskusjonen. Det har ikke blitt et stort problem, og dersom problemer skulle oppstå finnes det flere rimelige tiltak.

Det siste problemområdet er arealutnyttelse. Storstilt utnyttelse av vindkraft vil kreve et stort antall turbiner som må spres utover. Arealet mellom turbinene vil kunne brukes til endel andre formål bortsett fra der hvor adkomstveiene må ligge.

En rekke tiltak finnes for å minske noen av de miljøproblemene vindkraft medfører. Rapporten gir ikke noe svar på hvor mange tiltak som må innføres for å komme ned på akseptabelt utslippsnivå. For flere av problemområdene er ulempene allerede så små at ekstra tiltak vil redusere bagateller.

For å komme frem til en kostnad for miljøulempen ved hjelp av kostnad for tiltak må akseptabelt utslippsnivå bestemmes.

Dersom det blir innført et system med miljøavgifter som tilsvarer kostnaden for miljøulempene er det likevel ingen selvfølge at samfunnet instiller seg på kostnadsoptimalt utslippsnivå. Hovedårsaken til det er at for den enkelte aktør vil valget stå mellom å gjøre en investering for å redusere sine utslipp eller å betale miljøavgiftene. Vurderinger som økonomisk risiko og akseptabel tilbakebetalingstid vil da komme inn i bildet. Det som vil skje er at de fleste aktører vil betale mye mer miljøavgifter enn det som er samfunnsøkonomisk optimalt. Problemet er velkjent for den som arbeider med energiøkonomisering; det er nettopp derfor de har et arbeid.

6. LITTERATUR

Litteraturen som er brukt i dette prosjektet er fremskaffet på flere ulike måter:

- Litteratursøk hos den amerikanske databaseverten DIALOG i databasen "Energy science and technology" med søkeordene Wind power, solar energy, environmental impacts og environmental effects på følgende måte. Søkeordene ble kombinert på følgende måte:

- (solar energy or wind power) and (environmental impacts or environmental effects).

I tillegg ble det lagt begrensninger på alder, bare litteratur eller 1980 ble akseptert. Resultatet av søket ble 61 referanser hvorav 8 stk ble anskaffet.

- litteratursøk i instituttets egen database. Resultatet her var heller beskjedent bortsett fra komplett konferanse proceedings.
 - manuelle søk i avdelingens egne og ovennevnte proceedings. En stor del av den litteraturen kommer herfra.
 - diverse bøker, tidsskrifter og rapporter anskaffet på ulike måter.
1. Thayer, Robert L., The aesthetics of wind energy in the United States: Case studies in public perception. ECWEC 88.
 2. Wolsind, M og van de Wardt, J.W., Visual impact assessment; a review of dutch research. EWEC 89.
 3. Berkhuizen, J.C. og Slob, A.F.L., the impact of environmental aspects on wind energy in the Netherlands, Wind energy and the environment/Ed. by D.T. Swiff-Hook 1989, London.
 4. Statens energiverk, Riskstudie-AIB, Karlegging av eventuelle skaderiskmoment forbundna med tilførslet baserad på torv, skogsenergi, vind och kol, Prosjekt-rapport TFS-84/6.
 5. Clarc, A., How green is the wind? New Scientist May 27, 1989.
 6. Miller, J.S., Environmental assessment of wind turbine generator project, Susetter Hill, Shetland, BWEA 1987.
 7. de Bruyne, R., Wind energy and the environment, EWEC 1989.
 8. Bosley, P. og Bosley, K., A multifaced study: environmental issues impacting on wind energy developments, ECWEC 1990.
 9. Hohmeyer, Olav H., Macroeconomic impact of wind energy, ECWEC 1988.

10. Hohmeyer, Olav H., Latest results of the international discussion on the social costs of energy - how does wind compare today ?, ECWEC 1990.
11. Berg, E. og Jørgensen, K., Vindkraftutbygging og landskap, AS-NLH 1980.
13. Nordel, Miljø og Produksjonsutvalget, Miljøforhold ved vindkraft, Elkraft, Miljø og myndighetsafdelingen, Lautruphøj 5, 2750 Ballerup, Danmark, desember 1990.
14. Lee, T.R., Wren, B.A. og Hickman, M.E., Public responses to the siting and operation of wind turbines, EWEC 1989.
15. Bell et al, Environmental constants on the UK wind energy resource, EWEC 1989.
16. Wolsink, M., The siting problem: Wind power as a social dilemma, ECWEC 1990.
17. Tegta, U., TV-interferensmätningar vid försöksaggregatet för vindkraft i Kalkugnen, TELE 3/80.
18. Lubbers, F., Research program concerning the social and environmental aspects related to the windfarm project of the dutch electricity generating board, ECWEC 1988.
19. Harrison, L., Power lines a greater danger, Windpower monthly July 1991.
20. Simpson, P.B., et al., A re-appraisal of the Cost of UK Offshore Wind Energy, BWEA Wind Energy Conference 1991.
21. Jenkins, G. et al., Study on the next generation of large wind turbines, ECWEC 1990.
22. Jerspersen, K. Dyre, The first offshore wind farm in the danish wind power programme, ECWEC 1990.
23. Jensen, S.A., Implementation of offshore wind power plant, ECWEC 1990.
24. Shaw, R., Wave energy - a design challenge, Ellis Horwood Publishers 1982.
25. Kværner Brugs Multiresonant Oscillating Water Column, 1985.
26. Jarlseth, T. et al., Klimarelaterte problemstillinger og energisektoren, NVE-E-2/1990.
27. Hohmeyer, Olav H., Social Costs of Energy Consumption, Springer Verlag 1988.
28. The OECD Compass project, Environmental impacts of Renewable energy, 1988.

29. Jilar, T., The Sun-town project - Sedish plans for the biggest seasonal storage plant in the world, Advances in solar Energy technology, Hamburg 1987.
30. Dalenbäck, J.O., Design and rating of large scale solar heating, North Sun 1988.
31. NVE, Energi i Norge, Folder utgitt i 1989.
32. Energifakta nr. 6/1989, Luftforurensninger ved forbrenning.
33. IFE, Oppdatering av vindkraftpotensialet i Norge, IFE/KR/F-90/131.
34. Falnes, J. og Løvseth, J. Ocean wave energy, ENERGY POLICY, Vol. 19 number 8, October 1991.
35. Martinelli, G., The Technology Issue of Photovoltaics, WREC-90, Vol. 1, p. 221-226.
36. Sandgren, J., Veritas Miljøplan A/S, Personlig meddelelse (1991).
37. Svendsen, T, m.fl., Miljøkonsekvenser av ny energiteknik, byggforskningsrådet.
38. Prof. Falnes, JI, Personlige meddelelse.
39. Claeson, L, m.fl., Energi från havets vågor, Energiforskningsnämnden EFn-rapport nr. 21 1987.

7. VEDLEGG

Vedlegg 1:

Tiltak: Øke minsteavstander for å redusere støyproblemer

Reduksjon fra 45 dB(A) til 40 dB(A).

Middels stor park 25 turbiner NTK 300/31

Minsteavstanden må økes med ca. 2-300 m. Dette medfører økte kostnader til:

- A - veibygging
- B - mindre parker - mindre rasjonelt
- C - ved stor utbygging - mindre gode steder må tas i bruk på et tidligere stadium
- D - mindre rasjonell linjebygging
25 turbiner x 700 MWh = 17,5 GWh.

A: $300 \text{ m} \times 700 \text{ kr/m} = 210.000$ - Kaptial kost $210.000 \cdot 0,085 \sim 18.000 \Rightarrow 0,1 \text{ øre/kWh}$

B: Anslår 20 % økning i driftsomkostningene - 1 øre/kWh

C: 25 turbiner 220 m deling 250 sone - $1,96 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

25 turbiner 220 m deling 500 sone - $3,61 \cdot 10^6 \text{ m}^2$

Figur 4.4, i potensialrapport /33/ gir $\sim 3 \text{ øre/kWh}$ (regner at energiskalaen på fig. ganges med 2).

D. Figur 4.4 i potensialrapport viser ca. 10 øre/kWh. Antar at dette blir 2 øre/kWh dyrere.

DEL II
BIOENERGI

FORORD

Dette rapporten er en del av prosjektet "Kvantifisering av miljøulempen ved ulike energiteknologier" bestilt av Norges Vassdrags og Energiverk. Stipendiat Johnny S. Y. Valen har vært hovedforfatter. Professor Anders Lunnan og stipendiat Per Kristian Rørstad har bidratt med enkelte avsnitt i avslutningsfasen mens Johnny var i Berkeley. Vi takker Arne Carlsen og Olav Risholt i NVE for kommentarer til et tidligere utkast. Videre har vi hatt god nytte av kommentarer fra Olav Gislerud, Knut J. Moen og Arnold Martinsen.

Takk til alle.

Ås-NLH / Berkeley desember 1991



Anders Lunnan / Johnny S. Y. Valen

INNHold

FORORD	i
INNHold	ii
TABELLER OG FIGURER	iii
FORKLARINGER	iv
DEFINISJONER	vi
SAMMENDRAG	vii
1. INNLEDNING	1
1.1 Oversikt	1
1.2 Problemstilling	2
2. BIOENERGI I NORGE	4
2.1 Energisektoren	4
2.2 Energi- og miljøpolitikk	4
2.3 Forbruk av og potensiale for bioenergi	5
3. VERDSETTING AV MILJØKONSEKVENSER - TEORI OG METODE	7
4. BIOENERGISYSTEMER, TEKNOLOGI, ØKONOMI OG MILJØKONSEKVENSER	11
4.1 Biprodukter fra treforedling og sagbruk	12
4.2 Skogsflis	13
4.3 Ved	14
4.4 Energiskog	15
4.5 Energivekster	16
4.6 Jordbruksavfall	17
4.7 Husdyrgjødsel	17
4.8 Avfall, deponigass og slam	18
4.9 Oppsummering	20

5. DISKUSJON - MILJØKONSEKVENSER OG TILTAK	21
5.1 Virkningsgrad, forbrenningsteknikk og utslipp	21
5.2 Areal- og landskapsendringer	21
5.3 CO2-utslipp og klimaeffekter	22
5.4 Tiltak for forbedring av teknologi og energiøkonomisering	22
6. LITTERATUR SITERT OG KONSULTERT	24

TABELLER OG FIGURER

TABELLER

Tabell 1. Potensiale for bioenergiutnyttelse i år 2000 i TWh/år	6
Tabell 2 Oppsummering av miljøkonsekvenser	20

FIGURER

Figur 1. Overgang fra tradisjonell kraft til alternativ energi over tid	8
Figur 2. Heckscher-Salter diagram for tilbud av bioenergi	9
Figur 3. Tilbudskurver for eksisterende energi og 'ny' bioenergi..	10

FORKLARINGER

FORKORTELSER¹

FAB	Foredlede avfallsbriketter
fm ³	Fastkubikkmeter om trevirke
GWh	Gigawattimer (10 ⁹ Watt/time)
MJ	Megajoule (10 ⁶ Joule)
MWh	Megawatttimer (10 ⁶ Watt/time)
NLH	Norges Landbrukshøgskole
Nm ³	Normalkubikkmeter om gass ved standard temperatur og trykk
PJ	Petajoule (10 ¹⁵ Joule)
Sm ³	Standardkubikkmeter (om gass)
TJ	Terajoule (10 ¹² Joule)
TS	Tørsubstans
TWh	Terawattimer (10 ¹² Watt/time)

OMREGNINGSFAKTORER²

	PJ	TWh	Mtoe (olje)
PJ	1	0,278	0,024
TWh	3,60	1	0,085
Mtoe	42,3	11,8	1

¹SI-enheter er fortrinnsvis brukt og ikke nødvendigvis nærmere definert.

²Kilde: SSB 1991.

ENERGIINNHold OG VIRKNINGSGRADER

Energibærer	Teoretisk	Enhet	Virkningsgrader			Tetthet
	energiinnhold		Industri	Transport	Annet	
Kull	28,1	TJ/ktonn	0,80	0,10	0,60	-
Ved	8,4	TJ/kfm ³	0,65	-	0,65	0,5 tonn/fm ³
Avlut (TS)	12,6-15,5	TJ/ktonn	-	-	-	-
Treavfall (tørt)	15,0-18,5	TJ/ktonn	-	-	-	-
Råolje	42,3	TJ/ktonn	-	-	-	0,85 tonn/m ³
Naturgass	40,6	TJ/MSm ³	-	-	-	0,77-1,07 SM ³
LPG	46,0	TJ/ktonn	0,95	-	-	0,53 tonn/m ³
Bensin	44,0	TJ/ktonn	0,20	0,20	0,20	0,74 tonn/m ³
Parafin	42,7	TJ/ktonn	0,80	0,30	0,75	0,79 tonn/m ³
Diesel, fyr.olje 1,2	42,3	TJ/ktonn	0,80	0,30	0,70	0,83 tonn/m ³
Tungolje	41,9	TJ/ktonn	0,90	0,30	0,75	0,95 tonn/m ³
Elektrisitet	3,6	TJ/GWh	1,00	0,95	1,00	-

DEFINISJONER

Bioenergi	Energi produsert på grunnlag av biomasse slik den er definert over, samt fra avfall av organisk natur. Statistisk sentralbyrå klassifiserer bioenergi som solenergi, en fornybar energikilde (SSB, 1988)
Biomasse	Total tørr organisk masse eller lagret energiinnhold i levende organismer som er til stede i en definert enhet (økosystem, avling etc.) på Jordens overflate (CDIAC, 1990).
Energibærer	Medium som kan forbrennes eller omformes på annen måte slik at energi overføres (eller lagres) gjennom dette frem til sluttbruk som termisk eller elektrisk energi.
Grønnflis	Flis produsert av rå ved direkte i skogen.
Priser	Priser som ikke er nærmere angitt med basisår er å betrakte som 1990 kroner. Oversatte priser er omregnet til dagens kurs og er derfor ikke nødvendigvis slik de var i beregningsøyeblikket.
Skogsflis	Flis produsert fra virke ved skogproduksjon
Termisk energi	Generering av termisk energi ved forbrenning av biomasse fordrer at det eksisterer eller bygges ut et nett for distribusjon av fjernvarme, enten lokalt (bygning, bydel, etc.) eller regionalt.

SAMMENDRAG

Denner rapporten er en studie over undersøkelser av miljøkonsekvenser ved bruk av biobrensel til energiformål. Materialet er hovedsaklig ulike tekniske undersøkelser og rapporter. Hovedformålet, verdsetting av miljøkostnader, har det vist seg vanskelig å fremskaffe data omkring. Hva dette skyldes kan man spekulere over, men det er utført svært få empiriske undersøkelser, også internasjonalt. Bioenergi representerer rundt 4% av energiforbruket i Norge og er således et marginalt marked, men potensialet er langt større. Mye av biobrenselråstoffet er avfallsprodukter fra industrielle prosesser og husholdninger, slik at deponi og utslipp allerede representerer en miljøkostnad for samfunnet. En reduksjon i denne kostnaden bør således trekkes fra produksjonskostnaden ved energiproduksjon fra det samme råstoffet, slik at vi har samfunnsøkonomisk råd til å bruke dette til en høyere pris enn det en privatøkonomisk investeringskalkyle tilsier. Bruk av bioenergi kan også ha regelrette miljøkostnader som for eksempel utslipp av PAH, sot, CO, CH₄, CO₂, NO_x, etc. Disse bør legges til den privatøkonomiske energikostnaden. Det er nettovirkningen av disse effektene som bør legges til grunn for alle sammenligninger med eksisterende energi, men denne må også korrigeres i pris for miljøkostnader.

Det teoretiske metodegrunnlaget for analysen bygger på en mikroøkonomisk modell hvor tilbudet av "tradisjonell" kraft er perfekt elastisk siden bioenergiandelen er marginal og pristaker i markedet, mens økt tilbud av bioenergi skjer med økende marginalkostnad. Den optimale tilpasningen i markedet finnes da der hvor marginalkostnaden for bionergiproduksjon er lik marginal/gjennomsnittskostnaden for tradisjonell kraft (de er like ettersom tilbudskurven er horisontal). Ved å ta hensyn til miljøkostnader som ikke er beregnet i prisen på energi vil disse kurvene skiftes vertikalt (i pris) og optimaltilpasningen forskyves horisontalt (i kvantitet). Dersom miljøulempene ved økt bruk av tradisjonell kraft er større enn miljøulempene ved bruk av bioenergi, vil endringen i tilpasningen skje ved økt tilbud av bioenergi og redusert tilbud av tradisjonell kraft dersom ikke andre faktorer endres.

Det er store problemer rundt kvantifisering av miljøkonsekvensene ved bioenergi-investeringer, dels fordi en mangler data og dels fordi de fleste av konsekvensene avhenger av lokale forhold. Bioenergi vil substituere fossilt brensel, dette er en global miljøkonsekvens. Størrelsesordenen på de karbonavgiftene som nå er innført indikerer at myndighetene minst verdsetter dette til 4 øre/kwh. Det kan argumenteres for at verdien må være høyere, men vi har ingen faglige holdepunkter for å fastsette en verdi.

Effekter av luftforurensning kan verdsettes ved å bruke samme opplegg som SFT brukte i sin Osloundersøkelse. Vi finner imidlertid disse anslagene vanskelig å konkretisere tilstrekkelig til å bruke til sammenligning her, men det mulig å arbeide videre etter dette om det skulle være ønskelig. Et problem her er at effektene av utslippene vil variere mye med lokale forhold som topografi, vegetasjon, klima og befolkningstetthet. Andre miljøkonsekvenser av bioenergiteknologier vil vi bedømme til å være mindre enn virkningene av luftforurensning. En oppsummering av de ulike effektene er gjort i en tabell i kapittel 4. For flere bioenergiteknologier er det sannsynliggjort at summen av miljøkonsekvenser er positive, slik at en heller bør snakke om miljøfordeler enn miljøulemper.

Kort summert kan vi si at bedret virkningsgrad og teknologi kan radikalt bedre miljøeffektene ved bruk av en del bioenergikilder. Et typisk eksempel er vedovner, hvor katalysator og sekundærforbrenningsovn har betydelig potensiale for å både øke virkningsgraden slik at både råstoffkostnadene og utslippene til luft reduseres radikalt, og avfall hvor det stadig blir introdusert bedre teknologier for å redusere utslipp og øke virkningsgraden.

1. INNLEDNING

1.1 OVERSIKT

Innholdet i denne rapporten er en litteraturstudie over miljøkonsekvenser ved bioenergi-
bruk. Studien omfatter biobrensler for energiproduksjon i ganske vid forstand. I det følgende
er bioenergiråstoffene delt inn i ti grupper:

1. Biprodukter fra treforedling og sagbruk	Bark, flis og avlut fra cellulosekoking
2. Skogsflis	Grønnflis som biprodukt ved virkesproduksjon
3. Ved	Ved til brensel i husholdninger
4. Energiskog	Trær dyrket primært for energiproduksjon, korte omløpstider og mekanisert høsting
5. Energivekster	Produksjon av årlige vekster primært for energiproduksjon, mekanisert høsting
6. Jordbruksavfall	Avfall fra tradisjonell jordbruksdrift, for eksempel halm, som kan brennes til energiproduksjon
7. Husdyrgjødsel	Gjødsel som gjæres til metan eller komposteres og kompostvarmen utnyttes til energiformål.
8. Deponigass	Metangass utvunnet fra søppeldeponier
9. Avfall	Husholdnings- og industriavfall av biologisk opprinnelse som kan forbrennes eller avgi deponigass
10. Slam	Behandlet kloakkslam til oksydasjon og metanproduksjon eller forbrenning

For hver av disse er ulike anslag for miljøkonsekvenser forsøkt sammenlignet i den grad
det finnes undersøkelser som refererer til disse.

Energi fra bioenergiråstoff kan fremstilles på flere måter, primært som termisk eller elek-
trisk energi. For fremstilling av termisk energi benyttes enten forbrenning eller våtkom-
postering. Det kan også fremstilles drivstoffer for motorer fra biomasse, noe som også

betraktes som termisk energi. For elektrisk energi benyttes gjerne forbrenning som varmer damp til drift av turbiner, men biogass og flytende brensler kan også drive motorer som genererer elektrisk strøm ved hjelp av aggregater.

Siden alle resultatene er hentet fra ulike undersøkelser med ulike metoder og motiver for undersøkelsene, er det ikke rimelig å trekke altfor bastante konklusjoner av resultatene.

1.2 PROBLEMSTILLING

Kvantifisering av miljøulempen ved energiproduksjon omfatter flere aspekter. Det første er de fysiske størrelser slik som mengde CO₂, aske, tungmetaller etc. som blir sluppet ut, eller hvor store jordbruksarealer som endrer karakter ved dyrking av trevekster i stedet for korn e.l. Disse kan gjerne tallfestes i tonn eller hektar osv, men for å finne ut hva de samfunnsmessige konsekvensene er må vi forsøke å anslå pengeverdien av miljøkonsekvensene. Dette skaper tekniske problemer for hvordan verdien av utslipp og landskapsendringer skal verdsettes, men det er teknikker som er i stadig utvikling. Videre gir verdsetting en unik mulighet til å vektlegge verdier i dag ulikt med verdier ved andre tidspunkter ved å diskontere verdistrømmene.

Dette er betydelige problemer omkring verdsetting av miljøulempen ved energiproduksjon. Det finnes ikke markeder for de ulike ulempene kraftproduksjonen representerer, og det kan være vanskelig å fastslå forbrukeres betalingsvillighet for å unngå miljøulempen eller for å få en renere kraftproduksjon når ulempene ikke direkte påvirker forbrukerne.

Hva som er miljøulempen ved energiproduksjon er nødvendigvis ikke det samme for alle grupper i samfunnet. Forholdet mellom uberørt natur og utbygde kraftmagasiner oppfattes ulikt. Noen konsekvenser ved energiproduksjon angår private goder som kan prises i et marked, mens andre angår ulike typer offentlige goder som ikke omsettes i et marked og hvor konsekvenser oppfattes ulikt. Et forsøk på å verdsette konsekvenser av utnyttelse av bioenergi vil nødvendigvis måtte ta hensyn til grupper i konflikt som har ulik betalingsvillighet. Denne rapporten forsøker å belyse hvilke mulige miljøkonsekvenser som foreligger og i særdeleshet de ulemper som kan påregnes. I dette tilfelle er dette gjort ved å sammenstille resultater fra en rekke ulike undersøkelser og således inneholder ikke prosjektet originale empiriske undersøkelser.

Viktige forhold for kvantifisering av ulemper er valg av alternativer og hvor mye eventuelle ulemper kan reduseres ved å substituere mellom energiformer. Således kan bioenergi bidra til bedret miljø ved å substituere mer forurensende energiråstoffer som kull og naturgass, mens det i en del tilfeller vil forurense mer enn vannkraft. Faktorer som reduksjon av deponibehov

og endring av CO₂ og CH₄-utslipp må dessuten tas med. Ved å legge miljøkostnadene til eksisterende energikostnader kan vi finne riktige priser for å sammenligne kraftkilder. Dette er priser som den enkelte kraftkonsument ikke kan observere når han/hun gjør sin beslutning om hvilken kraft han/hun skal velge. Det er i slike tilfelle det offentlige har anledning til å bruke sine styringsverktøy for å kunne oppnå et miljøoptimalt energiforbruk.

Denne rapporten forsøker å referere kjente arbeid som gir tall for både fysiske og monetære konsekvenser ved bruk av bioenergi. I den grad de refererte undersøkelsene kvantifiserer miljøulempen, bør de ikke ukritisk sammenlignes ettersom forutsetningene for beregningene ikke er like.

2. BIOENERGI I NORGE

2.1 ENERGISEKTOREN

I 1986 ble det utvunnet 4.900 PJ energi i Norge hvorav 3.127 PJ råolje, 1.292 PJ naturgass, 44 PJ petroleumsprodukter, 427 PJ elektrisitet og 10 PJ kull. 3.738 PJ av dette ble eksportert. Bioenergi er ikke kommet med på statistikken (SSB, 1990) over uttak av energivarer, men er påført som registrert bruk utenom energisektorene med 34 PJ hvorav 19 PJ leveres til husholdninger som ved etc. Dette tilsvarer 9,45 TWh brutto, mens Lunnan et al. (1990) anslår bioenergiforbruket til 4,6 TWh netto. Av det totale energiforbruket representerer således bioenergi 2,8% og mer enn 90% av dette er varmeenergi. En viktig konklusjon å trekke på grunnlag av dette er at bioenergi uansett satsing vil være en marginal kraftkilde i Norge. Det innebærer at et økt tilbud av bioenergi ikke vil ha noen vesentlig innflytelse på kraftpriser i det norske kraftmarkedet.

SSB (1988) anslår biomassereservene til 64 PJ, eller 230 TWh, hvorav ca. 70% er trevirke. SSB gir ikke anslag for hvor mye biomasse som kan høstes årlig ettersom biomasse (i alle fall trevirke og jorbruksplanter) er en fornybar energikilde. Lunnan et al. (1990) anslår at den årlige bioenergiproduksjonen som kan utnyttes vil kunne være 17 TWh, eller 13,5 TWh til mindre enn 50 øre/kWh.

2.2 ENERGI- OG MILJØPOLITIKK

Formålet om en bærekraftig utvikling er fremsatt som en følge av Brundtland-kommisjonens rapport "Vår felles framtid" (WCED, 1987) og dette danner grunnlaget for de forslag som er fremkommet av stortingsmelding nr. 46, miljø og utvikling (Miljøverndepartementet, 1989).

Målsetningene om reduserte utslipp av CO₂, NO_x og SO₂ kan ha stor betydning for fremtidig energiforsyning. Reduksjoner av CO₂ utslipp vil i særlig grad kunne påvirke etterspørselen etter gasskraft dersom Norge inngår bindende avtaler om utslippsreduksjoner. Krav til NO_x reduksjoner vil påvirke transportsektoren, og krav til SO₂ reduksjoner kan gi Norge økt potensiale for eksport av kraft til land hvor svovelutslippene ved energiproduksjon er betydelige, som for eksempel Polen, Storbritannia, Tyskland eller Tsjekkoslovakia. Med andre ord er de samlede effektene på etterspørselen etter vann- og gasskraft vanskelig å forutse. Preiseffekten av internasjonale utslippsavtaler vil kunne være betydelig, mens fremtidige olje-

priser er usikre. Samlet vil selvsagt prisøkninger påvirke lønnsomheten ved bioenergi-investeringer og således i hvilken grad en satsing er realistisk.

I følge Stortingsmelding 38, 1986-87 (Miljøverndepartementet, 1987) er målsetningene for ENØK-tiltak i Norge å redusere energitapet i kraftforsyningen dersom det er kostnadseffektivt, substitusjon fra dyr til billig energi og overgang fra høyverdig til lavverdig energi. Alle disse kan imøtekommes med en aktiv strategi for bruk av bioenergi ettersom den er basert på lavverdig biomasse og kan utbygges for lokalt forbruk med små overføringskostnader og redusert energitap. Usikkerhet omkring politisk vilje til omstrukturering kan være årsak til at priser ikke oppfattes som signal til substitusjon (SSB, 1988). Usikkerhetsmomenter i denne sammenheng er i hvilken grad det satses på opprusting og effektivisering av gamle kraftverk og overføringslinjer, og hvor mye kraftforbruket vil øke i fremtiden.

Norge har gjennom en felles nordisk avfallsstrategi forpliktet seg til å redusere mengden av avfall og oppnå en høyere grad av resirkulering og gjenbruk. Produksjon av energi fra avfall som ikke kan resirkuleres er et tiltak som kan bidra til oppfyllelse av denne målsetningen.

2.3 FORBRUK AV OG POTENSIALE FOR BIOENERGI

Lunnan et al. (1990) anslår at det totale energiinnholdet i all biomasse som blir produsert i dag er ca. 250 TWh, mens dagens forbruk er ca 4,6 TWh netto varmeenergi. De anslår videre at i år 2000 vil det utnyttbare potensialet være ca. 17 TWh hvorav 13,5 TWh kan produseres til en kostnad lavere enn 50 øre/kWh (i 1990-priser).

En større del av bioenergiforbruket i dag er vedhogst som ikke er registrert gjennom omsetning i markedet ettersom det meste er selvhogst eller selges uten å rapporteres til skattemyndighetene. Sagbruksindustrien og treforedlingsindustrien bruker i dag de fleste av sine spillprodukter til energiproduksjon, men det er mye å hente på å øke virkningsgraden på det som utnyttes.

Tabell 1. Potensiale for bioenergiutnyttelse i år 2000 i TWh/år
(Kilde: Lunnan et al., 1990)

<u>Energikilde</u>	<u>Netto utnyttet 1990</u>	<u>Netto potensiale 2000</u>
Avfall	0,25	1,01
Deponigass	0,01	0,34
Energigress	-	0,46
Energiskog	-	1,58
Gjødsel	-	1,00
Halm	-	2,21
Skogindustri	2,30	6,10
Skogsflis	0,20	6,30
<u>Vedfyring</u>	<u>1,85</u>	<u>3,70</u>
Sum	4,61	22,70

I tabell 1 har vi ikke skilt mellom termisk og elektrisk energi i netto potensiale for år 2000. Når vi unntar vedfyring og husdyrgjødsel vil det med dagens teknologi være mulig å levere opp mot 30% av potensialet som elektrisk energi. Dersom brenselceller blir tatt i bruk i år 2000 vil opp mot 70% av potensialet kunne leveres som elektrisk energi. Kostnadsestimatene for denne teknologien er imidlertid svært usikre.

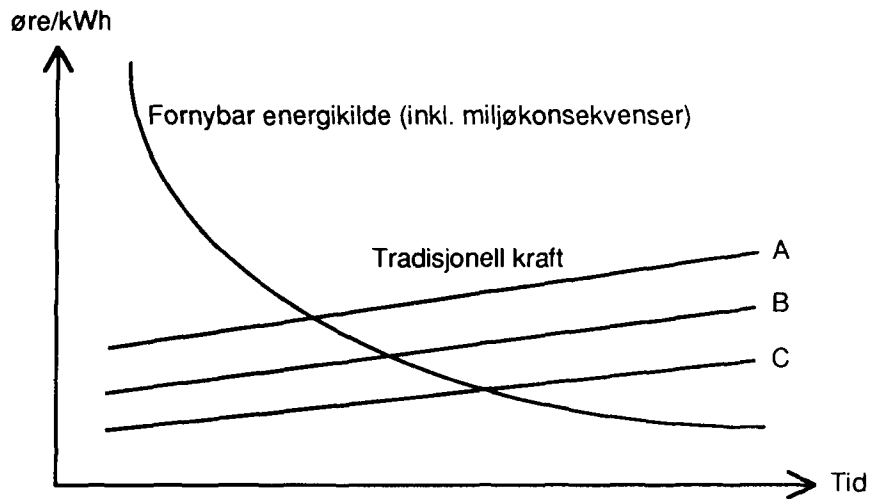
3. VERDSETTING AV MILJØKONSEKVENSER - TEORI OG METODE

Det er en del konkrete endringer som kan skje ved innføring av biobrensler i større målestokk som det metodemessig er vanskelig å kvantifisere forholdsvis nøyaktig, for eksempel overgang til etanol eller etanolinnblanding som drivstoff for kjøretøyer, bruk av vedfyring i privathusholdninger i stedet for olje eller elektrisitet (fra vannkraft), biobrenselfyrte fjernvarmeanlegg i stedet for oljefyrte, bruk av spillprodukter i trebasert industri, betalingsvillighet for å beholde kulturlandskap, skoglandskap, resirkulering av CO₂ ved bruk av bioenergi i stedet for fossilt brensel.

En modell for verdsetting av miljøulemper, såvel som goder, krever at systemet som dette inngår i er modellert med alle effekter som inngår. I enkle økonomiske analyser er det vanlig å beregne resultater basert på partielle likevekter. Et eksempel på dette er lønnsomhet av energiproduksjon fra forbrenning av avfall. I et enkelt regnestykke kan vi beregne kostnad per enhet produsert kWh. Når vi beregner denne 'glemmer' vi ulemper ved utslipp av sot, PAH, CO₂, metan, etc., samt at energien konkurrerer med andre krafttilbud. Det er først når alle disse effektene er verdsatt at vi kan bestemme de riktige resultatene i det som kalles en generell likevektsmodell. Noen av effektene vil være små, som for eksempel priseffekten på krafttetter-spørselen så lenge markedsandelen er marginal.

Verdsetting av miljøkonsekvenser for å sammenligne ulike brenselkilder er teknisk vanskelig ettersom konsekvensene er forskjellige og berører høyst ulike grupper i ulik grad. Kvaliteter og ulemper som ikke er festet til fysiske eller økonomiske størrelser som utslipp eller tapte inntekter av alternativ produksjon er vanskelige å tallfeste. I de senere år er det utviklet metoder som gir relativt konsistente verdier gjennom spørreundersøkelser over betalingsvillighet, som til vanlig kalles 'Contingent Valuation (CV)'. Til kvantifiseringer av miljøkonsekvenser ved energiproduksjon er dette en vanskelig metode ettersom forbrukerne som utspørres blir stilt overfor valg som er vanskelig å anskueliggjøre og som i veldig ulik grad angår forbrukeren. Vi har dessuten ikke kjennskap til forsøk på verdsetting ved CV for ulike bioenergialternativer.

En undersøkelse som forsøker å kvantifisere miljøkostnader ved kraftproduksjon i Vest Tyskland er Hohmeyer (1988). Her er tradisjonell kraft fremstilt fra fossilt brensel og kjernekraft sammenlignet med fornybare energikilder, primært vindkraft og solkraft.



Figur 1. Overgang fra tradisjonell kraft til alternativ energi over tid
(Kilde: Hohmeyer, 1988).

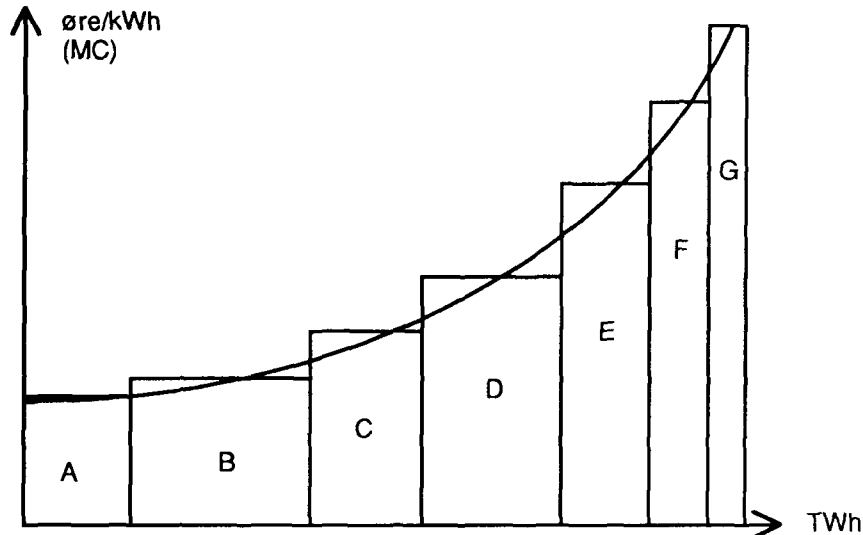
Figur 1 viser hvordan en alternativ fornybar energikilde utvikles over tid slik at prisen blir konkurransedyktig. C er markedspris, A og B er priser hvor miljøkostnaden er lagt til, henholdsvis høyt og lavt estimat. Når dette skjer, avhenger i denne modellen av i hvilken grad miljøkostnader er inkludert i prisingen av eksisterende kraft gjennom avgifter eller lignende.

Hohmeyer viser empiriske eksempler på dette. Særlig interessant er to figurer hvor vindkraft i Danmark og i Vest Tyskland sammenlignes med eksisterende kraft. Figurene viser da hvordan vindkraften tidligere blir konkurransedyktig i Danmark, trolig fordi den tekniske utviklingen er brakt lengre. Hohmeyer gjør videre en antagelse om at straks en fornybar energikilde er introdusert vil produsenter investere inntil kapasitetsutnyttelse er nådd over en 10-15 års periode. Dette er en tvilsom antagelse, spesielt for bioenergimarkedet som er svært heterogent og kan inndeles i mange mindre markeder med helt ulike investeringskostnader og miljøkostnader.

Hohmeyer diskuterer kun fremstilling av elektrisk kraft og ekskluderer jernbanens forbruk av kraft til banenettet av metodemessige årsaker. Miljøkonsekvensene innen markedet for termisk energi er ikke forsøkt verdsatt av Hohmeyer.

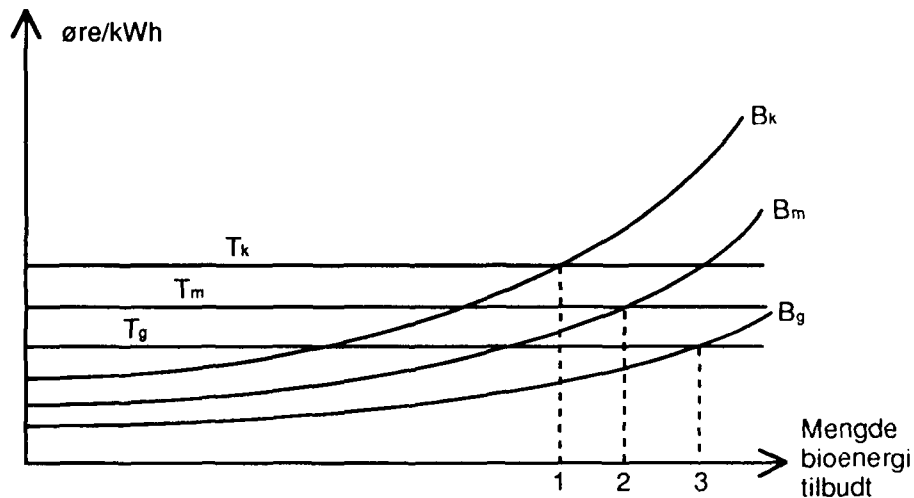
Lunnan og Moen (1991) fremstiller tilbudet av bioenergi i form av et Heckscher-Salter diagram (se figur 2). Dette er en fremstilling hvor alle bioenergialternativer rangeres stigende etter deres marginale produksjonspris for energi. Hvis vi trekker en kurve gjennom søylene dette gir får vi en tradisjonell tilbudskurve. En fremstilling av en tilbudskurve på denne måten forutsetter at vi har energimarked (eller flere) med tilnærmet fri konkurranse etter som det gir

pris lik marginalkostnad og intet produsentoverskudd og velferdstap. Nå er det trolig ikke riktig å kalle energimarkeder i Norge frikonkurransemarkeder, men det gir en tilnærmet riktig tilbudskurve dersom det ikke er rene monopoler.



Figur 2. Heckscher-Salter diagram for tilbud av bioenergi
(Kilde: Lunnan og Moen, 1991).

For å vurdere miljøkostnaden i tilbudet av energi har vi betraktet ny energi etter samme resonnement som Lunnan og Moen (1991). Figur 3 viser tilbudskurver for bioenergi, B, og tilbudskurver for eksisterende energi, T. Tilbudskurvene for tradisjonell energi er uendelig elastiske, horisontale, hvilket vil si at vi kan både øke og senke tilbudet av bioenergi uten at det virker inn på prisen på tradisjonell energi. Dette kan skje fordi bioenergi kun utgjør en marginalt del av det totale markedet. Dette er en tilnærming og kan være annerledes i enkelte energimarkeder, men det gir en meget god illustrasjon av hvordan miljøkostnadene kan vurderes i valg av energibærer for utbygging.



Figur 3. Tilbudskurver for eksisterende energi og 'ny' bioenergi..

Kurvene B_m og T_m viser markedstilpasningen for bioenergi i det totale energimarkedet eller et delmarked. I dette tilfellet vil det være lønnsomt å investere i bioenergi inntil punkt 2 er nådd, over denne mengden blir bioenergi dyrere enn tradisjonell energi. Nå skal vi trekke inn miljøkostnadene og bildet forandrer seg en del. For både tradisjonell energi og bioenergi er det trukket opp to andre kurver hvor miljøkostnadene er tatt med i prisberegningene (etter 'pris lik marginalkostnad' prinsippet). Subscript k betyr at det er netto miljøkostnader, mens subscript g er en netto miljøgevinst. Vi kan ha eksempler på netto miljøgevinster når vi tar i betraktning alternativ bruk av energikilder. Et godt eksempel på dette er deponigass som forurenses betydelig ved naturlig utslipp fra deponier. Ved forbrenning til energiproduksjon vil skadevirkningene av utslipp reduseres og således skal denne gevinsten trekkes fra den marginale produksjonskostnaden for at riktig 'miljøpris' skal beregnes.

Ser vi litt nærmere på et par generelle tilfeller ser vi at hvis miljøkostnadene blir lagt til for både eksisterende kraft og bioenergi får vi en tilpasning i 1. I dette tilfellet blir en mindre mengde bioenergi tilbudt fordi miljøkostnaden ved bioenergi er høyere enn for tradisjonell energi. Dette kan for eksempel være vedfyring sammenlignet med vannkraft. Hvis vi for eksempel sammenlignet med oljefyring ville trolig tilpasningen vært en annen med et større tilbud av bioenergi. Modellen er ikke tilstrekkelig til å kvantifisere miljøkostnadene direkte, men den gir en metode for hvordan utbygging av bioenergi kan sammenlignes med andre potensielle energibærere. Det viktige i modellen er at vi har en oppfatning av hva som er den relative differanse i miljøkostnad mellom to alternative energikilder slik at vi kan velge den riktige.

4. BIOENERGISYSTEMER, TEKNOLOGI, ØKONOMI OG MILJØKONSEKVENSER

Det er mulig å utnytte energi fra biomasse i en rekke former. I Norge er det mest aktuelt med generering av varme, damp eller elektrisk energi ved forbrenning. En annen metode som er brukt i stor skala i Brasil er produksjon av etanol som brukes til drivstoff, men Renborg et al. (1984) viser at det for Sverige i 1984 fordrer en høyere bensinpris før dette er konkurranse-dyktig.

For en god gjennomgang av ulike teknologier viser vi til en dansk utredning om "Vurdering af biomasse til energiforsyning," Baggrunnsrapport nr. 5 til Energi 2000. Her er det systematisert og beskrevet ulike teknologier. En vil også finne en vurdering av effektivitet, økonomi, utviklingsstadium, miljøforhold, barrierer og utviklingspotensiale for de ulike teknologiene.

Vi har i det følgende konsentrert oss om forbrenning og ikke kommentert de andre mulige omformingsmåtene som er omtalt i den danske rapporten.

I de følgende avsnittene skal vi beskrive og forsøke å kvantifisere miljøkonsekvensene ved utnytting av biomasse til energiformål. I og med at vi tar for oss mange ulike systemer vil også effektene være forskjellige, vi kan imidlertid systematisere miljøkonsekvensene i følgende grupper:

1. Luftforurensning. All omdanning av biomasse medfører utslipp til luft, de viktigste utslippene er partikler, nitrogendioksyd og karbonmonoksyd. Et alvorlige eksempel på luftforurensning er vedfyring i små vedovner som i Norge står for en vesentlig del av det totale utslippet av f.eks. sot. Utslipp til luft har i første rekke helsemessige konsekvenser, men også konsekvenser for vegetasjon, bygninger etc. Biomasse inneholder lite svovel slik at svovelutslippene i de fleste tilfelle er svært små. Dersom forbrenninga er dårlig kan utslippene av PAH og partikler være betydelig. I mange tilfelle vil imidlertid de mest forurensende teknologiene allerede i dag være uaktuelle ved nyinvesteringer, slik at problemene i første rekke eksisterer for eldre anlegg. I noen tilfelle som f.eks. ved avgassing av deponier, vil utslippet til luft bli betydelig mindre ved at gassen utnyttes til energiformål.

2. Vannforurensning. Avrenning fra avfall fra sagbruk og treforedling kan være et problem for noen vassdrag, dersom denne biomassen blir omdannet til energi i forbrenningsanlegg vil dette problemet kunne bli løst. Forurensing fra avløpsvann i forbrenningsanleggene

er vurdert til å være i samme størrelsesorden som for et forbrenningsanlegg for fossilt brensel og burde ikke være noe stort problem. Intensiv dyrking av energivekster kan også få visse konsekvenser for grunnvannet.

3. Aske. Aske fra forbrenning av biomasse inneholder ikke giftige forbindelser og lettere å deponere enn f.eks. aske fra forbrenning av kull. En har også eksperimentert med tilbakeføring av aske til skog for å oppnå en gjødslingseffekt. I forbindelse med forbrenning av kommunalt avfall kan aske være et problem og må deponeres på fyllinger.

4. Virkninger på næringsbalansen i økosystemene. Dersom en fjerner en for stor del av biomassen i et økosystem vil dette kunne få følger for produktiviteten på lang sikt. Konsekvensene blir størst dersom hogstavfallet fjernes på de dårligste marktypene. Dette er foreløpig ikke aktuell politikk i Norge og vi vil derfor ikke berøre dette punktet mer i denne rapporten.

5. Helserisiko. Døds- og skaderisikoen er stor for arbeid i landbruket sammenlignet med andre yrker. Med avansert teknologi ved høsting av biomassen tror vi likevel ikke at dette er noe viktig problem. Problemene rundt helseeffekter av luftforurensning er viktigere, alvorligheten av disse vil variere mye med lokale forhold som topografi, befolkningstetthet og klima.

6. Virkning på utslipp av klimagasser. Biomassen er fornybar og næringsstoffene sirkulerer i et omløp uavhengig av om biomassen utnyttes til energiformål eller ikke. Dersom bioenergi substituerer fossilt brensel som olje eller gass og dette på marginalen fører til et lavere forbruk av fossilt brensel, så vil økt bruk av bioenergi bidra til reduksjon av utslippet av klimagasser. Et forhold som må tas i betraktning i denne forbindelse er at karbonet i biomassen ved forbrenning kan bli frigjort noe tidligere enn det alternativt ville ha blitt. Karbonskatten på 30 øre/l fyringsolje og 60 øre/l bensin indikerer at myndighetene verdsetter redusert utslipp av klimagasser til minst 4 øre/kwh.

4.1 BIPRODUKTER FRA TREFOREDLING OG SAGBRUK

Ved fremstilling av sulfat- eller sulfittcellulose fra tømmer blir det en større del tilbake som avlut, hovedsakelig bestående av lignin. Denne kan tørkes og brennes. Flere moderne cellulosefabrikker gjør dette i dag, for eksempel Tofte som tidvis leverer elektrisk kraft til overføringsnettet.

I følge Lunnan et al. (1990) har treforedling og sagbruk i dag et energipotensiale på 3,2 TWh, noe som er forventet å øke til 6,1 TWh innen år 2000. En vesentlig del av dette potensialet er elektrisk kraft som i år 2000 forventes å koste i intervallet 10 - 20 øre/kWh levert bedrift.

Ved å produsere varme ved forbrenning av lignin reduseres de totale utslipp fra celluloseindustrien totalt. Et problem er å fordele de reduserte miljøkostnadene mellom celluloseproduksjonen og varmeproduksjonen, men for å sammenligne med andre energikilder vil det være 'riktig' å belaste varmeproduksjonen med miljøgevinsten. Miljøgevinstene vil være redusert utslipp til vann og redusert utslipp av CO₂ ved substitusjon av fossilt brensel. Miljøulempene vil i hovedsak være i form av økt luftforurensning

Sagbruksavfall vil bestå av bark og flis som kan forbrennes og som for det meste brukes i dag. Generering av varme til trelasttørker og oppvarming av lokaler er mest aktuelt. Elektrisitetsproduksjon fra sagbruksavfall er mer kostbart enn fra treforedling av ulike grunner, og er anslått til 30-50 øre/kWh i 2000 av Lunnan et al. (1990). Miljøkonsekvenser av forbrenning av sagbruksavfall vil hovedsaklig være som for all flisforbrenning, og avhenge av virkningsgrad, anleggsstørrelse o.l. Positive virkninger oppnås ved at behovet for deponi reduseres.

4.2 SKOGSFLIS

Skogsflis kan prosesseres enten ved at hele tynningsuttaket grønnsflises og leveres til energiforbrenning, eller det kan være hogstavfall som grønnsflises etter maskinell hogst. Grønnsflis tørkes og utnyttes som fastbrensel.

Lunnan et al. (1990) anslår at 0,2 TWh utnyttes i dag, mens det fremtidige potensialet er på 6,3 TWh (2000). For år 2000 forventes det da energikostnader på 26-45 øre/kWh for termisk energi og noe høyere for elektrisk energi.

En mulig miljølempe ved bruk av grønnsflis av hele trær, utenom forbrenningsutslippene, er den samme innvendingen som er fremkommet mot heltredrift, at jordbunnen tappes for næringsstoffer og produktiviteten derved blir nedsatt når gjødseleffekten av hogstavfallet forsvinner. Hvis skogsflis lages av virke som er hogd på tradisjonell måte hvor hogstavfallet ligger igjen i skogen vil effektene være de samme som for tømmerdrift. Sammenhengen mellom CO₂ og CH₄ utlipp er komplisert og vanskelig å modellere ved nedbrytning av organisk materiale i skogsjord. Ut over virkningen på jordbunnen vil miljøkonsekvensene bli tilsvarende som for punkt 4.1.

4.3 VED

Forbruket av ved er dårlig kartlagt, men konsekvensene er etterhvert blitt noe bedre dokumentert. Virkningsgraden i ovner av eldre modell er lavere enn nye modeller med sekundærforbrenning og/eller katalysator. Forbrenning av ved i husholdninger gir forurensninger i form av utslipp av partikler, NO_x og CO. Hvor store disse forurensningene blir avhenger mye av den teknologien som blir valgt og av fyringsmåte (jfr. Risholt, 1990). Utslipp av støv kan i dag maksimalt være opp mot 700 g/GJ og av PAH 500 mg/GJ. Ved introduksjon av de mest effektive vedovnene som finnes på markedet i dag vil utslippene til luft kunne reduseres med minst 90%, men utskifting av dagens ovner vil imidlertid kunne ta lang tid.

Dagens forbruk av ved er av Lunnan et al. (1990) anslått til 1,85 TWh, mens potensialet for år 2000 er 3,7 TWh, og dette er til forventede varmekostnader på 20-70 øre/kWh. Risholt (1990) refererer vedforbruket til 4,24 TWh i 1986. Dette representerer bare cirka 4% av fastkraftforbruket.

I Risholt (1990) er det beregnet tall som kan benyttes for å estimere kostnadene ved å redusere utslippene ved introduksjon av mer effektiv teknologi. Den viktigste parameter i dette regnestykket er vedprisen. Ser vi litt nærmere på analyseresultatene til Risholt, viser disse at det med dagens vedpriser (ca. 900 kr/favn) kan forventes energipriser i området 50 til 70 øre/kWh. Resultatene er naturlig nok svært følsomme for endring i vedkostnadene. For vedpriser over 230 kr/favn er ovner med ny teknologi lønnsomme ved 50 års levetid eller lenger. Nå er det grunn til å spørre seg om favnprisene reflekterer alle vedforbrukere. Mye ved skaffes ved selvhogst og lignende, slik at den virkelige prisen trolig er lavere. Ser vi på Risholts resultater viser disse en tangering med vedpris i området 200 til 500 kr/favn for nyteknologi-ovner, så hvis vi skal forvente at disse kommer i bruk må den reelle vedprisen være i dette området dersom dette skal skje uten virkemiddelbruk.

Neste skritt må være å finne ut hvilke reduksjoner av utslipp som kan forventes. Risholt refererer utslippene av PAH, sot og CO som størst relativt sett da vedfyring representerer henholdsvis 44%, 34% og 15% av totalutslippene av disse. Partikkelutslipp kan reduseres helt opp mot 96% ved utskifting av gamle ovner til katalysatorovner. Risholt beregner kostnadseffektivitet ved dette til å være 30 til 45 kr/kg partikkelutslipp for 200 kr/favn og 65 til 80 kr/kg partikkelutslipp for vedpris 1000 kr/favn. En markedspris på 900 kr/favn gir energipriser på 57 øre/kWh for katalysatorovner og 64 øre/kWh for sekundærforbrenningsovner uten miljøkostnader ved 50 års levetid. For 'gratis' ved er tallene 23 og 26 øre/kWh. En fullt avskrevet referanseovn gir henholdsvis cirka 75 øre/kWh og 5 øre/kWh. Dette betyr at basert på disse

tallene vil reduksjonene i utslipp fra nåværende til beste nyteknologi, katalysator, representere en gevinst på fra 18 øre/kWh for 'gratis' ved til -18 øre/kWh for ved til 900 kr/favn.

Ovenfor resonnerte vi oss frem til at reell vedpris kunne være 200 til 500 kr/favn, altså i området hvor prisene er nærmest like for avskrevet referanseovn og nyteknologi-ovner. For ved til markedspris og lang levetid på investeringene (her 50 år) ser vi at vi må betale 18 øre/kWh mer for varme fra 'rene' ovner. Dette kan brukes som en tilnærming til den virkelige miljøkostnaden inntil den virkelige betalingsvilligheten kan fastslås. Disse tallene tyder også på at skal vi redusere utslippene ved å skifte ut ovner må det incentiveres til, for eksempel avgifter på bruk som tilnærmelses bør være lik miljøkostnaden. Dersom alle kjøpte ved til 900 kr/favn ville en avgift på 18 øre/kWh være riktig for ovner med 50 års levetid, samt noen andre forutsetninger Risholt legger til grunn, som 7% rentekrav, etc. Dog mistenker vi 50 års levetid for optimistisk og trolig er miljøkostnaden større slik at en større avgift ville kanskje være riktig hvis den skulle kunne gjennomføres.

4.4 ENERGISKOG

Energiskog omfatter trevekster som dyrkes spesielt for energiproduksjon og hvor driftsformen typisk er sterkt mekanisert og omløpstiden er kort. Vanlig brukte arter i tempererte strøk er *salix* spp. (pilearter, etc.). Dyrking av energiskog har høy produksjonskapasitet fordi det er kun ved første omløp at det må plantes. Forventede omløpstider er 3-6 år og foryngelse skjer hovedsaklig ved stubbeskudd, noe som gjør at plantene allerede har et ferdig utviklet rot-system og utnytter næring for fullt allerede fra starten av vekstsesongen.

Det er i dag ikke etablert energiskogplantasjer i større målestokk i Norge, i motsetning til Sverige hvor utstrakte forsøk har vært drevet i en årrekke. Lunnan et al. (1990) anslår potensialet til 1,58 TWh i år 2000 til energikostnader på 25-50 øre/kWh. Dette er optimistiske anslag basert på svenske tall.

Etablering av energiskogplantasjer i stor skala vil kunne gi betydelige miljøkonsekvenser, men det er svært vanskelig å si hvordan disse vil falle ut. Landskapsendringer kan oppfattes negativt av mange, noe som vil kunne ha innflytelse på hvor realistisk det er å etablere større plantasjer på skog- og innmarksarealer. For å drive lønnsom dyrkning må det videre tilføres kunstgjødsel i betydelig grad, og vi er allerede i dag kjent med hvilke effekter avrenning av nitrogen og fosfor fra jordbruk har.

Hansson (1989) angir en råstoffkostnad på 14 øre/kWh brutto (SEK) og kull som alternativ til 9,5 øre/kWh. Han antyder videre at kostnaden kan reduseres ned mot 10 øre/kWh gjennom

utviklingsarbeide. Den kostnadsfaktoren som kan reduseres mest er høstingsteknikken. Hansson (op.cit) foretar en interessant oppdeling av kostnadskomponenter i dag og etter videre forsknings og utviklingsarbeide.

En sammenstilling av flere svenske undersøkelser (Hansson, 1989) viser at energiflis kan leveres kraftprodusent til priser mellom 9 - 15 øre/kWh (SEK). Totale råvarekostnader er anslått til 16-18 øre/kWh (SEK) når transport og administrasjonskostnader er lagt til.

4.5 ENERGIVEKSTER

Det er mulig å dyrke vekster for energiproduksjon på tradisjonelle jordbruksarealer. For at dette skal være et interessant investeringsalternativ for landbruksnæringen er det nødvendig å finne frem til vekster med et høyt energipotensiale. Skal dette være mulig må institusjonelle barrierer overvinnes, som for eksempel godkjenning fra landbruksmyndighetene og oppbygging av kunnskap hos veiledningstjenesten. I Sverige er det gjennomført en rekke forsøk med ulike vekster, og det er i dag forsøksvis brukt korn som brensel til fjernvarmeanlegg levert til konkurransedyktige priser (med kull/olje).

Rotvekster som sukkerbete, hvor roten kan brukes til sukkerfremstilling som videre kan gjæres til etanol, eller hele planten kan gjæres til biogass. Ulike gressarter er også aktuelle, som for eksempel timotei og strandrør. En aktuell metode er å la gresset stå over vinteren og høste det om våren. Da er fuktighetsnivået så lavt at det kan brukes direkte som fast brensel.

Renborg et al. (1984) fremhever at det ikke forventes å oppnå like stor produksjon som forsøksresultatene viser, men at man gjennom planteforedling stadig vil øke gjennomsnittsproduksjonen. Ved produksjon for energiformål vil man dessuten prioritere andre egenskaper ved plantene, f. eks. økning av tørrsubstans, enn til matproduksjon.

Lunnan et al. (1990) anslår potensialet til 0,46 TWh år 2000, men dette er trolig beheftet med betydelig usikkerhet ettersom dette er basert på gjeldende landbrukspolitikk med meget strenge regler for omdisponering av jordbruksarealer fra matproduksjon. Med mulig EF medlemskap og endret etterspørsel etter matvarer på grunn av økt befolkningspress er det høyst usikkert hvordan dette vil slå ut.

Miljøulemper ved energivekster vil først og fremst tilsvare det man ellers har fra jordbruket, nitrogen- og fosfatavrenning, erosjon av matjord, osv. Omfanget av slik forurensning vil selvsagt avhenge av intensiteten i produksjonen. For vekster hvor jorden ikke pløyes hvert år

kan noen av effektene reduseres betydelig, særlig avrenning. En positiv faktor kan derimot være biprodukter, som for eksempel husdyrfor.

Dyrking av energivekster kan ikke sies å ha vesentlige konsekvenser for endring av landskap, men det er trolig en betydelig barriere å endre holdninger hos opinion og produsenter bort fra matproduksjon til brenselproduksjon.

4.6 JORDBRUKSAVFALL

Halm er det viktigste potensiale som bioenergiråstoff av dagens jordbruksavfall i Norge. Utnyttelse fordrer at man utvikler innsamlings- og tørke teknikker som gjør dette lønnsomt. Vi har i dag disponibelt avfall fra kornproduksjon på 3,5 millioner da, med gjennomsnittlig 350 kg halm/da og 4.1 kWh/kg halm, og en alternativverdi på 50 øre/kgTS. Dette gir potensielt ca 5 TWh dersom alt utnyttes, noe som er helt urealistisk ettersom prisen for elektrisk kraft av dette forventes å bli over 50 øre/kWh₉₀, termisk energi kan bli noe billigere. Kostnadstallene er imidlertid svært følsomme for halmprisen.

Eksisterende teknologi for mindre halmfyringsanlegg er for dårlig med hensyn til miljøbelastningen. Typisk vil støvemisjonen ligge på 500-1500 mg/m³ røyk og CO innholdet på 0,5-1 vol%. For manuelt fyrte anlegg er PAH innholdet i røyken typisk 40-100 µg/m³. For automatiske anlegg vil utslippene av PAH (og dermed også lavere CO-innhold) være lavere, 4-10 µg/m³ (jfr. Energistyrelsen, 1990). På sikt regner en i Danmark med å kunne komme ned på et støvutslipp på 50 mg/m³ og et utslipp av 0,05 vol% CO. For større halmfyringsanlegg er en i dag allerede under disse grensene. En forventer at på sikt vil CO-emisjonen kunne komme bli tilsvarende de beste kullfyrte varmekedene (mindre enn 100 ppm).

4.7 HUSDYRGJØDSEL

Flere energibærere kan fremstilles fra husdyrgjødsel. Metan eller biogass kan fremstilles ved våtkompostering og anaerobe teknikker.

Varme kan også utvinnes direkte gjennom varmeveksleranlegg fra gjødselagre hvor aerobe gjæringsprosesser avgir betydelig varme under komposteringsprosessen. Totalt potensiale antydes å være 7 TWh ved dagens husdyrbesetning. Lunnan et al. (1990) antar at ca 1 TWh er nyttbart potensiale i år 2000 til priser på hovedsaklig over 50 øre/kWh₉₀ for termisk energi. Produksjon av elektrisk kraft er ikke vurdert.

Produksjon av energi fra gjødsel er mest realistisk til oppvarming på gårdsbruk og det kan være betydelige miljøkonsekvenser forbundet med dette, blant annet utslipp av giftige gasser som H_2S og avrenning av nitrogen og fosfor, men energiproduksjon bidrar til å redusere slike uheldige konsekvenser, og dette må betraktes som en miljøgevinst som skal tilgodesees gjødsel som energikilde ved sammenligning med andre energikilder.

4.8 AVFALL, DEPONIGASS OG SLAM

Soma og Kjerschow (1988) refererer til problemer med leveranse av energi fra søppel-forbrenningsanlegg på grunn av manglende utbygde fjernvarmenett. Det er noen få forbrenningsanlegg i Norge i dag som kan produsere elektrisitet .

Et nytt råstoff som det fester seg en del forventninger til er foredlet avfallsbrensel (FAB) i form av brikker som kan leveres som brensel til varmeanlegg. En ulempe som påpekes er at det blir opp til 60% rester ved foredling til brennbare brikker som deretter må deponeres igjen. Det finnes i dag en produsent av FAB i Norge, Grinda ved Larvik, og hele produksjonen leveres til Sande Paper Mill A/S.

En siste metode som er trukket frem er omdanning av den utskilte sikteresten ved kompostering (fire anlegg i drift i 1988), noe som gjelder ca. 30-60% av innkommet avfall. Soma og Kjerschow (1988) beskriver en rekke ulike omdanningsprosesser og nærmere detaljer om disse kan finnes her eller andre steder.

Deponigass består av 40-70% metan, 30-60% CO_2 og 0-10% andre gasser, ofte illeluktende. Deponigassen har et energipotensiale på 18-28 MJ/Nm³ eller ca. 5 kWh/Nm³ (Birkeland, 1988). Biogass kan i hovedsak fremstilles fra tre ulike kilder: i) Anaerob kompostering av avfall for fremstilling av metan, noe som gir 125 Nm³ gass ved 37,5% fuktighet og 6 kWh/Nm³, ii) gass utvunnet fra boring av brønner i deponier, anslagsvis 6-10 Nm³ gass/t avfall/år og brønnene har en levetid på ca. 15 år. iii) biogass fremstilt ved anaerob stabilisering (kompostering) av kommunalt slam, som gir 300 Nm³/t TS og 6 kWh/Nm³. Denne inneholder 65-70% metan og 30-35% CO_2 . Ved våtkjemisk oksydasjon vil man teoretisk kunne få en virkningsgrad på over 100%, dvs. det er ikke tap av fordampningsvarme (Kjelforeningen Norsk Energi, 1990).

Soma og Kjerschow (1988) viser til erfaringer ved utnyttelse av deponigass hos Søndre Vestfold Avfallselskap (SVA) som produserer 3,6 GWh/år fra 720.000 m³ gass. Denne gassen forbrennes og brukes til tørking av avfall som skal foredles til FAB ved SVA's anlegg.

Ved avfallsforbrenning har SFT satt opp detaljerte grenseverdier for emisjon fra nye anlegg, de fleste anlegg i dag tilfredstiller disse verdiene. I framtida må vi regne med at disse verdiene blir lavere. Det er imidlertid av grunner som vi har omtalt tidligere vanskelig å tallfeste kostnaden ved dagens luftforurensning. En mulig metode ville være å sammenligne med den beste teknologien som finnes og finne kostnaden ved den største mulige reduksjon i utslippene. Vi har ikke hatt data til å gjennomføre dette i og for seg mulige regnestykket.

4.9 OPPSUMMERING

Tabell 2 Oppsummering av miljøkonsekvenser

Energibærer	Subst. CO ₂	Luft- forur.	Vann- forur.	Estetiske konsekv.	Nærings- balanse	Aske
Sekundærvirke						
skogindustri	> 4	-	+	0	0	+/-
Skogsflis	> 4	-	0	0	-/0	+/-
Ved i husholdn.	> 4	0 - 20	0	0	0	0
Energiskog	> 4	-	?	-?	0 ?	+/-
Energivekster	> 4	-	?	0	0 ?	+/-
Halm	> 4	+/-	0	0	-/0	+/-
Husdyrgjødsel	> 4	+	+	0	0/+	0
Hush.avfall/slam	> 4	-	+	?	0	+/-
Deponigass	> 4	++	+	0	0	0
+ positiv virkning - negativ virkning 0 ingen virkning ? usikker virkning						

Der det er oppgitt tall er dette i øre/kWh

I tabellen har vi oppsummert miljøkonsekvensene for de ulike energibærerne. Vi har dessverre bare i beskjeden grad vært i stand til å kvantifisere disse. Vi har heller ikke, med et unntak, sett eksempler på kvantifisering i den litteraturen vi har vært gjennom. Det eksemplet vi fant gjaldt amerikanske forhold med effekter som var irrelevante for norske forhold. Effekter av luftforurensning kan verdsettes ved å bruke samme opplegg som SFT brukte i sin Osloundersøkelse. Vi har forsøkt å dra nytte av dette i anslaget for vedfyring. Usikkerhetne i anslagene blir imidlertid svært stor. Videre vil effektene av utslippene variere mye med lokale forhold som topografi, vegetasjon, klima og befolkningstetthet.

5. DISKUSJON - MILJØKONSEKVENSER OG TILTAK

Ved diskusjon av miljøkonsekvenser ved bruk av bioenergi er det noen ulike problemstillinger vi skal undersøke litt nærmere før vi kommer tilbake til beregningene fra kapittel 4. Først er det forhold omkring selve energiproduksjonen, som virkningsgrad, forbrenning og utslipp. Derneft er det areal- og landskapsendringer, klimaeffekter, enøk-tiltak, teknologiendringer, substitusjon og virkemiddelbruk.

5.1 VIRKNINGSGRAD, FORBRENNINGSTEKNIKK OG UTSLIPP

En betydelig faktor for både økonomi og utslipp ved energiproduksjon er virkningsgraden. Denne varierer sterkt med hvilken teknologi som benyttes, men i hovedsak vil økt virkningsgrad gi betydelig reduksjon i utslipp. Soma og Kjerschow (1988) påpeker klorkorrosjon ved dampproduksjon som en faktor som i betydelig grad begrenser virkningsgraden ved elektrisitetsproduksjon i avfallsanlegg. Dette har særlig stor virkning for teknologier som i dag er relativt ineffektive, for eksempel vedovner i husholdninger.

Resultatene av den såkalte Trondheimsundersøkelsen er at det er knapt observert miljømessige endringer etter etableringen av et søppelforbrenningsanlegg på Heimdal, bortsett fra en mindre reduksjon av svoveldioksyd ettersom en rekke oljefyrte kjeler er nedlagt. Det foreligger få analyseresultater av utslipp. Det eneste er en SINTEF undersøkelse som poengterer at man med tilsetning av kalk i forbrenningen kan redusere saltsyreutslippene betydelig (resultater fra Hässleholm, Sverige, se Soma og Kjerschow, 1988). Krav til røykgassutslipp er i ferd med å bli skjerpet fra SFT (fra 1995) slik at utvikling av renseteknologi må følge utviklingen av nye forbrenningsanlegg for at disse skal være interessante investeringsobjekter.

5.2 AREAL- OG LANDSKAPSENDRINGER

Større satsing på energivekster og energiskog på tradisjonelle jordbruksarealer vil endre landskapet i stor grad og dette er ikke nødvendigvis sett på som ønskelig. Et eksempel på en konflikt som fort kan tilspisse seg er granplantningene på Vestlandet. Dette er forhold som trolig vil trekkes nært inntil jordbruksforhandlingene og langsiktig jordbrukspolitikk dersom det skal satses i større målestokk. Kun en omfattende analyse av konfliktområder kan fortelle hvordan denne typen konsekvenser skal tallfestes. Siden det ikke er utslipp eller lignende som kan tallfestes for deretter å verdsettes, må det trolig spørreundersøkelser av betalingsvillighet til.

Dette er et forhold som er langt bedre studert i Sverige enn i Norge, og det vil derfor være av stor interesse å følge utviklingen der videre. Det som foreligger av forskningsresultater er hovedsaklig produksjonsdata, men undersøkelser av betalingsvilligheten for å unngå alvorlige arealendringer er påbegynt ved Sveriges Lantbruksuniversitet i Uppsala. I tillegg til de rent tekniske og økonomiske forhold er det viktig å prøve å kartlegge folks etiske oppfatning til omstilling fra matproduksjon til energibærerproduksjon dersom dette er av realistisk karakter.

Det er vanskelig å anslå hvor store jordbruksarealer som kan tenkes omstilles til energi-produksjon, men Lunnan et al. (1990) anslår at det dreier seg om 50 000 ha. Det er verdt å merke seg at dette er et anslag over tilgjengelig areal. Det virkelige arealet for fremtiden vil avhenge av markeds- og institusjonelle forhold.

5.3 CO₂-UTSLIPP OG KLIMAEFFEKTER

I forbindelse med den pågående klima- og drivhuseffektdebatten er CO₂-utslippsavgifter lansert. I Norge er dette trolig allerede politisk akseptert slik at vi nok kan vente at disse blir lansert i nær fremtid. Det knytter seg en del usikkerhet til effektene av innføring av avgifter. For bioenergi bør dette kunne slå gunstig ut ettersom det gir resirkulering av karbon. Ved en økt satsing på biomasseproduksjon vil endog nettobindingen kunne øke over en periode. Andre effekter av CO₂-avgifter er mer uklare og vil avhenge av hvor fort de implementeres og hvor godt de koordineres internasjonalt. Hvis økonomien påføres sjokkeffekter kan det få vidtrekkende konsekvenser for både investeringsklima og energiforbruk.

Lunnan et al. (1991) har gjort en serie beregninger over kostnadseffektiviteten ved skogproduksjon som virkemiddel mot CO₂-utslipp. Beregningene for energiskogproduksjon viser middels til høy kostnadseffektivitet avhengig av i hvilken grad energien substituerer olje. Tallene er ikke direkte sammenlignbare så vi gjentar ikke disse her. Beregningene som er gjort for etablering av granskog på jordbruksarealer som alternativt kunne bli brukt til energiskog, viser at granproduksjon er overlegen over energiskog når det gjelder kostnadseffektivitet, gitt dagens energipriser. Dette understreker at med synkende kompriser og avkastningen generelt i jordbruket kan det være lønnsomt og miljømessig gunstig å satse på investeringer i skogplantasjer på innmark.

5.4 TILTAK FOR FORBEDRING AV TEKNOLOGI OG ENERGIØKONOMISERING

Forbedring av teknologi vil først og fremst medføre økt virkningsgrad ved mer optimal forbrenning og riktigere dimensjonering av anlegg. Et riktig valg av teknologi ved etablering av

anlegg vil også ha betydning for utslipp. Dersom det skal stimuleres til bioenergiinvesteringer bør det gis riktige signaler om hvilken type anlegg som er egnet. Riktig teknologivalg er svært viktig for lønnsomheten av anlegg og for utslippet slik at politiske virkemidler må konstrueres slik at det satses riktig over tid.

Større satsing på energiøkonomisering vil på kort og mellomlang sikt kunne endre etterspørsel etter kraft og kan derfor være en usikkerhetsfaktor. Dette vil i hovedsak virke motsatt av forbedret teknologi, altså senke etterspørselen generelt, mens teknologiforbedringer senker kostnadene og eventuelt miljøavgiften dersom de innføres og dermed fører til økt tilbud.

6. LITTERATUR SITERT OG KONSULTERT

- Arbeidsgruppe om biomasser og energi af grøder. 1990. Vurdering av biomasse til energiforsyning. Baggrundsrapport nr. 5 til ENERGI 2000.
- Birkeland, K. H. 1988. Biogass fra norsk avfallsdeponier. I Biobrensel dagene '88.
- Birkeland, K. H. 1990. Energiutvinning fra avfallsfyllinger. Kurs 12.-14. juni 1990. NIF Studiesenteret.
- Brundin, S. 1988. Fastbränslen från jordbruket: Kostnadsberäkningar för halm- och gräsbränslesystem. Rapport 2. Uppsala: Institutionen för ekonomi, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- CDIAC. 1990. Carbon dioxide and climate glossary. The Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, Tenn., USA.
- Dalaker, O. 1981. Termiske energikilder. Prosesser, fast og flytende avfall. Foredrag, Tromsø, Norsk Energi.
- Dyck, W. J. and C. A. Mees (eds.). 1990. Impact of intensive harvesting on forest site productivity. Proceedings, IEA/BE A3 Workshop, Furneaux Lodge, Marlborough Sounds, New Zealand, March 1989. FRI Bulletin No. 159. Rotorua, New Zealand: Forest Research Institute.
- Energistyrelsen, 1990: Vurdering av biomasse til energiforsyning. Baggrundsrapport nr. 5 til ENERGI 2000. København, mars 1990.
- Fredriksen, K. 1990. Energi fra avfall. Foredrag i Polyteknisk Forening 5.3.90.
- Gislerud, O. og A. Lunnan. 1984. Skogsvirke som brensel. Ås: Institutt for skogøkonomi, NLH og NISK.
- Gjølsjø, S. og K. J. Moen. 1991. Production of electric power from wood fuel in Norway. Arbeidsrapport. Norsk institutt for skogforskning og institutt for skogfag, Norges Landbrukshøgskole.
- Halmø, G. 1988. Økonologiske konsekvenser av avfallsforbrenning. Resultater fra Trondheimsundersøkelsen. Foredrag NIF-kurs 89615 - Avfallsforbrenning 1988.
- Hansson, L. 1989. Energiskog, energigrödor och halm. Stockholm: Statens energiverk 1989: R15.
- Hoen, H. F. og A. Lunnan. 1990. Modeller for registrering av vedforbruk i husholdninger. Rapport. Institutt for Skogøkonomi, NLH.

- Hohmeyer, O. 1988. Social costs of energy consumption: external effects of electricity generation in the Federal Republic of Germany. Berlin: Springer Verlag.
- Interforest AB. 1989. Regionala bioenergibalanser. Stockholm: Statens energiverk 1989: R17.
- Johnsson, B. 1987. Bränslen från jordbruksgrödor. Rapport EO-87/2. Stockholm: Statens energiverk.
- Kjerschow, E. 1990. Forbrenningsanlegg for avfall og FAB. Kostnader og data. Rapport. Oslo: Kjelforeningen Norsk Energi.
- Levander, T. 1989. The importance of greenhouse gases other than carbondioxide and other possible differences between various fuels. Stockholm: Statens energiverk 1989: R19.
- Lunnan, A. 1987. Bioenergi på Hadeland. Rapport nr 1/1987, Institutt for skogøkonomi, NLH.
- Lunnan, A. 1988. Økonomisk analyse av bioenergiinvesteringar. Rapport nr.1/1988. Ås: Institutt for skogøkonomi, NLH.
- Lunnan, A., B. Solberg og P. K. Rørstad. 1991. Bioenergy as a strategy against climate changes - a cost effectiveness analysis. Arbeidsrapport. Institutt for økonomi og samfunnsfag og Institutt for skogfag, Norges Landbrukshøgskole.
- Lunnan, A. og K. J. Moen. 1991. The future of energy from biomass - A case study from Norway. Arbeidsrapport. Institutt for skogfag, Norges Landbrukshøgskole.
- Lunnan, A., K. J. Moen og O. Risholt. 1990. Samfunnsøkonomisk potensiale for bioenergi i år 2000. SEFO-rapport 2/90. Ås: Senter for forskningsoppdrag.
- Lunnan, A., S. Navrud, P. K. Rørstad, K. Simensen og B. Solberg. 1991. Skog og skogproduksjon som virkemiddel mot CO₂-opphopning i atmosfæren. Aktuelt fra Skogforsk 6-91. Institutt for skogfag, NLH.
- Mepex Consult. 1991. Avfallsplan Østlandet, del 2: Avsetningsforhold for gjenvinnbare materialer og energi. Drammen: Mepex Consult.
- Miljøverndepartementet. 1989. Stortingsmelding nr. 46 (1988-89), Miljø og utvikling: Norges oppfølging av Verdenskommisjonens rapport. Oslo
- NLVF. 1983. Bioenergiforskning - Perspektivnotat. Oslo; Ås: NLVF/Energiforskningen.
- Norsk Bioenergiforum et al. 1987. Bioenergidagene '88, Marked, økonomi, samfunn. Oslo 17. mars. Sjetten: Norsk Bioenergiforum.
- Norsk Bioenergiforum et al. 1988. Bioenergidagene '88. NTH/SINTEF 25.-26. april. Sjetten: Norsk Bioenergiforum.

- OECD. 1983. Environmental effects of energy systems. The OECD Compass project. Paris: OECD
- OECD. 1984. Biomass for energy. Paris: OECD.
- OECD. 1988. Environmental impacts of renewable energy. The OECD Compass project. Paris: OECD.
- Oksanen, E. H. 1984. Energi från lantbruket. Nordisk Ministerråd. Trondheim: Tapir.
- Olje- og energidepartementet. 1985. Stortingsmelding nr. 37 (1984-85), Handlingsplan for energiøkonomisering. Oslo
- Olje- og energidepartementet. 1987. Stortingsmelding nr. 38 (1986-87), Norges fremtidige energibruk og -produksjon. Oslo
- Renborg, U. et al. 1984. Bränslen från jordbruket: Projekt AGROBIOENERGI Rapport för etapp 4 1981-1983. Uppsala: Sveriges Lantbruksuniversitet og Jordbrukstekniska institutet.
- Risholt, O. 1990. Samfunnsøkonomisk analyse av en overgang til ny vedfyringsteknologi i husholdningene. Hovedoppgave ved Institutt for Skogfag, Norges Landbrukshøgskole.
- Rosvold, H. 1990. Bruk av FAB som brensel. Rapport STF15 A90055. Trondheim: SINTEF.
- Rosvold, H. 1990. Erfaringer med produksjon og anvendelse av FAB. Rapport STF15 A90079. Trondheim: SINTEF.
- SEFO. 1990. Biologisk behandling av husholdningsavfall. Seminar 4.-5. april 1990, Oslo.
- SFT. 1987. Miljøgifter i Norge. SFT-rapport nr. 79.
- SINTEF. 1986. Biobrenseldagene '86. 28.-29. april NTH, Trondheim. Avdeling for energi- og strømningssteknikk.
- Soma, M. H. 1986. Pyrolyse av avfall. Kurs i avfallsforbrenning 10.-12. mars 1986, Oset. NIF.
- Soma, M. H. og E. Kjerschow. 1988. Energimessig utnyttelse av avfall. Rapport. Oslo: Kjelforeningen Norsk Energi.
- Soma, M. H. og P. Østland. 1990. Energimessig utnyttelse av avfall. Rapport. Oslo: Kjelforeningen Norsk Energi.
- Statens energiverk og Naturvårdsverket. 1989. Ett miljöanpassat energisystem. 1989: 3. Stockholm: Staten energiverk.

- Statistisk Sentralbyrå. 1988. Miljøstatistikk 1988: Naturressurser og miljø. Oslo; Kongsvinger.
- Strategisk Bedriftsutvikling. 1988. Undersøkelse og vurdering av potensialet for utnyttelse av metangass fra avfallsdeponier i Norge.
- U.S. Congress, Office of Technology Assessment. 1980. Energy from biological processes, volume II: Technical and environmental analyses.
- WCED. 1987. *Our common future*. United Nations, World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press.
- Øyen, O. 1991. Kloakkslam i skogbruket. Elverum: Kambi A.S.