

NATURLIGA
FYSISKA
RESURSER

och

Livskraftiga energisystem

av

Göran Wall

1997

Förord

Detta kompendium utgör en kortfattad sammanställning av de ständigt flödande energikällorna.

Det är min förhoppning att detta kompendium skall ge dig en god bild av möjliga energiresurser från naturliga flöden och fondresurser dvs sk förnybara resurser.

Kompendiet du håller i handen är således en mycket preliminär version. Jag ber om överseende med detta och ber dig samtidigt att gärna lämna synpunkter på förbättringar av kompendiet.

I juli 1997

Göran Wall

Solhemsgatan 46

431 44 Mölndal

Tel/Fax: 031-87 75 79

Email: gw@exergy.se

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	sid
1 Inledning.....	7
2 Energi - exergi	9
3 Solenergi.....	10
3.1 Solenergi. Teori, egenskaper	10
3.2 Solenergi. Tillgångar, nuläge.....	12
3.3 Solenergi. Användningsområden.....	13
3.4 Solenergi. Metoder för energiutvinning	14
3.4.1 Termiska solfångare	14
3.4.1.1 Solfångare för husuppvärmning eller varmvattenberedning	15
3.4.1.2 Kombination solfångare – värmepump	16
3.4.1.3 Solfångare för spannmåls- och hötorkning.....	16
3.4.2 Energilagring för husuppvärmning.....	16
3.4.3 Solceller.....	17
3.4.3.1 Kiselceller.....	18
3.4.3.2 Galliumarsenidceller.....	18
3.4.3.3 Celler av kadmiumsulfid/kopparsulfid	18
3.4.3.4 Solcellkraftverk	18
3.4.3.5 Kombination solcellpanel – termisk solfångare	19
3.4.4 Solmotorer	19
3.4.5 Fotogalvaniska celler.....	19
3.4.6 Fotoelektrolytiska celler	20
3.4.7 Micellära fotokemiska system.....	20
3.4.8 Utnyttjande av solenergi som omvandlats till värme i luft.....	20
3.4.9 Utnyttjande av solenergi som lagrats i markskikt (ytjordvärme)	21
3.5 Solenergi. Miljöeffekter.....	21
3.5.1 Miljöeffekter med solfångare	21
3.5.2 Miljöeffekter med solceller	21
3.6 Solenergi. Energianalys av solceller.....	21
3.7 Solenergi. Ytbehov	22
3.7.1 Solfångares ytbehov	22
3.7.2 Solcellers ytbehov	22
4. Biomassa.....	23
4.1 Biomassa. Teori, egenskaper	23
4.2 Biomassa. Tillgångar, nuläge	23
4.3 Biomassa. Skog	23
4.4 Biomassa. Energiskogar	24
4.5 Biomassa. Sly	24
4.6 Biomassa. Vass.....	24
4.7 Biomassa. Tång och alger.....	25
4.8 Biomassa. Jordbruksavfall.....	25
4.9 Biomassa. Skogsindustrins avfall	26
4.10 Biomassa. Livsmedelsindustrins avfall	26
4.11 Biomassa. Hushållsavfall.....	26
4.12 Biomassa. Produkter, användningsområden.....	26
4.13 Metoder för framställning av energibärare ur biomassa.....	28
4.13.1 Pyrolys	28

4.13.2	Katalytisk reduktion	28
4.13.3	Metanjäsning	29
4.13.3.1	Processförlopp	29
4.13.3.2	Några processreglerande faktorer	29
4.13.3.3	Principer för metanjäsning	30
4.13.3.4	Rening av producerad gas	30
4.13.4	Bränslecell	30
4.14	Biomassa. Miljöeffekter	31
4.14.1	Miljöeffekter vid förbränning av biomassa	31
4.14.2	Miljöeffekter vid pyrolys av biomassa	31
4.14.3	Miljöeffekter vid metanjäsning	32
4.14.4	Miljöeffekter av ökat skogsuttag	32
4.15	Biomassa. Ytbehov	33
4.16	Energiskog. Energianalys	34
5.	Vindkraft	35
5.1	Vindkraft. Teori, egenskaper	35
5.2	Vindkraft. Tillgångar, nuläge	36
5.3	Vindkraft. Användningsområden	36
5.4	Vindkraft. Metoder för energiutvinning	37
5.4.1	Horisontalaxlade vindturbiner	37
5.4.2	Vertikalaxlade vindturbiner	37
5.4.3	Tornadokraftverk	38
5.4.4	Reglering av varvtal	38
5.5	Vindkraft. Miljöeffekter	39
5.6	Vindkraft. Energianalys	40
5.7	Vindkraft. Ytbehov	40
6.	Vattenkraft	42
6.1	Vattenkraft. Teori	42
6.2	Vattenkraft. Tillgångar, nuläge	42
6.3	Vattenkraft. Metoder för energiutvinning	42
6.4	Reglering av vattenkraft	43
6.5	Vattenkraft. Miljöeffekter	43
6.6	Vattenkraft. Ytbehov	43
7.	Saltgradientenergi (osmotisk energi)	45
7.1	Saltgradientenergi. Teori	45
7.2	Saltgradientenergi. Tillgångar, nuläge	45
7.3	Saltgradientenergi. Användningsområden	45
7.4	Saltgradientenergi. Metoder för energiutvinning	45
7.4.1	Metoder med membran	45
7.4.2	Svällande polymerer	46
7.4.3	Fasomvandlingar	46
7.5	Saltgradientenergi. Miljöeffekter	46
7.6	Saltgradientenergi. Ytbehov	47
8	Vågenergi	48
8.1	Vågenergi. Teori, egenskaper	48
8.2	Vågenergi. Tillgångar, nuläge	49
8.3	Vågenergi. Användningsområden	51

8.4 Vågenergi. Metoder för energiutvinning	51
8.4.1 Pneumatisk omvandlare.....	51
8.4.2 Mekaniska omvandlare.....	51
8.4.3 Överföring av elenergin till land	53
8.5 Vågenergi. Miljöeffekter	53
8.6 Vågenergi. Ytbehov.....	53
9. Temperaturgradientenergi i hav.....	54
9.1 Temperaturgradientenergi i hav. Teori.....	54
9.2 Temperaturgradientenergi i hav. Tillgångar, nuläge	54
9.3 Temperaturgradientenergi i hav. Användningsområde	54
9.4 Temperaturgradientenergi i hav. Metoder för utvinning.....	54
9.5 Temperaturgradientenergi i hav. Miljöeffekter	54
9.6 Temperaturgradientenergi i hav. Energianalys.....	55
10. Havsströmmar.....	56
10.1 Havsströmmar. Teori	56
10.2 Havsströmmar. Tillgångar, nuläge	56
10.3 Havsströmmar. Användningsområde	56
10.4 Havsströmmar. Metoder för energiutvinning	56
10.5 Havsströmmar. Miljöeffekter	57
11. Tidvattenenergi.....	58
11.1 Tidvattenenergi. Teori, egenskaper	58
11.2 Tidvattenenergi. Tillgångar, nuläge.....	58
11.3 Tidvattenenergi. Metoder för energiutvinning	58
12. Torv	60
12.1 Torv. Teori, egenskaper.....	60
12.2 Torv. Tillgångar, nuläge	60
12.3 Utvinning av torv.....	61
12.3.1 Förberedelser vid utvinning av torv	61
12.3.2 Torvupptagning	61
12.4 Transport av torv	62
12.5 Återställning och efterutnyttjande av torvmark.....	62
12.6 Torv. Produkter, användningsområden	62
12.7 Miljöeffekter vid utvinning och användning av torv.....	63
12.8 Torv. Energianalys.....	64
12.9 Torv. Ytbehov.....	64
13 Geotermisk energi.....	66
13.1 Geotermisk energi. Teori.....	66
13.2 Geotermisk energi. Tillgångar, nuläge	66
13.3 Geotermisk energi. Användningsområden	67
13.4 Geotermisk energi. Metoder för energiutvinning.....	67
13.5 Geotermisk energi. Miljöeffekter	68
13.6 Geotermisk energi. Ytbehov.....	68
Appendix 1 Energiflöden. Sammanställning.....	69
Appendix 2 Ytbehov för olika energikällor.....	70

NATURLIGA FYSISKA RESURSER

REFERENSER.....	71
LITTERATURFÖRTECKNING	72

1 INLEDNING

Dagens energiförsörjning är i Sverige och i andra i-länder i huvudsak baserad på fossila bränslen (kol, olja, naturgas) och kärnbränslen (uran). Dessa energikällor utgör lagerresurser vilka töms ut och skapar särskilda miljöproblem. Nybildning av resurserna sker ej, eller kan försummas i mänskligt perspektiv. Utvinning av energi ur dessa lagerresurser har alltså många nackdelar. Svaveldioxidutsläpp med bland annat åtföljande korrosionsproblem och försurning av mark och vatten, koldioxid- och tungmetallutsläpp, oljeutsläpp i hav vid transport av olja, är några av miljöeffekterna med fossila bränslen. Arbetsmiljöproblemen, speciellt vid kolbrytning, är stora. På grund av bland annat politiska och produktionstekniska skäl kan bristsituationer på dessa resurser också lätt inträffa.

Nackdelar med kärnkraft är flera. Förutom risker vid kontinuerliga radioaktiva utsläpp och utsläpp vid eventuella reaktorhaverier eller olyckor i andra led i den sk kärnbränslecykeln, finns risker för kärnvapenspridning, centralisering, sårbarhet i krig och krissituationer, införande av olika polisiära åtgärder för att förhindra plutoniumstölder, sabotage etc.

Konventionella kärnkraftverk får troligen problem med uranförsörjningen redan inom något eller några årtionden.

Breed-reaktorer (av engelskans breed = alstra) är kärnkraftverk som kan utnyttja ca 60 ggr mer energi ur uranet än vad konventionella kärnkraftverk (sk lättvattenreaktorer) gör, genom att den icke klyvbara uranisotopen U^{238} (som utgör drygt 99% av uranet, resten – knappt 1% – utgörs av U^{235} , som utgör bränslet i konventionella kärnkraftverk) omvandlas till klyvbart plutonium (Pu^{239}). Denna process tar dock lång tid. Det tar tiotals år för en breed-reaktor att omvandla tillräckligt med bränsle (plutonium) för att ladda och driva en ny reaktor. Kärnkraftsindustrin kommer sannolikt att under lång tid framöver få brottas med uranförsörjningsproblem även med satsning på breeder-reaktorer.

De tekniska riskerna med breeder-reaktorer ser ut att bli avsevärt större än med konventionella kärnkraftverk. Breeder-teknologin kräver bl a en omfattande plutoniumhantering.

Fusionskraft innebär utnyttjande av en annan lagerresurs (väte eller litium). De utvinnbara energimängderna är dock oerhört stora. Fusionskraften befinner sig på grundforskningsstadium, varför dess framtida användning är svårbedömd.

Jag har i detta kompendium sammanställt uppgifter om energiutvinning ur naturliga flödesresurser som solenergi, vindenergi, vågenergi, saltgradientenergi, temperaturgradientenergi i hav, havsströmmar, tidvattenenergi och geotermisk energi samt ur fondresurser som biomassa, vattenkraft och torv, som delvis kan betraktas som en fondresurs. Teori, egenskaper, tillgångar, nuläge, användningsområden, metoder för

energiutvinning, miljöeffekter, ytbehov och energiekonomi har behandlats. Resurser med inga eller ringa tillämpningar för Sverige har behandlats endast kortfattat.

För fördjupningar i ämnet hänvisas till referenser och litteraturförteckningen.

2 ENERGI - EXERGI

2 ENERGI - EXERGI

Allt som händer innebär en omsättning av energi, en omvandling av energi från en form till en annan. Energi förstörs eller nyskapas aldrig. Däremot kan energins kvalitet förändras. Totalt sett försämras energins kvalitet ständigt. En förbättring av kvaliteten på energin på ett ställe förutsätter en ännu större försämring någon annanstans. Man kan också säga att oordningen, entropin ständigt ökar.

Med exergi hos ett system i en viss omgivning menas den maximala mängd av en fullständigt ordnad energiform som kan utvinnas ur systemet i denna omgivning. Exergi är den i alla andra energiformer omvandlingsbara delen av energin, den nyttiga delen av energin. Exergi är alltså ett kvantitativt mått på energi, som även tar hänsyn till kvaliteten, ordningen. Energi- och exergibegreppen kompletterar varandra för att ge en bra beskrivning av verkligheten.

Även om solenergi har ca 93% exergiinnehåll är den ej ideal ur energisynpunkt, eftersom det krävs stora ytor för att samla in energin.

Ytterligare begrepp som är intressanta är energi-, exergi- och effekttätheter.

3 SOLENERGI

3.1 Solenergi. Teori, egenskaper

Solens yta har en temperatur av ca 6 000 K och utsänder elektromagnetisk strålning, fotoner, med energi

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

där E är energi, h är Plancks konstant, dvs $6.63 \times 10^{-34} \text{ J s}$, ν är frekvens, λ är våglängd, c är ljushastigheten i vakuum, dvs $3 \times 10^8 \text{ m/s}$. $\lambda = 500 \text{ nm}$ ger $E \approx 4 \times 10^{-19} \text{ J} = 2.5 \text{ eV}$.

Den solenergi som når jordytan ligger i våglängdsområdet 300-2500 nm (0.5-4 eV). Strålning med våglängd under 300 nm absorberas av ozonskikt på 20-40 km höjd (stratosfären). Strålning med våglängd över 2500 nm absorberas av koldioxid och vattenånga i atmosfären.

Exergiinnehållet i solenergi är i medeltal ca 93% av energiinnehållet. Ju högre fotonenergi, desto högre blir halten exergi.

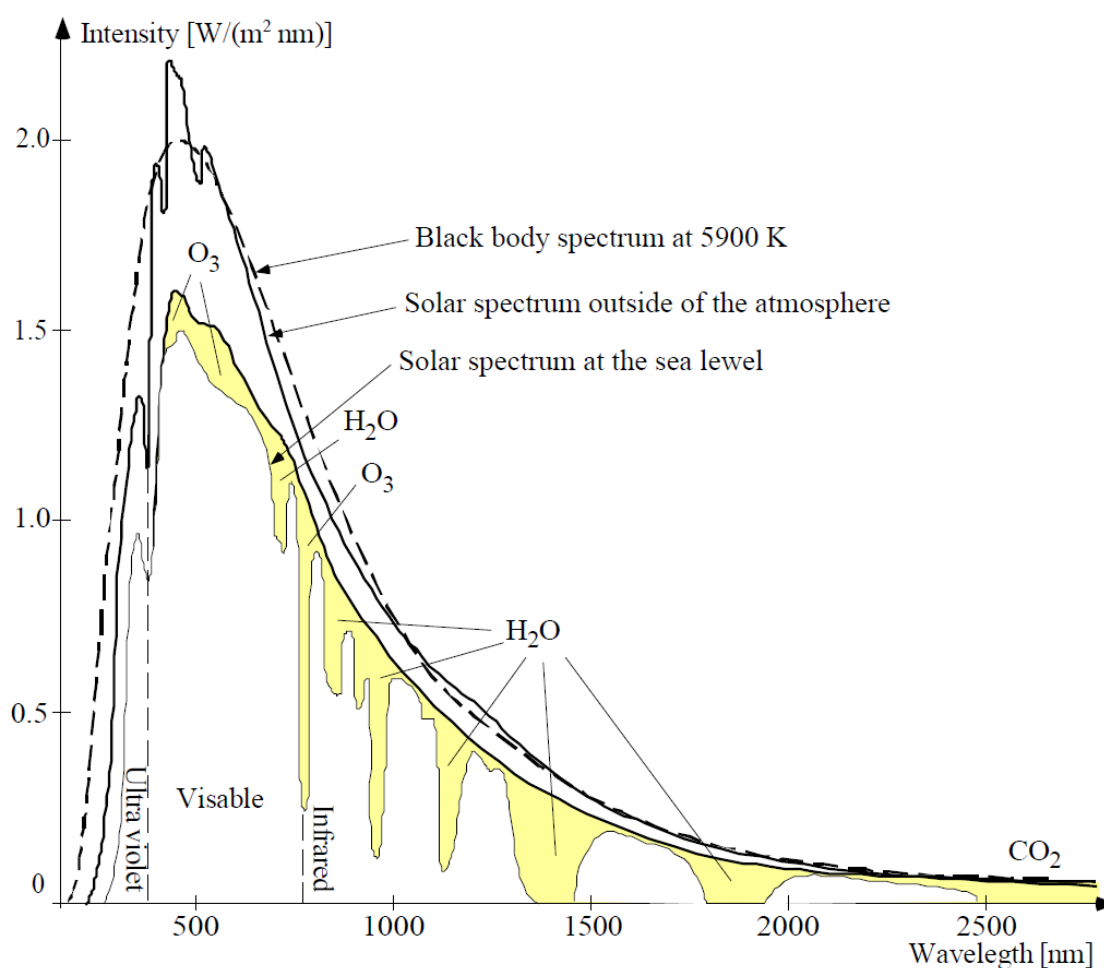


Fig. 3.1.a Solljusets spektralfördelning vid jordytan

Solen utstrålar totalt 4×10^{26} W. Av denna effekt infaller 1.7×10^{17} W⁵⁾ mot jorden. Utanför jordatmosfären är solstrålningens intensitet (vinkelrätt mot solen) 1350 W/m². På jorden är intensiteten (vinkelrätt mot solen) i medeltal 800 W/m² när solen skiner. Vid inträdet i atmosfären reflekteras 30% av solstrålningen. Ytterligare 20% absorberas i medeltal i atmosfären av i huvudsak moln, varför 50% av mot jorden infallande solenergi når jordytan. 6% av den energi som når jordytan reflekteras direkt, vilket gör att 47% av den ursprungliga energin absorberas vid jordytan på något sätt.

Eftersom jorden står i värmebalans med sin omgivning strålar absorberad solenergi förr eller senare ut igen i form av långvågig värmestrålning.

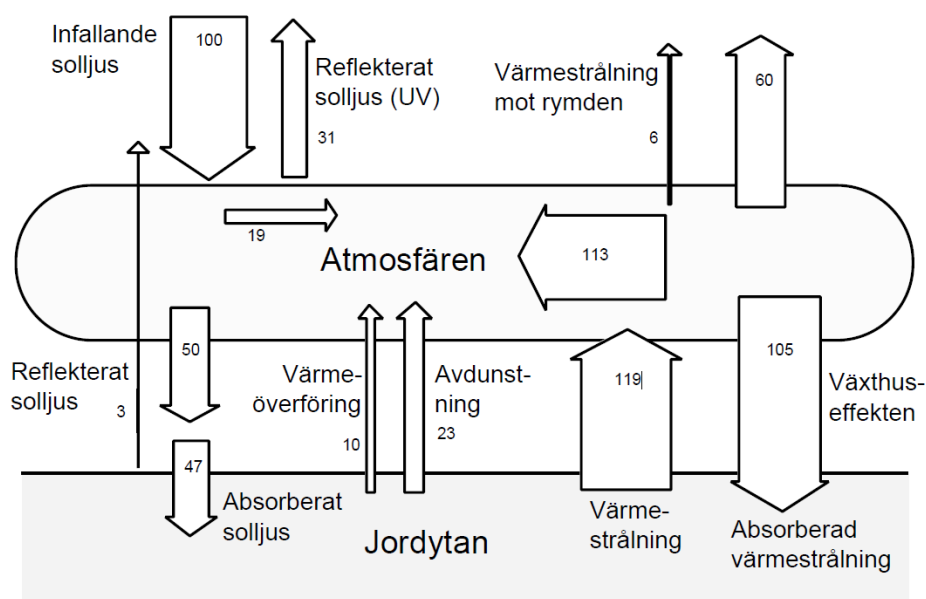


Fig. 3.1.b Energiflöden mellan solen, jordatmosfären, jordytan och den omgivande rymden. Procentuella andelar av en solinstrålning på 100%

På grund av brytning och spridning av solljuset i atmosfären är inte all solstrålning som når jordytan parallell, utan en andel blir diffust ljus. Halten diffust ljus ökar med mängden vattenånga, fria vattendroppar och andra partiklar i luften. I Sverige är andelen diffust ljus ca 50% av den totala instrålningen. På sommaren är andelen diffust ljus ca 20% och på vintern ca 80%.

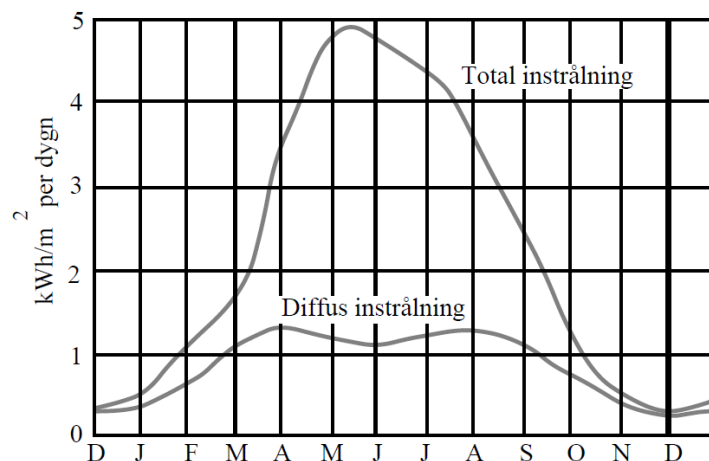


Fig. 3.1.c Genomsnittlig instrålning mot en horisontell yta. Totalvärde och andel diffust ljus

I Stockholm mottar en vertikal söderorienterad yta total mer energi per ytenhet än en horisontell yta. Optimal lutning med horisontalplanet är ca 60°. Ju närmare ekvatorn man kommer desto mindre lutning med horisontalplanet skall en söderorienterad yta ha för att ta emot så mycket energi som möjligt.

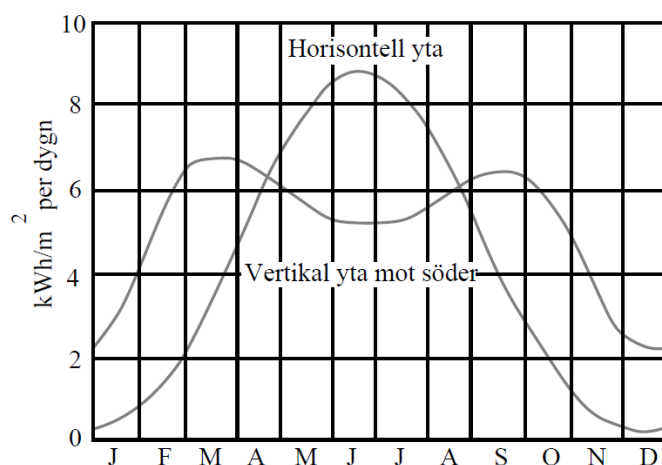


Fig. 3.1.d Solinstrålning i Stockholm under klara dagar.

3.2 Solenergi. Tillgångar, nuläge

Mot jorden infaller årligen 1500 miljoner TWh⁶⁾. 750 miljoner TWh når jordytan.

I de solrikaste områdena på jorden (t ex Sahara, Arizona) infaller maximalt 3400 kWh/m²år på horisontella ytor. Sveriges landyta mottar 360000 TWh/år. Solinstrålningen i Sverige på horisontella ytor varierar mellan 800 kWh/m²år (norra Norrland) och 1000 kWh/m²år⁵⁾ (Skåne).

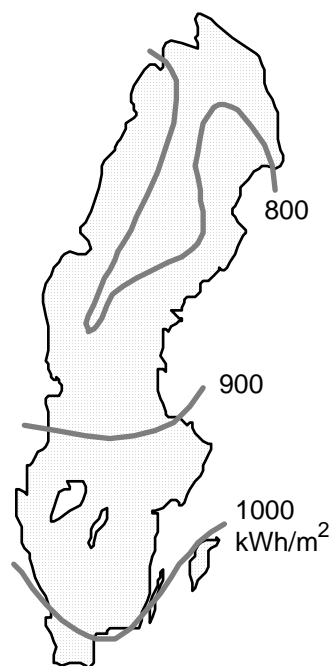


Fig. 3.2 Totalt infallande solenergi per år i Sverige

Det finns fungerande system som omvandlar solenergi till nyttig värme, elenergi, mekanisk energi etc, men de flesta tillämpningar är ännu ej lönsamma.

3.3 Solenergi. Användningsområden

Det ligger nära till hands att utnyttja solenergin till uppvärmingsändamål. Idag svarar solenergin för en del av byggnaders värmebehov, utan att speciella solfångare förekommer (5-10% beroende på orientering av hus och fönster). Energisnålt byggda hus (välisolerat, värmereglerat etc) kan med solfångare och ett kompletterande energilagringssystem klara hela värmebehovet. Andra attraktiva möjligheter är generering av elenergi och bränslen.

För att generera högttemperaturvärme för t ex industriella processer krävs att ljuset koncentreras, och då andelen diffust ljus (kan ej koncentreras) är hög i Sverige är sådana tillämpningar inte så aktuella i vårt land. Direkt omvandling till mekanisk energi är också möjlig, men attraktivare i de flesta fall som detta kan vara aktuellt torde vara att först generera elenergi.

De flesta former av solenergiutnyttjande kräver kompletterande energilagring.

Vid elproduktion kan elenergi föras ut till elnätet, varför lagring kan undvikas. På grund av vattenkraftens reglerbarhet kan elnätet "ta emot" elenergi från exempelvis vindkraft och solkraft, som inte ger en mot behovet svarande elproduktion.

3.4 Solenergi. Metoder för energiutvinning

Vid bostadsuppvärmning kan man skilja på passiva och aktiva system. Passiva system innebär att solenergi utnyttjas utan att speciella solfångare förekommer. Noggrann orientering av husen i förhållande till solen och markgeografin, lämplig dimensionering och placering av fönster, bra isolering, termostater etc, gör att värmebehovet minskar till hälften eller mindre än i motsvarande hus med normal energistandard. I aktiva system används solfångare i kombination med ett energilagringssystem.

3.4.1 Termiska solfångare

En solfångare (solpanel) absorberar solenergi och omvandlar den till nyttig värme.

Princip för utförande. En solfångare har en svart ljusabsorberande yta från vilken värmen transporteras med vatten eller luft. En selektiv svart yta, dvs en yta som har hög absorptionsförmåga för solinstrålning, samtidigt som strålningsförlusterna är små, är lämplig att använda. På absorptionsytan är rör fastsatta, eller också är ytan genomdragen av kanaler. I dessa strömmar vatten eller luft.

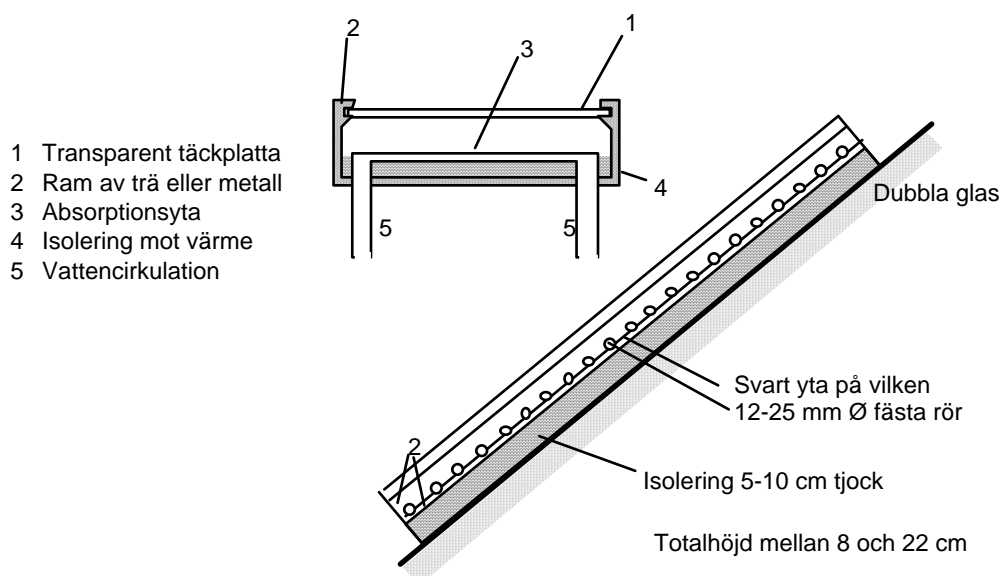


Fig. 3.4.1 Typisk solfångare för takinstallation. Överst genomskärning på tvären.
Nederst genomskärning på längden

För att man skall kunna erhålla energi vid användbara temperaturnivåer måste den svarta ytan ha betydligt högre temperatur än omgivningen, och därmed blir värmeförluster från solfångaren ett problem. Baksidan och sidorna kan isoleras så att förlusterna den vägen blir försumbara. Värmeförlusterna från framsidan kan begränsas genom glasning, vilket också har en selektiv effekt. Detta reducerar dock infallande energi, i synnerhet vid snett infall. Lednings- och konvektionsförluster kan undvikas genom att ha vakuum inne i solfångaren.

Orientering. Solfångarens vinkel med horisontalplanet bör vara den aktuella ortens breddgrad plus 10°. För Sverige blir således optimal lutningsvinkel ca 70°. Reduceringen av tillgänglig solenergi om lodräta solfångare används är ganska liten. Absolut söderläge är inte heller nödvändigt. Avvikelser på upp till 25° från söderläge ger liten minskning av tillgänglig energi.

Verkningsgrad. Teoretiskt kan 100% av infallande solenergi tillvaratas som nyttig värme, men i praktiken uppträder förluster. Transmissionsförluster genom "fönstret" (normalt av glas) är 15-20%, 80-95% av solenergin som passerar genom fönstret kan absorberas. Alltså 65-80% av infallande strålning kan tillvaratas. Förluster i kollektorn är en funktion av arbetstemperatur (större förluster vid högre temperatur) och uppträder i form av ledning, konvektion och strålning. Lednings- och konvektionsförlusterna kan göras försumbart små.

Absorberande ytor med infraröd emissivitet på 0.15 är ej svåra att erhålla. Med emissivitet menas förhållandet mellan utstrålad energi och den energi en perfekt svart yta skulle utstråla. Verkningsgraden för en solfångare sjunker med minskande intensitet på solinstrålningen.

I praktiken torde energiverkningsgrader mellan 60 och 75% kunna erhållas. För systemet solfångare kombinerad med energilagring torde det vara möjligt att nå upp till 30-40% energiverkningsgrad.

Med energiverkningsgrad på 60% blir exergiverkningsgraden 12% om solfångarna avger värme med temperaturen 80°C och omgivningens temperatur är 15°C.

3.4.1.1 Solfångare för husuppvärmning eller varmvattenberedning

Man kan åstadkomma ett självcirkulerande system, solfångare – vattentank, genom att placera tanken ovanför solfångaren. Vattnet värms upp i solfångarens slingor och stiger i ledningen till tankens topp. Det kallare vattnet i tankens botten sjunker i en ledning till solfångarens underkant och sluter kretsloppet. Om vattentanken är placerad nedanför solfångaren måste värmesystemet kompletteras med en pump.

Vid värmetransport med luft blir alla delelement större. För att lagra värmen kan här användas ett utrymme med runda småstenar där luften får passera och avge sin värme.

Fördelar med system med vattenburen värme är bl a stor värmekapacitet och att det ger ett enkelt varmvattensystem. Nackdelar kan vara frys- och korrosionsproblem. Ett system med luftburen värme har inga frysproblem. Nackdelar är att det fordrar stort fläktarbete för att luften ska cirkulera, att det är utrymmeskrävande (stenförrådet blir ca 3 ggr större än om vattentank används) och att värmeövergångsmotståndet mellan luft och fast material är stort.

3.4.1.2 Kombination solfångare – värmepump

Genom att kombinera solfångare med värmepump kan solfångarens arbetstemperatur sänkas. Då minskar också energiförlusterna och därigenom ökar solfångarens energiverkningsgrad, vilket också ger möjlighet att bättre utnyttja strålning från en mulen himmel.

Med värmepump kan man ladda ett värmemagasin med värme från en solfångare till betydligt högre temperatur än vad som eljest skulle vara möjligt. Likaså kan man med samma värmepump kyla magasinet till lägre temperatur då dess värmeinhåll skall tillgodogöras.

Om värmepumparnas effektivitet och tillförlitlighet förbättras ökar möjligheterna för solenergiutnyttjande i bl a industriprocesser (torkning, kylning, frysning). Observera att värmepumpen drivs av elenergi som har 100% exergiinhåll, medan de energivinster som erhålls gäller värme med lågt exergiinhåll.

3.4.1.3 Solfångare för spannmåls- och hötorkning

Vid torkning av spannmål och hö har man behov av energi under juni, juli, augusti och i vissa fall i september. Under denna tid är solinstrålningen som störst i Sverige.

Solfångare kan användas i hö- och spannmålstorkar. Infångad solenergi avges till torkluften i form av värme. Torktiden kommer härmed att förkortas. Teoretiska beräkningar visar att man skulle kunna öka en spannmålstorks (typ kalluft) kapacitet från att användas två gånger under säsongen till tre. Kortare torktid medför att mindre elenergi till fläktar kommer att krävas. Torkens dimensioner kan minskas.

För spannmål är det lämpligt med 0.5-1 m² solfångaryta per torkat ton. En möjlighet är att bygga solfångare som en del av den takyta som vetter mot söder.

Vid kalluftstorkning (utan solfångare) och under förutsättning att spannmålen (22% vattenhalt) torkas till 15% vattenhalt är elförbrukningen 20 kWh per ton spannmål. Vid hötorkning är ett riktvärde 60 kWh per ton torkat hö.

3.4.2 Energilagring för husuppvärmning

För soluppvärmda hus finns behov av kort- och långtidslagring av energin.

För en soluppvärmd villa behöver ca 40% av energin lagras.⁷⁾

Vattenlagring. Användning av vatten som lagringsmedium är en möjlighet. Centrala lager för flerfamiljshus eller grupper av småhus reducerar lagerkostnaderna och värmeförlusterna. Eftersom värmeinhållet är proportionellt mot tankvolymen, medan värmeförlusterna är proportionella mot tankens omslutningsyta, har en stor tank stora fördelar. För att bättre tillgodogöra sig värmen kan man dela upp lagret i flera tankar med olika temperaturer. En möjlighet att bygga ett stort värmelager är att isolera en bit av en sjö och använda denna som energilager.

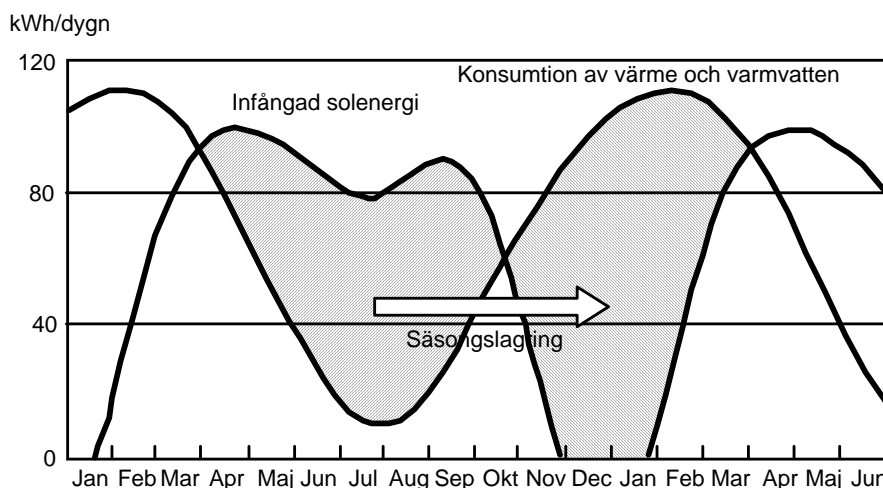


Fig. 3.4.2 Typisk energibalans för ett soluppvärmt småhus med säsongslagring i ett icke läckande värme-lager, och utan extra energitillförsel för uppvärmning och varmvattenberedning

Om man antar att en välisolerad villa förbrukar 15000 kWh/år till uppvärmning och tappvarmvatten, och att 40% av energin behöver lagras, behövs en vattentank på 230 m² om värmeförluster i lagringssystemet försummas.

Lagring i smältor. När ett ämne övergår från fast form till flytande form åtgår energi utan att temperaturen stiger (smältvärme). Aktuella ämnen är i första hand salter. Volymen av saltsmältor är 1/8-1/5 av vad som behövs för vattenlager. Smältlagring under en längre tid är praktiskt svårt att lösa.

Stenmagasin. Stenmagasin som energilager används i första hand för solvärmda hus med luft som energibärare.

Stenmagasin upptar 3-5 ggr så stor volym som ett vattenlager med samma energilagringskapacitet.

3.4.3 Solceller

Solceller omvandlar solenergi till elenergi. Solenergin har ett exergiinnehåll på 93%, vilket gör att teoretiskt sett skulle 93% av solenergin kunna omvandlas till elenergi. Högsta teoretiska verkningsgrad för solceller ligger dock på 25%.

Den nuvarande solcellforskningen är koncentrerad på halvledarceller. En sådan består i princip av två tunna skikt, där det ena skiktet är en halvledare av p-typ och det andra skiktet en halvledare av n-typ. I pn-övergången finns en potentialskillnad på ca 1 volt som driver fram elektroner som exciterats av infallande solenergi. Endast fotoner med ett energiinnehåll överstigande det s k energigapet (1-2 eV) kan utnyttjas. Detta gör att hela den infraröda delen av solspektrum över en viss våglängd ej kan utnyttjas. För fotoner med energi större än energigapet går överskottsenergin förlorad som värme. Dessa båda förhållanden gör att mindre än hälften av inkommande solenergi skulle kunna omvandlas

till elenergi. När man tar ut effekt reduceras den teoretiska verkningsgraden till ca 25%. Av tekniska skäl reduceras sedan verkningsgraden ytterligare.

Halvledarceller fungerar även för diffust ljus.

Med hjälp av speglar eller linser kan solljuset koncentreras. Vissa typer av solceller fungerar bra även för koncentrerat ljus.

3.4.3.1 Kiselceller

Kiselceller är de solceller som i dag använts mest, och som i framtiden är mest aktuella, bl a beroende på den stora tillgången på kisel. 27% av jordskorpan utgörs av kisel, och tillgängligheten är god.

En typisk kiselcell visas i Fig. 3.4. Solljuset infaller mot täckglaset.

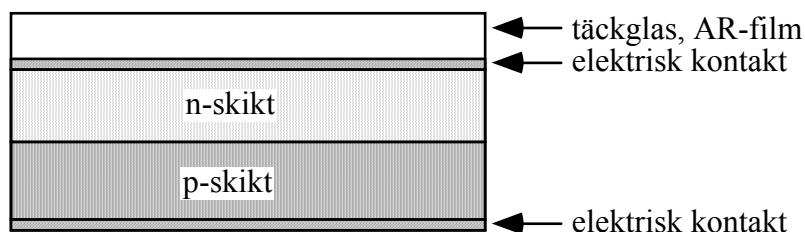


Fig. 3.4 Kiselcell

Kisel dopad med bor ger material av p-typ. Fosfor används som dopämne vid material av n-typ. Skiktet av n-typ är endast ca 0.2-0.5 μ m.

Man har framställt enkristallina kiselceller med 20% verkningsgrad. För massproducerade kiselceller torde 10-15% verkningsgrad vara möjligt att erhålla. Kiselceller tål ej högre koncentration än 10 ggr det direkta solljuset.

3.4.3.2 Galliumarsenidceller

Galliumarsenidceller (GaAs) tål hög koncentration, upp till 2000 ggr det direkta solljuset. 23% verkningsgrad har erhållits. De är dock avsevärt dyrare än kiselceller.

3.4.3.3 Celler av kadmiumsulfid/kopparsulfid

Celler av kadmiumsulfid/kopparsulfid (CdS/CuS) har betydligt lägre verkningsgrader och kortare livslängd än kiselceller. De är dock billigare än kiselceller.

3.4.3.4 Solcellkraftverk

Idéskiss till ett solkraftverk: Solceller monteras på betongpaneler med ytan 2.5 \times 6 m². Panelerna placeras i rader med ett radavstånd på 5 meter. Panelerna får 45° vinkel med

horisontalplanet. Anläggningen förses med ett elektriskt övervakningssystem och en central dator övervakar panelernas kondition.

Solcellerna och betongpanelerna kommer att utgöra de största kostnaderna. Driftskostnaderna för solcellkraftverk lär bli obetydliga. Avskrivningskostnaderna för kapital är den stora posten.

3.4.3.5 Kombination solcellpanel – termisk solfångare

Man kan låta solceller utgöra absorptionsyta i en termisk solfångare. En del av solenergin omvandlas till elenergi och kanske 50% av återstående energi kan omvandlas till nyttig värme.

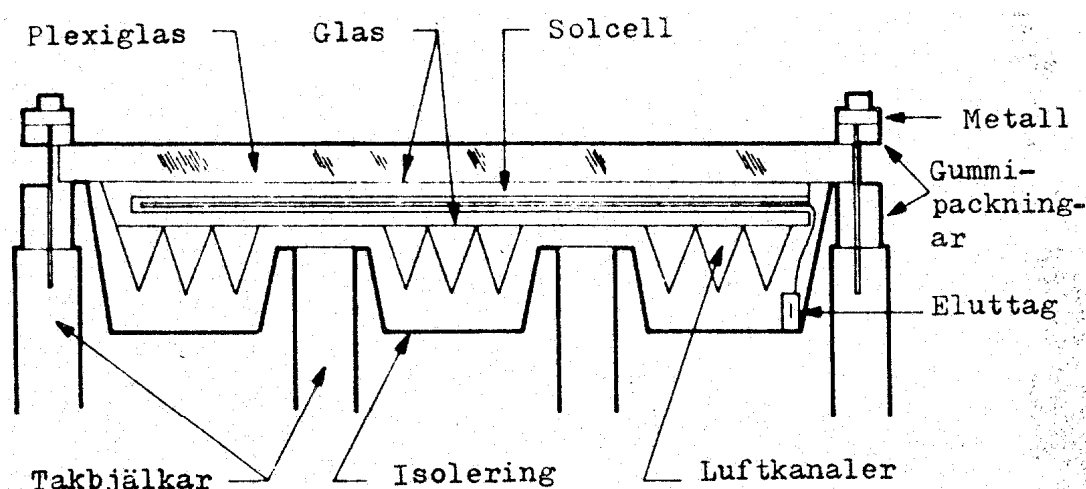


Fig. 3.4.3.5 Tak- eller vägghängd panel med solceller inbyggda i en solfångare

3.4.4 Solmotorer

I solmotorer kan solenergi omvandlas till mekanisk energi. En solmotor har en solfångare som avger värme med tillräckligt hög temperatur för att kunna driva en värmemotor. Värmemotorer bygger ofta på principen om ett materials förångning, sammandragning eller utvidgning. Den vanligaste värmemotorn är ångmaskinen. Här driver vattenånga en kolv fram och tillbaka så att ett hjul roterar.

Solmotorer kan driva pumpar, ångturbiner och andra mekaniska anordningar.

Redan 1870 byggde John Ericsson en solmotor. Solmotorer finns för närvarande ej i kommersiellt utförande.

3.4.5 Fotogalvaniska celler

Om den ena eller båda elektroderna i en elektrolytisk lösning belyses, uppkommer en spänning mellan elektroderna, och elenergi kan utvinnas. Elektrolyten innehåller ett

färgämne som kan absorbera en viss del av solljusets spektrum, och någon metall som kan uppta och avge elektriska laddningar utan att själv varaktigt förändras.

Än så länge kan endast en bråkdel av ljuset utnyttjas. Metoden befinner sig på grundforskningsstadiet.

3.4.6 Fotoelektrolytiska celler

Om den ena elektroden i en elektrolytisk cell utgörs av en halvledare, kan vid solbelysning syre frigöras vid halvledarelektroden. Elektroner strömmar över till den andra elektroden där vätgas frigörs. Om halvledarmaterialet utgörs av titandioxid kan uppemot 10% av solenergin utnyttjas.

Metoden befinner sig på grundforskningsnivå.

3.4.7 Micellära fotokemiska system

Flerfotonprocesser ger bättre teoretiska möjligheter till hög verkningsgrad än enfotonprocesser. I micellära system förekommer flerfotonprocesser.

Micellära system består av miceller ("klot", "säckar") omgivna av ljuskänsliga molekyler, antenner. Micellerna hålls suspenderade i vatten med en måttlig täthet. Det är tänkbart att utvinna elenergi eller vätgas ur ett micellärt system. En fördel framför system med ljuskänsliga kemikalier i koncentrerade lösningar är att större inträngningsdjup för solljuset kan erhållas.

Grundforskning pågår, bland annat i Sverige.

3.4.8 Utnyttjande av solenergi som omvandlats till värme i luft

Värmepump. En värmepump tar energi från ett kallt medium och avger energin vid en högre temperatur. För att göra detta krävs arbete (exergi), vanligen i form av el.

Värme vid temperaturen 30°C har i förhållande till en omgivning med temperaturen 0°C ett exergiinnehåll på ca 10% av energin. En eldriven värmepump som upptar energimängden Q_1 vid 0°C och avger energin vid 30°C kräver sålunda teoretiskt sett $Q_{\text{driv}} = 0.1Q_1$ i drivenergi. Även drivenergi som omvandlats till värme kan avges vid den högre temperaturen, varför totalt $Q_2 = 1.1Q_1$ kan avges.

En värmepumps värmefaktor (COP = Coefficient of Performance) definieras som förhållandet mellan avgiven energi vid den högre temperaturen, och drivenergi, dvs Q_2/Q_{driv} . I vårt exempel blir värmefaktorn $1.1 Q_1/0.1 Q_1 = 11$. I praktiken är värmefaktorn oftast endast 2-4.

Värmepumpar var år 1977 installerade i byggnader med ett totalt värmebehov på 0.7 TWh/år⁸) 0.55 TWh svarar värmepumpar för. Drivenergin för värmepumparna

uppgår till 0.25 TWh, varför energin upptagen från luften är 0.3 TWh. Årsmedelvärde för värmefaktorn är 2.2.

3.4.9 Utnyttjande av solenergi som lagrats i markskikt (ytjordvärme)

Ett fungerande system som utnyttjar yttjordvärme är följande: Man gräver ned ett system av plastslangar i t ex en gräsmatta. Nere i jorden är det ständigt 4-6 plusgrader i opåverkad mark. Genom slangarna pumpas vatten runt i ett ständigt kretslopp. Vattnet avger sin värme till en värmepump som avger värme vid för uppvärmningsändamål lämpliga temperaturer.

3.5 Solenergi. Miljöeffekter

3.5.1 Miljöeffekter med solfångare

Klimatpåverkan. Primärt påverkas klimatet genom att en solfångare omvandlar en större del av solstrålningen till värme än vad marken gör. Om solfångare ersätter energilagring, t ex olja, blir dock värmeförlusterna väsentligt reducerade.

Estetiska synpunkter. Estetiskt förefaller nybyggda solvärmda hus kunna bli likvärdiga med andra nybyggen. Införande av solfångare i befintlig bebyggelse kan vara störande ur estetisk synpunkt.

Arbetsmiljö. Tillverkning och montering av solvärmeutrustning förefaller ej medföra några nya miljö- eller hälsorisker jämfört med vad som gäller konventionellt byggande.

3.5.2 Miljöeffekter med solceller

Klimatpåverkan. Stora solcellanläggningar kan ge upphov till lokala klimatförändringar (dimma, nederbörd) genom nedkylning. Solenergi som eljest skulle ha omvandlats till bl a värme omvandlas här till elenergi som transporteras bort från området.

Arbetsmiljö. Arbetsmiljöproblem vid tillverkning och montering av solcellutrustning torde inte skilja sig från vad som idag är vanligt förekommande i industriell verksamhet och på byggplatser. Tillverkning och skrotning av kadmiumsulfidceller kan dock medföra förgiftningsrisker.

3.6 Solenergi. Energianalys av solceller

För närvarande är energiåterbetalningstiden för kiselceller ca 20 år. I USA räknar man med att när solceller svarar för en signifikant del av elproduktionen kommer energiinsatserna att uppgå till 10% av utvunnen energi. Kanske kan

energiåterbetalningstiden för kiselceller reduceras till ett halvt år. För solcellkraftverk måste vid energianalys även tas hänsyn till energinsatser i övriga komponenter, t ex betongpaneler eller aluminiumramar.

Solceller som utnyttjas i mindre skala, t ex på hustak, kan ersätta byggnads material vilket måste räknas på "pluskontot" i en energianalys.

Om energin måste lagras före användning, måste hänsyn tas till energiinsatser och förluster i energilagringssystemet.

3.7 Solenergi. Ytbehov

3.7.1 Solfångares ytbehov

I Sverige mottar en horisontell yta 800-1000 kWh/m²år. Räknat över hela året mottar en vertikal yta något mer energi än en horisontell. Med 50% verkningsgrad erhålls 400-500 kWh/m² år.

3.7.2 Solcellers ytbehov

Ett solcellkraftverk med 1 km² solcellyta kan kräva en total anläggningsyta på 2-3 km². I Sverige mottar 1 km² ca 1 TWh solenergi per år. Om solcellernas verkningsgrad är 12% fås att kraftverket producerar 0.12 TWh/år. (Toppeffekt ca 100 MW). Antas en total anläggningsyta på 2.5 km² fås att 50 kWh/m² år utvinns.

För solceller i mycket småskaliga anläggningar, exempelvis placerade på hustak, kan totala ytbehovet anses vara lika med solcellytan. I detta fall fås att 120 kWh/m²år kan utvinnas.

4. BIOMASSA

4.1 Biomassa. Teori, egenskaper

Med biomassa avses organiskt material som härrör från växternas fotosyntes. Vid fotosyntesen bildas, med växternas klorofyll som enzym, kolhydrater och syre ur koldioxid, vatten och solenergi. Solenergi omvandlas till kemiskt bunden energi.

Fotosyntesen utnyttjar strålning endast i den synliga delen av spektrum, 400-700 nm. I huvudsak utnyttjas de blå och röda områdena (400-500 nm & 600-700 nm), vilka motsvarar 40-45% av instrålad energi. Den teoretiska verkningsgraden för fotosyntesen, räknat på allt infallande solljus, är 15%.

På grund av växternas egen andning, vegetationsperiodens korthet, brist på näringsämnen och vatten samt andra faktorer, är förhållandet mellan kemiskt lagrad energi och infallande solenergi oftast under 1%. I gynnsamma fall kan denna verkningsgrad uppgå till 4%. Sett över hela jordklotet lagras i växterna 0.1% av den solenergi som når jordytan.

Växterna har vanligtvis ett energiinnehåll mellan 4.5 och 5.0 kWh/kg (torrsubstans). Halm har ett energiinnehåll på 4.5 kWh/kg (torrsubstans) och ved 5.0 kWh/kg (torrsubstans). Energiinnehållet i produkterna varierar. I ved kan energiinnehållet uppgå till 5.6 kWh/kg (torrsubstans).

Kemisk energi är molekylärt sett rörelseenergi och potentiell energi. Atomkärnor och elektroner har rörelseenergi. Den potentiella energin härrör från elektromagnetisk attraktion mellan kärnor och elektroner, och repulsion mellan kärnor respektive elektroner sinsemellan. Kemisk bindning innebär förändringar av dessa kraftverknningar. Kemisk energi har i princip 100% exergiinnehåll.

4.2 Biomassa. Tillgångar, nuläge

Den solenergi som når jordytan uppgår till 7.4×10^8 TWh/år. Av denna energi binds 8×10^5 TWh⁹⁾ organiskt material bildat vid fotosyntesen. Mot Sveriges landyta infaller årligen 360 000 TWh, varav växterna lagrar ca 370 TWh.

I Sverige utnyttjas skog och skogsavfall som energiråvara inom den skogsbaserade industrin. Dessutom sker konventionell eldning av ved och avfall.

4.3 Biomassa. Skog

I Sverige är 234 000 km² produktiv skogsmark. Denna yta utgör 57% av Sveriges landyta. Skogens årliga tillväxt är 54 miljoner ton torrsubstans.¹⁰⁾ Torrsubstansens energiinnehåll är ca 5 kWh/kg, vilket gör att varje år lagras 270 TWh i våra träd. Skogsavfallet i form av hyggesavfall, röjningsavfall etc utgör en energi 65 TWh.¹¹⁾ Av

ekologiska och ekonomiska skäl bedöms 22 TWh vara möjligt att tillvarata av skogsavfallet.

4.4 Biomassa. Energiskogar

Odling av speciella snabbväxande träd, t ex sälg, poppel, al, skulle kunna ske för produktion av energiråvaror.

Om 1.5% av solenergin binds i träden skulle 150 000 kWh lagras per hektar. En sådan hög produktion skulle kräva intensiva insatser av gödsling och bevattning. Utan gödsling och bevattning skulle kanske 20 000 kWh lagras per hektar, dvs 0.2% av solenergin tillvaratas. Om skörden sker på hösten efter det att bladen fällts, minskas behovet av gödsling.

Kanske 10 000 km² mark finns i Sverige som är tillgängligt för snabbväxande odlingar. Nedlagd åkermark, sumpmark, strandängar i större delen av Götaland, Svealand, Norrlands kustland och delar av Jämtland anses vara tänkbara odlingsmarker. Konkurrens om marken kommer kanske att uppstå från jordbruk och konventionellt skogsbruk.

4.5 Biomassa. Sly

Man kan låta naturlig eller planterad sly växa upp på kalhyggen, och utnyttja den för energiutvinning. Man skördar ett par slygenerationer innan barrträd åter planteras.

Ur skogsvårdssynpunkt innebär slyodling stora fördelar. Lövträden har en markförbättrande inverkan och kommer troligen att höja markens produktion (boniteten). Snytbaggeproblemet kommer troligen att undvikas. Om sly får växa på hälften av den areal som kalhuggs så kommer efter tio år att växa sly på 12 000 km² skogsmark. Om 0.2% av solljuset tas tillvara på denna area (2 kWh/m²år) innebär detta 24 TWh/år. Sly torde också kunna odlas på ca 1000 km² kraftledningsgator, vilket skulle kunna ge 2 TWh/år.

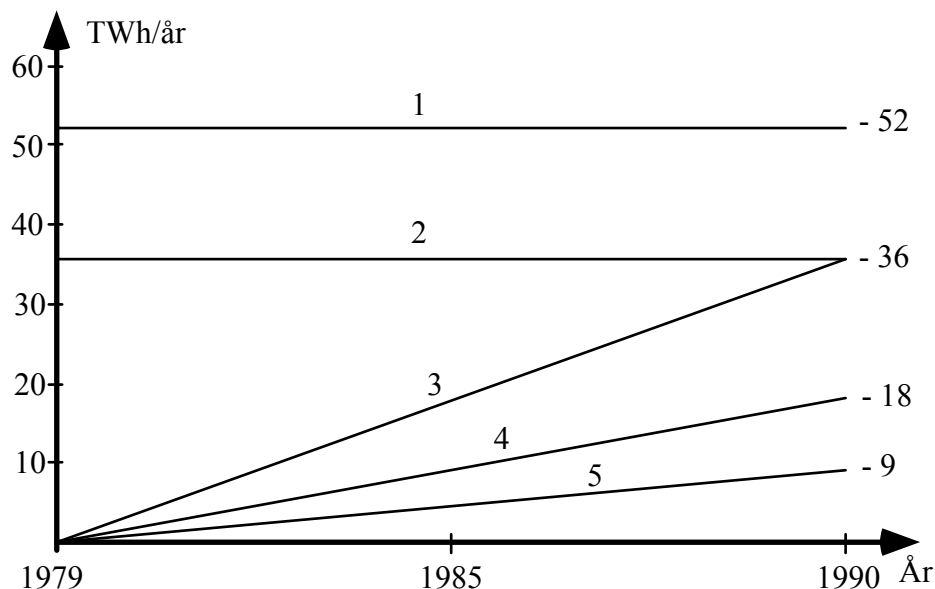
4.6 Biomassa. Vass

För att vass skall kunna användas för energiutvinning måste den finnas i täta bestånd. Sådana finns främst i eutrofa (närlingsrika) sjöar. Eutrofa sjöar finns framförallt i följande län: Malmöhus, Kristianstads, Gotlands, Skaraborgs, Östergötlands, Örebro, Södermanlands, Uppsala och Stockholms län.

Om 8% av landarealen i dessa län antas utgöras av sjöar, blir den totala sjöarealen ca 4 700 km². Om 10% av sjöarna i dessa län antas tillräckligt eutrofa och att dessa till hälften är täckta av vass så kan 235 km² utnyttjas för energiutvinning. Energipotentien i

dessa sjöar blir då ca 2.3 TWh per år (10 kWh/m^2)¹²⁾. Man får dock observera att många näringsrika sjöar med god vassproduktion också är värdefulla fågelsjöar.

Energiinnehållet i vass är ca 5.5 kWh/kg.



Kurva 1 = total mängd halm, blast och gödsel
 Kurva 2 = total mängd som är rimlig att omhänderta
 Kurva 3 = total mängd som jäses under tidsperioden 1979 - 1990
 Kurva 4 = rötgasproduktion per år
 Kurva 5 = nettoenergiproduktion per år

Fig. 4.8 Tillgångar av jordbruksavfall (halm, blast och gödsel) samt en plan för metanjäsning av halm och gödsel²⁾

4.7 Biomassa. Tång och alger

Odling av tång eller alger skulle kunna ge höga utbyten av biomassa. Grönalger kan utnyttja hushålls- och industriavfall som näring.

4.8 Biomassa. Jordbruksavfall

I jordbruket har den årliga skörden i Sverige ett energiinnehåll på ca 90 TWh.¹³⁾ Halm från säd och oljeväxter samt gödsel från nötkreatur, svin och höns är lämpliga energiråvaror.

Energiinnehållet i all halm är 25 TWh/år,²⁾ i gödsel 25 TWh/år. Metangasjäsning av all halm skulle årligen ge gas med en termisk energi av 12 TWh, metangasjäsning av gödsel skulle ge 8 TWh/år. Allt jordbruksavfall är dock ej tillgängligt för energiutvinning.

4.9 Biomassa. Skogsindustrins avfall

I Sverige producerar skogsindustrin årligen avfall med energipå ca 45 TWh. Avfallet är lämpligt som energiråvara, och för närvarande utnyttjas också nästan allt avfall som bränsle inom skogsindustrin.

4.10 Biomassa. Livsmedelsindustrins avfall

I Sverige är årlig mängd avfall från livsmedelsindustrin 1.7 miljoner ton. Torrsubstansen utgör ca 15% och har ett totalt energiinnehåll på 1 TWh.¹⁴⁾

Om torrsubstansen omvandlas till något lämpligt bränsle uppskattas bränslets energiinnehåll kunna uppgå till 0.75 TWh, Insatsen i energi skulle dock kräva 0.5 TWh, varför nettovinsten skulle bli 0.25 TWh.

4.11 Biomassa. Hushållsavfall

I Sverige produceras årligen ca 270 kg hushållsavfall per person. Sammansättningen utgörs (1970-1975) av 45% papper, 2% matrester, 12% glas, 5% plast, 5% metall och 13% övrigt (textilier, läder, gummi etc).

Hushållsavfallet har ett genomsnittligt värmevärde av ca 2.9 kWh/kg, vilket totalt ger ca 6 TWh/år¹²⁾

Försök i USA med metanjäsning av hushållsavfall tyder på att det hushållsavfall som produceras i Sverige skulle kunna ge ren metan motsvarande 2.5 TWh/år.

4.12 Biomassa. Produkter, användningsområden

Biomassa kan användas som råvara till nya bränslen av olika kvaliteter. Ved och halm kan direkt användas som bränsle för uppvärmningsändamål eller elproduktion.

Ett lämpligt sätt att förädla biomassa som ej innehåller trä (lignin) är att framställa metangas genom jäsning. Gödsel är en stor energiresurs väl lämpad för metanjäsning. Denna gödselbehandling skall inte enbart ses som metod för energiutvinning, utan bör också betraktas som ett sätt som ger uppenbara fördelar ur miljösynpunkt, växtnäringssynpunkt och teknisk synpunkt.

I svenska undersökningar har det beräknats att gårdar med 25-100 nötkreatursenheter skulle kunna bli självförsörjande på energi för uppvärmningsändamål genom metanjäsning av gödsel.

Metangas kan användas förutom till olika uppvärmningsändamål, till elproduktion, eller som drivmedel till bilar och traktorer. Omvandling av gasenergi till elenergi kan ske via otto- eller dieselmotor som driver en generator. Energiverkningsgraden för motorerna

är för närvarande 30%. Via värmeväxlare kan en del av värmeförlusterna återvinnas ur kylvatten och avgaser.

Om metangas skall användas som drivmedel måste den komprimeras till högt tryck och omlagras till gasbehållare som passar respektive fordonsslag. På grund av högt investeringsbehov och stor energiförbrukning vid komprimeringen är detta användningsområde ej så attraktivt.

Flytande metan är ett mycket högvärdigt bränsle, som skulle kunna användas inom industrier där man ställer höga krav på bränslet. Förbränning av metan ger koldioxid och vatten.

Biomassa innehållande trä kan pyrolyseras och härvid erhålls bl a träkol, metanol och vätgas. Metanol kan användas som bränsle i bilar om motorernas konstruktion ändras något. Nuvarande bilar skulle kunna köras på blyfri bensin blandad med 15 volymprocent metanol.

Av trä kan man framställa finmalet träpulver, som i framtiden kanske kan driva dieselmotorer. Det är troligt att avgaserna måste renas före utsläpp. Motorslitaget kan antas fördubblas. En liter olja motsvarar i energiinnehåll ungefär 5.7 liter träpulver. Ett kilogram olja motsvaras av 2.3 kilogram träpulver. För träpulverdieseln finns ännu olösta problem.

Ett bränsle är ur energisynpunkt värdefullare ju mindre syre det innehåller. Kol, vätgas och kolväten som ej innehåller något syre är förstklassiga bränslen. Men alkoholer är goda bränslen, därför att deras molekyler innehåller endast en syreatom per fem eller flera atomer kol och väte. I tabell 4.12 visas energiinnehållet i olika biomasseprodukter.

Tabell 4.12 Energiinnehållet i olika biomasseprodukter

Produkt	Energiinnehåll (kWh/kg)
Halm, torrsubstans	4.5
Halm, 90% torrsubstanshalt	4.1
Ved, torrsubstans	5.0-5.6
Ved, 85% torrsubstanshalt	4.1
Travad brännved, 60% torrsubstanshalt	2.7
Träavfall, 50% torrsubstanshalt	1.7
Metanol	5.4-6.1
Metan	14
Vätgas	33 [†]

[†]Flytande väte innehåller per liter ungefär 1/4 av den energi som innehålls i en liter olja.

4.13 Metoder för framställning av energibärare ur biomassa

4.13.1 Pyrolysis

Med pyrolysis kan en mängd olika organiska material omvandlas till andra typer av energibärare. Ved, sly, halm och avfall är aktuella utgångsmaterial.

Vid pyrolysis upphettas det organiska materialet under starkt begränsad syrgastillförsel. Vid lågtemperaturpyrolysis upphettas materialet till maximalt 500°C. Vid högtemperaturpyrolysis är temperaturer över 500°C aktuella. Utgångsmaterialet som består av komplicerade kolvätemolekyler sönderdelas termiskt och en mängd nya kolväten bildas. Mer än 80% av ursprungsmaterialets värmevärde kan utnyttjas genom pyrolysisprodukterna.

Cellulosa är den dominerande beståndsdel i trä, sly och halm. Vid pyrolysis av cellulosa bildas en gasblandning som innehåller brännbara gaser, t ex vätgas och metan. Det bildas också flytande produkter som kan indelas i pyrolysolja och en s k vattenfraktion. Pyrolysoljan kan destilleras eller användas som motorbränsle (tändkulemotorer). Vattenfraktionen, vid pyrolysis av trä benämnd tjärvatten, består av vatten och däri lösta ämnen, bland annat B-tjära, metanol och ättiksyra. Metanol är ett utmärkt bränsle.

Det bildas också en fast återstod som liknar träkol. Större delen av råvarans innehåll av oorganiskt material hamnar här. "Träkolsdelen" kan användas som bränsle. Fasta, flytande och gasformiga pyrolysisprodukter kan användas som utgångsmaterial till framställning av andra energibärare.

Utbytet vid pyrolysis kan variera kraftigt beroende på råvarans sammansättning. Andra faktorer som styr utbytet är temperatur, tryck och atmosfärens sammansättning vid pyrolysen.

4.13.2 Katalytisk reduktion

Katalytisk reduktion är en process där organiskt material blandas med kolmonoxid vid ett tryck av ca 300 atmosfärer och temperaturen 350-400°C. Utgångsmaterialet omvandlas till oljebränsle. Oljans svavelhalt är 0.1-0.3% och värmevärdet är drygt 9 kWh/kg. Ca 80% av kolet i cellulosamaterial kan omvandlas till olja. Fördelen jämfört med pyrolysis är att den framställer en enda produkt. Det är möjligt att den katalytiska reduktionsprocessen blir en dyrare process än pyrolysis.

4.13.3 Metanjäsning

Metanjäsning är en biokemisk process som med dagens teknik fungerar för biomassa som ej innehåller några större mängder lignin (trä). Utgångsmaterial lämpat för metanjäsning är, bland annat, följande.

Jordbruksavfall, Gödsel från nötkreatur, svin och höns samt halm, potatisplast, sockerbetsblast och annat vegetabiliskt avfall.

Avfall från människor. Latrin, avloppsvatten och hushållsavfall.

Avloppsvatten från livsmedelsindustrin.

Levande biomassa. Gräs och vass.

Energiinnehållet i metan är ca 50% av ursprungsmaterialets energiinnehåll.

4.13.3.1 Processförlopp

Nedbrytning av organiskt material sker under anaeroba förhållanden (frånvaro av syrgas) under inverkan av bakterier. Processen kan indelas i tre steg.

1. Hydrolyssteg Olika organiska substanser, cellulosa, proteiner och fetter hydrolyseras (spjälkas) till enkla lösliga organiska föreningar, t ex glukos, aminosyror och fettsyror.

2. Det syrabildande steget Hydrolysisprodukten tas upp av olika mikroorganismer och bryts ned till ett antal organiska syror, främst ättiksyra, samt vätgas och koldioxid.

3. Det metanbildande steget Produkterna från det syrabildande steget bildar substrat för de metanproducerande mikroorganismerna som omvandlar dessa till metan och koldioxid.

Det metanbildande steget är känsligt vad gäller temperaturjämvikt, PH, strikt anaeroba förhållanden m m, och kommer att vara begränsande för processen i sin helhet.

Gasens sammansättning är en funktion av ursprungsmaterial och process. Används gödsel som råvara innehåller gasen 55-75% metan, 25-35% koldioxid, samt en del andra gaser i små mängder (t ex väte, kväve, svavelväte och vattenånga).

4.13.3.2 Några processreglerande faktorer

Metangasproduktion är optimal vid en viss torrsbstanshalt (ts-halt). För gödsel är ts-halten mellan 7% och 10%. Kol/kväveförhållanden (C/N-kvoten) får ej överstiga 30-35. Vid metangasjäsning ur gödsel (låg C/N-kvot) förbättras utbytet om halm eller trädgårdsavfall (hög C/N-kvot) inblandas.

Två temperaturoptima finns för de metanbildande bakterierna, 30-40°C och 50-65°C. Temperaturen måste hållas konstant ($\pm 2^\circ\text{C}$).

Den mikrobiella uppehållstiden i jästanken är avgörande för nedbrytningsgraden och därmed för metanproduktionen.

4.13.3.3 Principer för metanjäsning

Mesofil jäsning Temperatur 32-38°C

Termofil jäsning Temperatur 55-65°C

Kontinuerlig jäsning Jästanken beskickas kontinuerligt en eller ett par gånger per dygn. Genom överströmningssystem avges motsvarande volymer restprodukt.

Satsvis jäsning Vanligen två eller flera jästankar som utnyttjas så att medan jäsning pågår i en jästank sker tömning av den andra jästanken.

Enstegsjäsning Jäsning försiggår i ett oavbrutet förlopp i samma jästank.

Tvåstegsjäsning Processen är uppdelad i två steg som sker i skilda utrymmen. Hydrolyssteget sker huvudsakligen i den första jästanken och det metanbildande steget i den andra.

Fullständig jäsning Med fullständig jäsning menas jäsning så att 90% av gasvolymen utvunnits. Utbytet kan aldrig bli 100%.

Ofullständig jäsning Jäsning sker under reducerad uppehållstid, vilket motiveras av att jäsningsprocessen är intensivast i sitt första skede. Ofullständig jäsning möjliggör större omsättning av materialet under en viss period.

Mesofil jäsning kräver mindre energi för uppvärmning och ger mindre värmeförluster än termofil jäsning. Kontinuerlig jäsning fordrar mindre energi för uppvärmning av biomassan än satsvis jäsning, och möjliggör användning av värmeväxlare.

Uppvärmning av biomassan kan tänkas ske med hjälp av solenergi.

För närvarande verkar mesofil, kontinuerlig, fullständig jäsning enligt en- eller tvåstegsprincipen vara mest fördelaktig.

4.13.3.4 Rening av producerad gas

Reningen av gasblandningen kan uppdelas i två typer, dels borttagandet av i gasen obrännbara beståndsdelar, CO₂, H₂O och H₂S, dels rening från slampartiklar som medföljer gasen från reaktorn. Rening av gasen från obrännbara beståndsdelar medför att värmevärdet ökar och behovet av lagringskapacitet minskar. Svavel som ibland förekommer i gasen är mycket giftigt.

4.13.4 Bränslecell

En bränslecell är i princip en omvänd elektrolytisk cell, där kemisk energi i tillförda bränslen (rika på väte) omvandlas till elenergi. För bränsleceller med sur elektrolyt (fosforsyra) som arbetar vid 160-200°C omvandlas ca 40% av den kemiska energin till elenergi, ca 25% som högtemperaturvärme (ca 165°C) och ca 30% som lågtemperaturvärme (ca 70°C).

Exergiinnehållet i utvinningsprodukterna blir i detta fall totalt sett ca 53% av det ursprungliga exergiinnehållet.

Bränsleceller befinner sig på utvecklingsstadiet. Mot slutet av detta sekel är det tänkbart att verkningsgraden i omvandling av kemisk energi till elenergi uppgår till 55%.

4.14 Biomassa. Miljöeffekter

4.14.1 Miljöeffekter vid förbränning av biomassa

Koldioxidemissioner. Den koldioxid som frigörs i samband med förbränning av biomassa kan ej betraktas som luftförorening, eftersom den skulle ha frigjorts om växterna fått brytas ned på naturlig väg.

Svaveloxidemissioner. Förbränning av biomassa ger upphov till svavelutsläpp. Svavelhalten i biomassa överskrider dock sällan 0.5%.

Kolväteemissioner. Effekter av kolväteutsläpp är svåra att förutsäga. Utsläppens storlek beror på utgångsmaterialets sammansättning och val av teknologi.

Kväveoxidemissioner. Dessa emissioner är kraftigt teknologiberoende. Förbränningsförhållanden som leder till låga kväveoxidutsläpp främjar kolväteemissioner.

Partikelemissioner. Med tillgänglig teknik torde inte partikelutsläpp utgöra någon fara.

Metallemissioner. Metallinnehållet i olika växttyper varierar mycket kraftigt. Risker med biomassa tagen från "naturliga" ekosystem bör vara små.

Deponering av fast avfall. Askan innehåller växtnäringssämnen vilka är viktiga att återföra till ekosystemet. Deponering av aska bör ej förekomma. Vid deponering av aska i form av "upplag" kan yt- och grundvattenproblem uppstå.

Förluster av näringsämnen. Vid förbränning går näringsämnen förlorade. Förluster av kväve och svavel blir stora. Vissa näringsämnen kan återföras till det ursprungliga ekosystemet med askan.

4.14.2 Miljöeffekter vid pyrolys av biomassa

Arbetsmiljö. De pyrolysanläggningar (träkol- och tjärframställning) som byggdes i Sverige under andra världskriget var tämligen hårt olycksbelastade, bland annat genom bränder och explosioner. Vid bränder, explosioner eller andra olyckor kan pyrolysgas och pyrolysolja komma ut i anläggningen. Pyrolysgasen innehåller bl a koloxid som är giftig, samt vätgas och metan för vilka explosionsrisker förligger. Pyrolysoljan innehåller många ämnen som är mycket hälsofarliga, t ex fenoler och metanol. Olyckor i samband med pyrolyprocessen kan få allvarliga följder.

Förgiftningsrisker finns vid handhavande av flytande och gasformiga pyrolyspanprodukter, explosionsrisker vid handhavande av vätgas och metan.

Vattenföroreningar. Vid kolnings- och tjärframställningsanläggningar har konstaterats avsevärda vattenföroreningar, bl a fenoler och alkoholer.

Emissioner vid användning av pyrolyspanprodukter. Förbränning av pyrolyspanprodukter ger inga hälso- eller miljöfarliga restprodukter. Pyrolyspanprodukterna och den fasta återstoden ger bl a svaveloxider, kväveoxider och polyaromatiska kolväten vid förbränning. Kväveoxidutsläppen kan bli stora. Det är mycket låg svavelhalt i pyrolyspanprodukterna. Om biomassa från "naturliga" ekosystem används blir troligen tungmetallutsläppen försumbara.

Förluster av näringsämnen. Om biomassa används som energiråvara via pyrolyspan, går näringsämnen förlorade från ekosystemet där biomassan producerades. Det blir fråga om stora kväve- och svavelförluster medan fosfater och metaller kan återföras.

Pyrolyspan av avfall. Om avfall pyrolyseras torde de miljöproblem som är förknippade med avfallshantering reduceras.

4.14.3 Miljöeffekter vid metanjäsning

Det är svårt att kvantifiera miljöeffekterna vid metanjäsning. Fig. 4.14.3 visar var risker kan tänkas uppstå.

Förluster av näringsämnen. Om biomassa används som utgångsmaterial vid metanjäsning kan större delen av näringsämnena återföras till jorden. Speciellt intressant är att kvävet – till skillnad från pyrolyspan – kan återföras. Det är dock möjligt att kvävet är bundet på sådant sätt att det ej direkt är tillgängligt för växterna.

Metanjäsning av avfall. Miljöproblemen i samband med avfallshantering kan reduceras kraftigt genom metanjäsning av avfallet. Metangasjäsning av gödsel resulterar, i förhållande till obehandlad gödsel, i en mindre luktande produkt och en avdödning eller reduktion av bakterier och parasiter. Den ger också ett homogent, i stort sett oförändrat och mer lättillgängligt växtnäringsinnehåll samt en lättare hantering vid utkörning och spridning.

4.14.4 Miljöeffekter av ökat skogsuttag

Med oförändrad skogsareal kan ett ökat råvaruuttag ske genom större utnyttjande av tillgängliga resurser eller genom "jordbrukisering" av skogsbruket, dvs mer avancerade odlingsmetoder, gödsling, dränering, skadedjursbekämpning mm. De ekologiska konsekvenserna av ett ökat skogsuttag är komplicerade och ännu ej tillfredsställande undersökta.

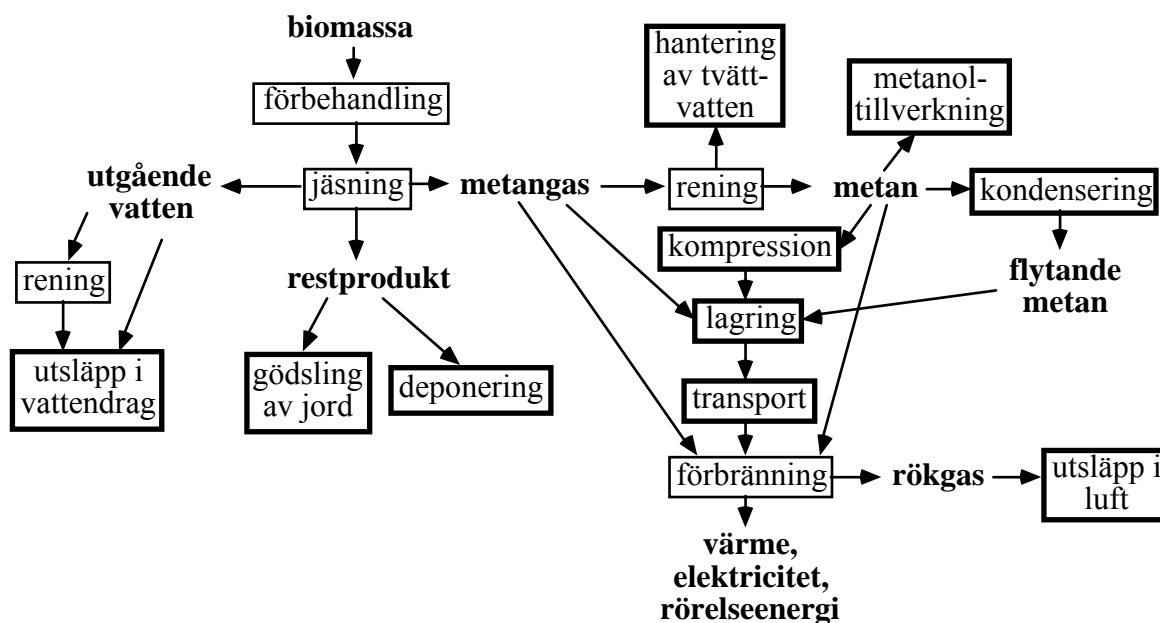


Fig. 4.14.3 "Riskschema" över metanjäsnings.
 Varje steg som kan innebära en möjlig risk betecknas med en "fet" låda.

Helträdsutnyttjande. Vid helträdsutnyttjande tas grenar, barr, stubbar och rötter tillvara. På kort sikt skulle 30-40% mer råvara tas ur skogen genom ett helträdsutnyttjande. En ökad borttransport av näringsämnen och organiskt material skulle ske. Jordens innehåll av organiskt material bestämmer bl a jordpackning, mineral- och vattenhållande förmåga.

Många viktiga metaller (Mo, Cu, Zn, Mg) som är viktiga mikronäringsämnen tros vara koncentrerade till barr och grenar. Ett helträdsutnyttjande kräver sannolikt gödsling för att produktionen ej ska minska. Det finns risk för erosion och ökad vattenavrinning, vilket kan medföra urlakning av näringsämnen och förlust av organiskt material. Skadeinsekter och skadesvampar kan få ändrade livsbetingelser.

Gödsling. Vid gödsling finns risk för urlakning av näringsämnen, främst nitrater. Detta kan ge upphov till en höjning av nitrathalten i omgivande vatten, vilket medför hälsorisker.

4.15 Biomassa. Ytbehov

I Sverige lagras ca 370 TWh/år i växter på land, vilket innebär ca 1 kWh/m²år. För energiskogar finns förhoppningar att uppnå över 20 kWh/m²år. Vass lagrar ca 10 kWh/m²år.

4.16 Energiskog. Energianalys

Tabell 4.16 Energibalanskalkyl för ett antal alternativa energiskogsbrukssystem⁷⁾

Alternativt odlingsystem	Använd energi kWh/ha			
	Naturligt säljbestånd	Gödslat säljbestånd	Ogödslat säljbestånd	Intensivodlat pilbestånd
<u>Insats:</u>				
Produktion av sticklingar	-	-	50	200
Dränering, markberedning och beståndsanläggningar	500	1000	1000	2000
Gödsling (medel+spridning)	-	7000	-	10000
Vattenreglering/bevattning	-	-	-	600
Skogsskötsel	100	100	150	200
Skörd, mekaniserad	300	400	500	700
Transporter, i snitt <60 km	250	400	400	900
Flisning, torkning	150	300	300	400
Tillverkning av maskiner	500	800	1000	1000
Produktionsförluster under omdrevet	200	1000	600	2000
Summa insatser	2000	11000	4000	28000
Summa uttag (m ³ /ha/år)	10	20	15	40
Summa uttag	18000	36000	22500	72000
Utbyte	9:1	3:1	5.5:1	2.5:1
Nettoproduktion	16000	25000	18500	44000

5. VINDKRAFT

5.1 Vindkraft. Teori, egenskaper

Vindenergi är en form av mekanisk rörelseenergi och har sålunda 100% exergiinnehåll.

Vindens effekt, dvs vindens kinetiska energi per tidsenhet som strömmar genom en tvärsnittsarea är

$$P = \frac{\rho A v^3}{2}$$

ρ är luftens densitet, dvs 1.29 kg/m^3 . A är tvärsnittsarean, v är vindhastigheten.

Effekttätheten P/A , dvs effekten per ytenhet (tvärsnittsarea) blir

$$\frac{P}{A} = \frac{\rho v^3}{2}$$

Effekten är alltså proportionell mot vindhastighetens tredje potens.

Några exempel på effekttätheter vid olika vindstyrkor:

$v = 5 \text{ m/s}$	ger	$P/A = 80 \text{ W/m}^2$
$v = 11.5 \text{ m/s}$	ger	$P/A = 1000 \text{ W/m}^2$
$v = 20 \text{ m/s}$	ger	$P/A = 5200 \text{ W/m}^2$

Energi kan utvinnas ur vinden via vindturbiner. Teoretiskt största möjliga energiutbytet för en vindturbin i en fri luftström är $16/27$ dvs ca 59% av vindenergin. Detta fås då vinden bromsas till en hastighet som är en tredjedel av den ursprungliga hastigheten.

Vindarna ger över längre tidsperioder (år) konstant effekt. Korttidsvariationerna i effekt är en av vindenerginns nackdelar. I Sverige kan stiltjeperioder på upp till 6 dagar i sträck förekomma på sommaren. Vintertid är 3-4 dagar maximala stiltjeperioder.

Ett stort antal geografiskt väl utspridda vindkraftverk skulle kunna producera elenergi så att korttidsvariationerna (minuter – timmar) i stor utsträckning utjämnas. Även på lite längre sikt (dagar – veckor) skulle en relativt jämn energiutvinning kunna ske. Men det kommer att behövas ett kompletterande energilagringssystem för att vinden ska kunna ge "prima kraft".

Energiuttaget vintertid blir minst dubbelt så stort som sommartid, vilket överensstämmer väl med efterfrågesituationen på elkraft. Vidare är elbehovet störst i södra Sverige där det också blåser mest. De största vindenergiressurserna finns i närheten av kusterna. Markfriktionens inverkan gör att vindhastigheten ökar med höjden över marken. I kustterräng är den tillgängliga vindenergin på 100 m höjd i allmänhet tre gånger så stor som på 10 m höjd. I inlandet kan förhållandet öka till en faktor fem à sex.

5.2 Vindkraft. Tillgångar, nuläge

I genomsnitt omvandlas två procent av den solenergi som faller in på jorden till vindenergi. Detta innebär en energipotential på ca $2 \cdot 10^7$ TWh/år. Tillgängliga vindenergiressurser har uppskattats till ca 100 000 TWh/år.¹⁵⁾ I Sverige uppgår total vindeffekt till ca 1 TW vilket innebär ca 10000 TWh/år.¹⁶⁾

De ur vindsynpunkt intressantaste områdena, inom vilka det blåser minst 7 m/s på 100 m höjd under halvåret (medianvind) finns utmed västkusten, i stora delar av Skåne, på Öland och Gotland, öster om Vättern samt i norra Uppland. Dessa områden omfattar totalt 12000 km². Med restriktioner för bl a områden för friluftsliv och kulturminnesvård och med 1 km avstånd till samhällen återstår 7500 km² där 32 TWh elenergi bedöms kunna produceras under normalår. Detta förutsätter 3300 vindkraftverk med turbindiameter 100 meter, samt att aggregaten i medeltal står 1.3 km från varandra.

Områden med 6-7 m/s medianvind på 100 m höjd skulle överslagsvis ge 90 TWh/år. Tillgänglig yta är 23000 km² och ca 13000 aggregat med turbindiameter 100 meter krävs. Totalt sett skulle alltså på de nämnda ytorna ca 120 TWh/år kunna utvinnas.¹⁶⁾

5.3 Vindkraft. Användningsområden

För Sverige är omvandling till elenergi av störst intresse. Elproduktion till kraftnätet är lämpligt genom att vattenkraften kan utnyttjas för produktionsutjämning.

Upp till 5000 MW⁹⁾ (motsvarar ca 15 TWh/år) torde kunna tas omhand i det svenska kraftsystemet utan andra lagringsmagasin än de som redan finns i anslutning till vattenkraftverken. Elproduktion kan också bli aktuell på platser där anslutning till kraftnätet skulle bli mycket dyrbar, exempelvis enligt belägna gårdar eller vissa fyrplatser. Batterier kan här användas för lagring av energin.

Direkt uppvärmning eller elproduktion för lokala uppvärmningsändamål medger att kraven på reglering kan sänkas samtidigt som energilagringen torde kunna åstadkommas till rimliga kostnader genom uppvärmning av vattentank eller stenlager. Jämfört med elproduktion till kraftnätet är dock konkurrensläget sannolikt avsevärt sämre.

5.4 Vindkraft. Metoder för energiutvinning

5.4.1 Horisontalaxlade vindturbiner

Den horisontalaxlade snabblöpande vindturbinen är i dag den bäst utvecklade turbinen, bland annat beroende på att man här har kunnat dra stor nytta av kunskaper inom flygteknik.

Med en horisontalaxlad turbin försedd med två slanka blad, där bladen täcker endast ca 3% av den svepta ytan, kan upp till 80% av den utvinnbara energin tillgodogöras. Bladspetsarna rör sig med ca 100 m/s.

Om man ökar antalet propellerblad till tre eller fyra kan turbinen göras något effektivare, men kostnaden ökar kraftigt eftersom bladen svarar för en stor del av totalkostnaden för ett vindkraftverk.

Med en enbladig turbin (det felande bladet ersätts av en motvikt) minskar utvunnen energi ca 10%. Vibrationsproblemen förefaller här svårlösta.

5.4.2 Vertikalaxlade vindturbiner

Darrieus turbin. I de vertikalaxlade systemen är Darrieus-turbinen den hitills intressantaste. Den är uppbyggd av två eller flera blad med symmetrisk profil som fästes i bägge ändarna av en vertikal axel. När vinden träffar turbinen alstras ett moment som driver bladen att rotera kring axeln. Verkningsgraden är något sämre än för de bästa horisontalaxlade vindturbinerna.

En stor nackdel med Darrieus-rotorn är det höga startmomentet, vilket gör att den sätter igång att rotera först vid rätt höga vindhastigheter. Man får överväga elektrisk start eller använda en hjälpturbin. Den kräver större bladyta än horisontalaxlade system och blir därigenom mera materialkrävande och sannolikt dyrare.

Till skillnad från de horisontalaxlade systemen behöver Darrieus-rotorn ej riktas in mot vinden utan fungerar för alla vindriktningar. Den får en mycket enkel utformning. Masscentrat är lågt och konstruktionen blir därigenom stabil.

Savoniusturbin. Savoniusturbinen består av två halvcylindrar som är fästade vid en vertikalaxel. Materialåtgången blir 30-50 ggr större än för en snabblöpande horisontalaxlad vindturbin med samma svepta yta. Den har goda startegenskaper. En förenklad version av denna är mycket populär som blickfångande reklamskylt.

Giromillturbin. Den består av raka, profilerade blad vertikalt monterade kring en vertikal axel. På grund av centrifugalkraftens inverkan på bladen måste varvtalet hållas lågt. Den teoretiskt beräknade verkningsgraden är hög. Anordningen för kontinuerlig omställning av bladen är mycket komplicerad.

5.4.3 Tornadokraftverk

Tornadoprincipen bygger på att vinden avlänkas uppåt och samtidigt bringas i häftig rotation. Det partiella undertrycket i centrum (se fig 5.4.3) använts för att driva en turbin. Om gjorda antaganden är realistiska är ännu inte visat. Tornadokraftverken skulle bli mycket stora i dimensioner och effekt.

5.4.4 Reglering av varvtal

En mängd faktorer gör det nödvändigt att reglera rotners varvtal. Det finns två olika principer för reglering; reglering för konstant varvtal och reglering för maximal effekt.

Fördel med konstant varvtal är att vindaggregatet lätt ger 50-periodig växelström. Det vanligaste sättet att reglera horisontalaxlade system är att ändra bladvinkeln.

Reglering för maximal effekt är enklare och sker genom att variera belastningen. Effektvinst jämfört med reglering för konstant varvtal är 5-10%. En nackdel är att generatormåste ha hög nominell effekt, vilket gör att den blir dyr. En annan nackdel är att varvtalet varierar med vindhastigheten, vilket gör att omvandling av frekvensen måste ske innan strömmen kopplas ut på nätet.

Darrieuskraftverk måste regleras på detta sätt.

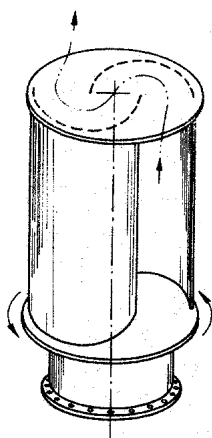


Fig. 5.4.2 a Savonius-turbin

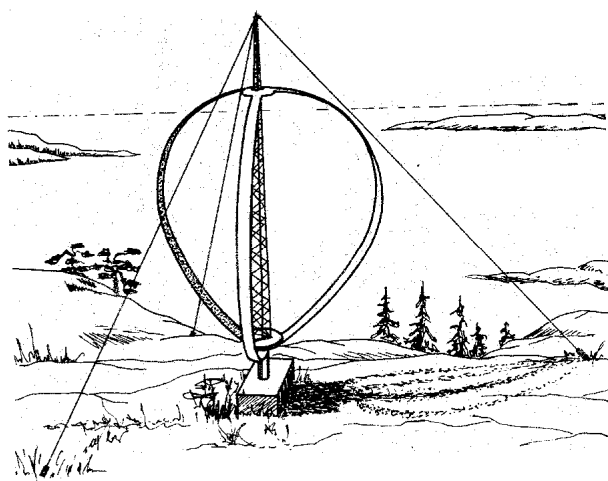


Fig. 5.4.2 b Darrieus-turbin

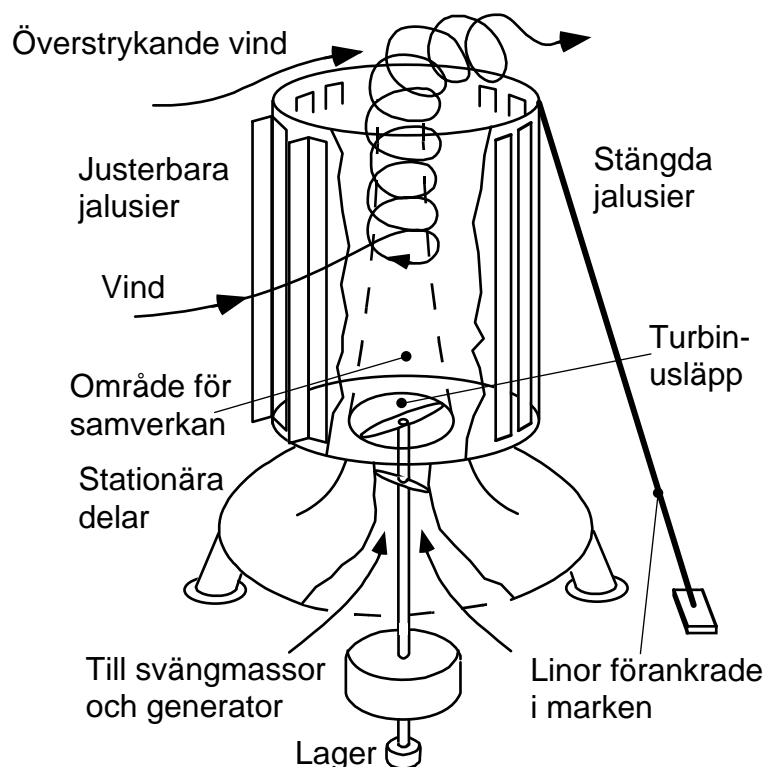


Fig. 5.4.3 Tomadokraftverk

5.5 Vindkraft. Miljöeffekter

Olycksfallsrisk. Enligt preliminära analyser finns den största risken vid ett eventuellt bladbrott inom 200 meters avstånd från aggregatet. Riskområdet är relativt oberoende av aggregatets storlek. Ett stålblad till ett 100 m aggregat kan väga ca 50 ton. Is som eventuellt kan bildas på vindturbinbladen vid speciell väderlek kan komma att lossna och i så fall kastas iväg upp till 600 meter från aggregatet. För att förhindra isbildning bör man kunna utnyttja förlustvärmen från generatorm till avisning genom att leda värmen ut i bladen i håligheter. Genomströmningen av varmluft kommer att underhålla sig själv på grund av centrifugalkraften.

Buller. Bedömningar har gjorts att turbiner med 50-100 m diameter kommer att bli hörbara upp till 500 m från aggregatet i vindriktningen. Mindre aggregat alstrar mindre buller. Infraljud, dvs ljud under hörbarhetsgränsen 20 Hz, innebär sannolikt inget problem.

Inverkan på landskapsbild. Ett 1 MW-aggregat (ca 50 m tornhöjd) kommer att kunna urskiljas på ca 5 km avstånd. Man räknar med att placera sådana aggregat i grupper med 0.5-1 km avstånd mellan aggregaten. Synintrycket kommer troligen att domineras av tornen eftersom turbinbladen är smala. (Jämför med dagens kraftledningar.)

Störning av fågelliv. De stora dimensionerna på ett aggregat gör att varvtalet blir lågt och bladens rotation blir lätt att följa med ögat. Riskerna torde vara mycket små att fåglar kolliderar med aggregaten så länge det är ljus. Huvuddelen av fågelflyttningar nattetid försiggår på mellan 150 m och 1500 m höjd. Aktuella aggregat kommer knappast att sträcka sig över 150 m.

Belysning av byggnadsverk kan ha en stor och ibland svårförklarlig inverkan på antalet fågelkollisioner. I flera fall har frekvensen av fågelkollisioner drastiskt minskats genom att fyrar försetts med fasadbelysning. I andra fall har antalet fågelskador ökat då fasadbelysning av byggnadsverk införts.

Telestörningar. Turbinbladens rotation kan komma att störa korta radiovågor (UKV, TV), särskilt om bladen är av metall. Det torde sannolikt bli fråga om lokal effekt. Om allvarliga störningar uppträder omöjliggörs vissa lokaliseringar av kraftverken.

Inverkan på lokalklimat. Inverkan på lokalklimatet blir sannolikt försumbart. Det är snarare tornet än turbinen som kommer att få den avgörande inverkan.

Arbetsmiljö. En del monteringsarbete, underhållsarbete etc, måste utföras på höga höjder. Riskerna finns att arbetare slinter och faller till marken.

5.6 Vindkraft. Energianalys

En kanske optimistisk tumregel är att 30% av den nominella effekten för ett aggregat kan erhållas som årsmedelvärde. Ur 1000 st 1 MW vindkraftverk kommer då att utvinna ungefär hälften så mycket energi som ur ett 1000 MW kärnkraftverk, som normalt har ca 60% av den nominella effekten som årsmedelvärde.

Energiåterbetalningstiden, dvs den tid det tar att ur ett enskilt aggregat utvinna lika mycket energi som har investerats i anläggningen, uppskattas till ca 1 år vid medianvindhastigheten 6 m/s och ca ett halvt år vid 7.5 m/s. Aggregatstorleken påverkar ej energiåterbetalningstiden i någon större utsträckning.

5.7 Vindkraft. Ytbehov

På grund av att vindkraftverken "skuggar" varandra kan de ej stå alltför nära varandra. Man får därför ta hänsyn till både bruttobehov och nettobehov när det gäller vindkraftens markanspråk. Bruttobehovet är den sammanlagda ytan av de områden inom vilka aggregaten står. Större delen av ytan påverkas ej på annat sätt än att vindkraftsaggregaten finns inom synhåll. Nettobehovet är den yta som krävs för aggregatet, fria ytor runt aggregatet samt för vägar och kraftledningar.

Bruttobehovet för ett 2 MW-aggregat uppskattas till ca 1 km², medan nettobehovet blir ungefär 0.02 km² (2ha).

Med ett årsmedelvärde för utvunnen effekt på 25% av den nominella effekten fås att utvunnen energi per m² markyta (nettobehov) och år blir ungefär 200 kWh/m²år. Om man räknar på bruttobehovet erhålls 4 kWh/m²år.

Med större aggregat ökar utvunnen energi per m² markyta och år.

6. VATTENKRAFT

6.1 Vattenkraft. Teori

När vatten faller från en nivå till en annan övergår vattnets potentiella energi till rörelseenergi som kan tas tillvara i ett vattenkraftverk.

Den tillgängliga effekten är:

$$P = Q \rho g h$$

P är effekt, Q är vattenföring, ρ är vattnets densitet, dvs 1000 kg/m^3 , $g = 9.82 \text{ m/s}^2$, h är fallhöjd.

För Stornorrforsens kraftstation i Umeälven är $Q = 400 \text{ m}^3/\text{sek}$, $h = 100 \text{ m}$. Dvs $P = 400 \times 1000 \times 9.82 \times 100 \text{ W} = 400 \text{ MW}$

Potentiell energi har 100% exergiinnehåll.

6.2 Vattenkraft. Tillgångar, nuläge

Den globala vattenkraftspotentialen uppgår till 20000 TWh/år – i Sverige 200 TWh/år. Ur de utbyggnadsvärda vattenkrafttillgångarna i världens vattendrag uppskattas ca 10000 TWh/år¹⁾ kunna utvinnas. För närvarande utvinns ca 1600 TWh/år.¹⁾ I Sverige uppgår tekniskt utbyggbar vattenkraft till 130 TWh/år.¹⁷⁾ Ekonomiskt utbyggnadsvärd vattenkraft uppskattas till 95 TWh/år.¹⁷⁾ 1975 utvanns ca 60 TWh/år.¹⁷⁾ från vattenkraften.

6.3 Vattenkraft. Metoder för energiutvinning

I vattenkraftverk får det fallande vattnet driva en turbin som förbinds med en generator som ger elektrisk energi.

Aktionsturbin. Vattnet har här all sin energi i form av rörelse då det påverkar turbinhjulet. Aktionsturbinen placeras något ovanför den nedre vattenytan, vilket gör att en del av fallhöjden går förlorad. Aktionsturbinen används i regel endast vid stora fallhöjder och begränsade vattenmängder.

Reaktionsturbin. Reaktionsturbinen är den vanligaste turbinen. Övertryck uppstår vid inloppet till turbinhjulet, varför större delen av vattnets energiinnehåll omvandlas till tryckenergi. För att dra nytta av fallhöjden mellan turbinhjulet och nedre vattenytan finns avrinningskanaler som är svagt trattformade. Här omvandlas till tryckenergi större delen av rörelseenergin i vattnet som lämnat turbinhjulet.

6.4 Reglering av vattenkraft

Reglering av vattenkraften sker i dammar och utförs för att få en utjämning av den naturliga vattenföringen. Så kallad årsreglering sker huvudsakligen i källområdet och medför stora höjdskillnader i vattenståndet.

Korttidsreglering sker i anslutning till kraftstationerna och leder till små höjdskillnader, men stora skillnader i vattenföring.

6.5 Vattenkraft. Miljöeffekter

Vattenkvalitet. Vattnets kvalitet påverkas av reglering. Grumlat vatten med hög sedimentationskoncentration innebär försämrade vattenkvalitet, vilket bland annat får negativa effekter vid vattenintag till samhällen och industrier.

Erosion. Marken i stränderna eroderas. Störst är erosionen de första åren, men den kan fortsätta i 20 - 30 år.

Växt- och djurliv. Fiskbeståndet förändras. I kraftverksmagasinen sker en förskjutning från eftertraktade laxartade fiskar till mört, abborre och gädda. Lekvandrande fisk som lax och laxöring blockeras av överbyggnaderna, vilket starkt reducerar dessa fiskbestånd.

Antalet växtarter minskar i strandvegetationen. Överdämning av fågelmarker innebär ofta svåra skador på fågellivet. Renens betesmarker och vandringsvägar kan sänkas under vatten.

Jord-och skogsbruk. Låglänta marker kan försumpas vid högt vattenstånd på grund av ändrade grundvattenförhållanden.

Bebyggelse. Ändrade grundvattenförhållanden kan leda till sättningar och skador på byggnader.

Estetiska värden. Estetiska värden förstörs då naturliga forsar och fall ersätts med lugnvatten, eller ibland med torrlagda älvsforor.

6.6 Vattenkraft. Ytbehov

Den yta som krävs för byggnader och ställverk i en vattenkraftstation är liten om man ser till de energimängder som utvinns. För att göra vattenkraften lättreglerbar anläggs dammar som reglerar vattenflödet. Härvid uppstår skador på jordbrusmark, skogsmark och annan mark.

Den dämningsskadade arealen för Luleälven uppgår till ca 183 km².¹⁸⁾ Längs älven finns installerat 3 020 MW som producerar ca 14.1 TWh elenergi per år. (Årsmedeffecten är ca 53% av nominella effecten). Om man beräknar utvunnen energi per dämningsskadad yta och år, erhålls för Luleälven 77 kWh/m²år. För Indalsälven och

NATURLIGA FYSISKA RESURSER

Umeälven är motsvarande värden 82 kWh/m² år, respektive 55 kWh/m² år. Ett medelvärde blir ca 70 kWh/m²år.

7. SALTGRADIENTENERGI (OSMOTISK ENERGI)

7.1 Saltgradientenergi. Teori

Skillnader i saltkoncentration mellan sötvatten och saltvatten ger möjligheter att utvinna energi vid sötvattenutflöden i hav. Ett system med sötvatten och saltvatten utgör ett ordnat system som strävar efter största möjliga ordning, dvs homogen blandning. Genom att konstruera hinder kan molekylerna tvingas uträtta arbete på sin väg mot homogen blandning.

Den tillgängliga energin kan skrivas:

$$U = n R T \ln \frac{X_{\text{sötvatten}}}{X_{\text{saltvatten}}}$$

där U = inre energi, n = antal mol sötvatten, $R = 8.31$ J/mol K, T = temperatur, X = vattnets molbråk.

Med temperaturen 280 K och salthalten 3% fås $U = 2500$ J per kilogram, sötvatten. Denna energi är lika stor som den potentiella energin i ett vattenfall vars fallhöjd är 250 meter. Saltgradientenergi har 100%-igt exergiinnehåll.

7.2 Saltgradientenergi. Tillgångar, nuläge

De globala tillgångarna av saltgradientenergi uppskattas till 20000 TWh/år.¹⁹⁾ Sveriges potential är ca 100 TWh/år.²⁰⁾ och bedömningar har gjorts att 10-40 TWh elenergi skulle kunna produceras per år. Idag finns ej saltgradientkraftverk någonstans i världen. Osäkerheten är stor beträffande saltgradientkraftverkens framtid.

7.3 Saltgradientenergi. Användningsområden

De nuvarande planerna att utnyttja saltgradientenergi gäller elproduktion.

7.4 Saltgradientenergi. Metoder för energiutvinning

7.4.1 Metoder med membran

Vid membranmetoder som bygger på direkt osmos har man ett membran som släpper igenom vatten men inte salt. Saltvatten placeras på ena sidan och sötvatten på den andra. Sötvatten strömmar igenom membranet in i saltvattenbehållaren, varvid saltvattnets tryck ökar. Processen avstannar då tryckskillnaden över membranet uppgår till omkring 25 atmosfärer. Genom en vattenturbin kan trycket överföras till arbete (Se Fig. 7.4.1)

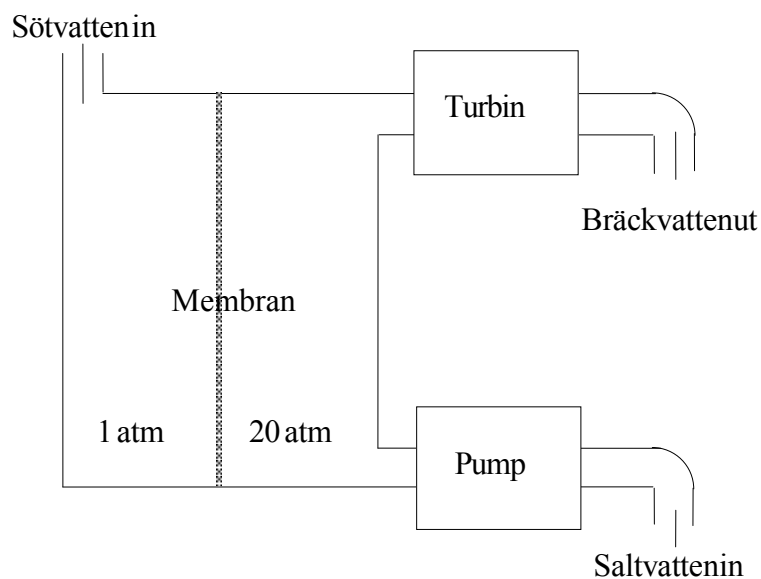


Fig. 7.4.1 Saltgradientkraftverk

Vid en annan membranmetod används en elektrokemisk cell med jonbytarmembran.

7.4.2 Svällande polymerer

Vissa polymerer ändrar volym i vatten med olika salthalt. Detta kan utnyttjas för direkt omvandling av saltgradientenergi till mekanisk energi.

7.4.3 Fasomvandlingar

Skillnader i ångtryck, liksom skillnader i fryspunkt mellan sötvatten och saltvatten kan teoretiskt utnyttjas för drift av en generator. Dessa metoder leder till mycket komplicerade och stora anläggningar.

7.5 Saltgradientenergi. Miljöeffekter

Bottenvatten kommer att föras upp mot vattenytan, vilket gör att ytvattnets temperatur sjunker på sommaren och stiger på vintern. Isbildning minskas. Risk för dimbildning finns främst vintertid.

Giftiga bottenfärger och tillsatser till vattnet för att förhindra beväxning kan komma att krävas.

7.6 Saltgradientenergi. Ytbehov

Beräkningar för ett fiktivt 200 MW saltgradientkraftverk placerat vid Nordre Älvs mynning (Göta Älvs norra arm) ger att en sådan anläggning skulle kräva en yta på ca 0.25 km² (250x1000 m²).

För att erhålla en jämn energiutvinning skulle dessutom Nordre Älvs fjord utnyttjas som regleringsmagasin. Ytan som behövs är 12 km². Genom att låta gränsytan mellan sötvatten och saltvatten röra sig mellan en eller två meters djup under ett dygn torde dock mycket små förändringar av Nordre Älvs fjords vattennivå uppkomma.

Om kraftverket kan erhålla 70% tillgänglighet, dvs om man kan utvinna 200 MW under 70% av året, blir den utvunna energin under ett år drygt 1.2 TWh. Utvunnen energi per ytenhet blir 5000 MWh/m² om Nordre Älvs fjords yta ej inräknas. (Östersjöns utlopp i Öresund motsvarar ca 15000 m³/s.)

8 VÅGENERGI

8.1 Vågenergi. Teori, egenskaper

När vindenergi överförs till vågenergi uppbyggs vågsystem vilkas karaktäristiska egenskaper måste anges i statistiska termer, eftersom vattenytans form ständigt varierar i ett mönster som aldrig upprepas. Vattenytan antar en form som kan uppfattas som en överlagring av sinusformade vågor med inbördes olika amplitud, frekvens och fortskridningsriktning, och med stokastiskt varierande fasvinklar. Vattenströmmen i havsvågor är inte ens riktad som i forsar och fall. Vattenpartiklarna beskriver nästan slutna kurvor. Energiflödet eller vågeffekten framskrider med halva våghastigheten.

Ett vågsystem kan karaktäriseras av storheterna $H_{1/3}$ = signifikant våghöjd = medelhöjd för den högsta tredjedelen av vågorna, och T = medelperioden hos vågorna. Vågsystemet rör sig över vattenytan och medför energi. Om denna helt kunde avledas i ett vertikalt snitt skulle en effekt kunna uttas som är proportionell mot produkten $T(H_{1/3})^2$.

På Nordatlanten kan vindhastigheter på 10 m/s ge upphov till vågor med $T = 6.0$ sek och $H_{1/3} = 2.5$ m. Effekten skulle bli ca 20 kW/m.

Det är teoretiskt möjligt att utsläcka vågorna i ett regelbundet vågsystem, dvs erhålla 100% verkningsgrad. I praktiken räknar man med att 70% verkningsgrad kan bli uppnåelig.

Vågenergi består av rörelseenergi och potentiell energi. På djupt vatten är vågenergin till lika delar rörelseenergi och potentiell energi. Exergiinnehållet i vågenergi är 100%.

På grund av vågenergens variation i tiden blir energiuttaget från vågkraftverk kraftigt fluktuerande.

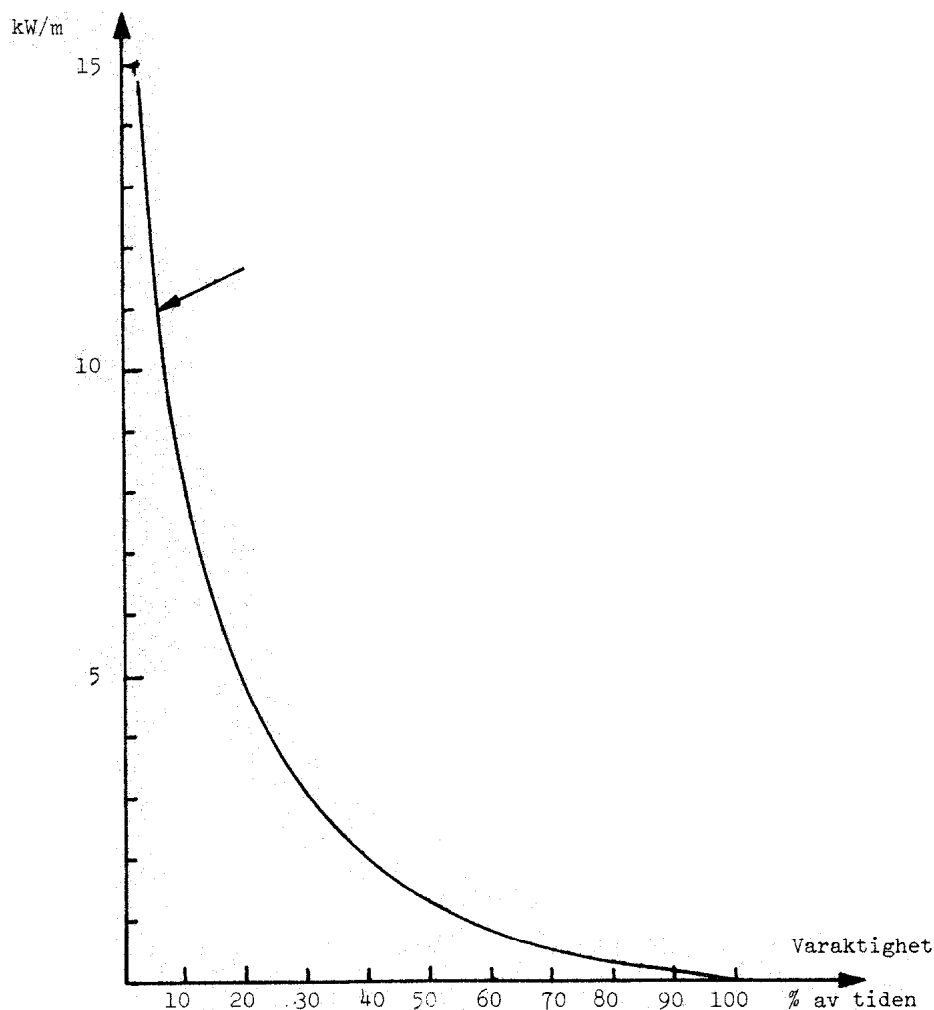


Fig. 8.1 Andel av tiden i procent som vågeffekten överstiger olika värden (observationsplats Fladen)

8.2 Vågenergi. Tillgångar, nuläge

Globalt uppskattas vågeffekten i havsvågor till 50 TW, vilket innebär ca 400000 TWh/år.²¹⁾ Endast en bråkdel, kanske 500 TWh/år, torde vara möjligt att utvinna.

Bruttovågenergin i svenska vatten uppskattas till 50-100 TWh/år.²⁰⁾ 10-30 TWh/år bedöms kunna utvinnas som elenergi. När det blåser 10 m/s på Nordatlanten blir effekten ca 20 kW per meter vågfront. I svenska vatten blir effekten vid samma vindstyrka bara 1-5 kW/m beroende på att vågorna får kortare sträckor att byggas upp på.

Vid större vindhastigheter stiger effekten snabbt, och i stormar på Atlanten kan uppnås värden på 300-500 kW/m. Det finns inte, och har inte funnits, något större vågkraftverk i drift i världen.

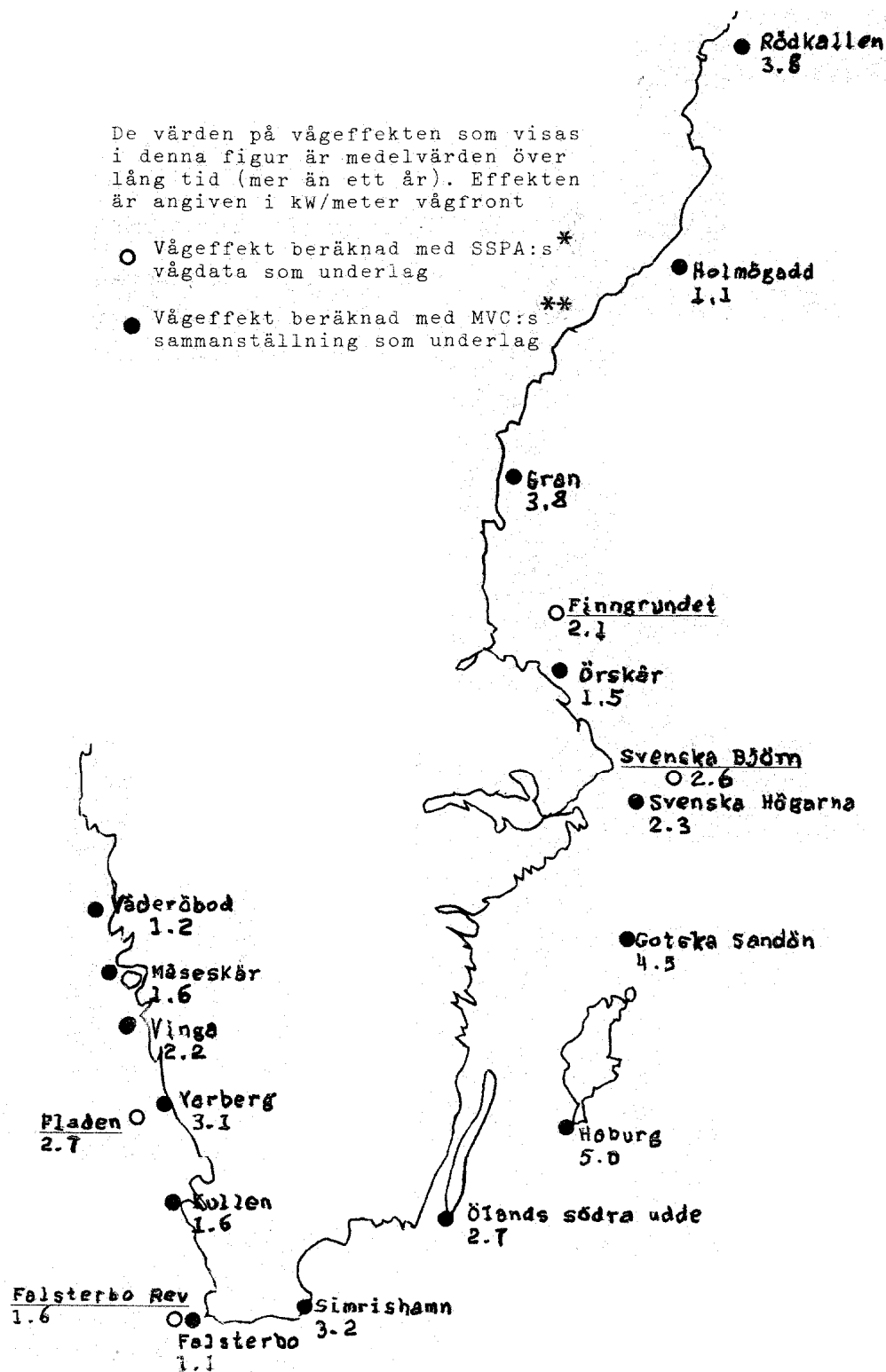


Fig. 8.2 Medeleffekt vid ett antal stationer på ost- och västkusten

*Statens Skeppsprovsningsanstalt

**Militära Väderlekscentralen

8.3 Vågenergi. Användningsområden

Det är lämpligt att omvandla vågenergi till elenergi. På grund av energiutvinningens variation i tiden måste elenergi från vågkraftverk samköras med lättreglerbar energi, eller kompletteras med ett energilagringssystem. Att mata in elenergin i ett landbaserat kraftnät är antagligen det bästa alternativet.

8.4 Vågenergi. Metoder för energiutvinning

För att omvandla vågornas energi till nyttigt arbete måste man utnyttja tryckvariationerna i vattnet, samt vattnets vertikala och horisontella rörelser. Det gäller att dämpa vågrörelsen så att den reflekterade och transmitterade energin blir liten.

Det finns en mängd olika förslag om hur vågenergin kan utnyttjas för elproduktion. Nedan redovisas de mest uppmärksammade metoderna.

8.4.1 Pneumatisk omvandlare

En klocka är nedsänkt i vattnet. Vid stigande vattennivå drivs luften ur klockan, och vid sjunkande vattennivå suges luft in i klockan. Inga rörliga delar behöver förekomma i vattnet.



Fig. 8.4.1

Pneumatiska kraftverk kan byggas upp med ett system av kamrar av olika volym och utsträckning, och den sammanförda luftströmmen kan få driva axialturbiner.

8.4.2 Mekaniska omvandlare

Flottörer. Den enklaste mekaniska omvandlaren är kanske flottören som får dämpas i sin upp- och nedgående rörelse. Genom att avpassa flottörens storlek mot förhärskande vågstorlek, kan den bringas i resonans med vågrörelsen. Den kan då uppta energi ur ett område som är större än dess geometriska dimensioner. För att vara effektiv måste flottören ligga relativt nära vattenytan.

Flottörerna kan utgöras av runda bojar, stående cylindrar, koner eller dylikt. Om det finns en förhärskande vågriktning kan de även bestå av långa liggande cylindrar, med axlarna parallella med vågkammarna.

Flottörer kan bromsas av kolvpumpar för luft eller vatten, eller av elektriska generatorer. Man kan placera elgeneratorn eller pumpen mellan flottören och botten, mellan flottören och en djupare belägen skiva, eller mellan flottören och land eller en ponton.

Plattor som roterar. Här roterar plattor kring lager som ligger ovanför eller under vattenytan. Plattorna förses med återförande fjädrar. Verknings sättet är i princip detsamma som för flottörer med en frihetsgrad.

Böjliga vertikala element. Böjliga vertikala element utan vatten på baksidan är effektiva energiupptagare om deras framsida följer vågrörelsen väl.

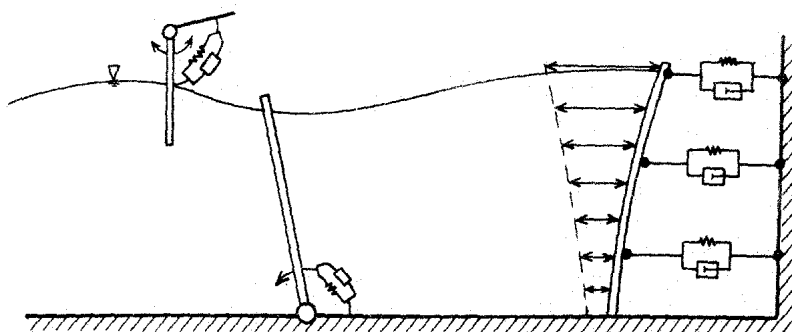


Fig. 8.4.2 a

Roterande cylinderelement. För utformningen av dessa, se figur 8.4.2 b.

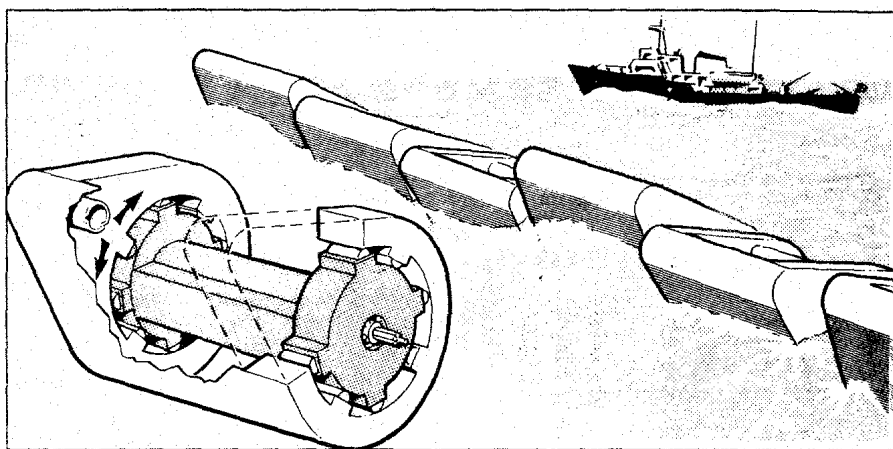


Fig. 8.4.2 b

Cylinderelementen kan röra sig runt en horisontell axel. Omvandlaren arbetar med två frihetsgrader.

Direktdrivna turbiner. Här utnyttjas vågenergin genom att vattnet direkt driver turbiner av propellertyp eller med sk Savoniusrotor. Turbinen kan direkt eller via växel kopplas till en generator.

Turbinerna kan monteras på pålar eller styvt förankrade pontoner. Vid grunda havsområden kan de monteras på botten.

8.4.3 Överföring av elenergin till land

Om vågkraftverk består av ett antal element som sinsemellan rör sig med varierande frekvens och amplitud, kan man ej koppla deras effekt till ett nät med konstant frekvens. Spänningen från varje generator måste först likriktas innan ett antal generatorer sammankopplas till ett system som med kabel förbinds med ett landbaserat kraftnät. Effektöverföringen till land kan ske med likspänning. Inkoppling till kraftnätet sker då med växelriktare och transformatorer.

8.5 Vågenergi. Miljöeffekter

Inverkan på sjöfart – fiske. Utnyttjande av vågenergi kan kollidera med fiske- och sjöfartsintressen. Anläggningen bör så långt möjligt placeras utanför farleder och fiskeområden. För att förhindra båtolyckor måste säkerhetssystem i form av fyrar etc anordnas.

Vågkraftverkens dämpande inverkan på vågorna gör att sjöfarten kan få lugnare förhållanden mellan vågkraftverken och land.

Påverkan på strömmar. Stora vågkraftverk kan påverka lokala havsströmmar, varvid exempelvis sedimenttransporter påverkas.

Minskning av omrörning. Den minskade vågrörelsen leder till minskad omblandning mellan olika vattenskikt, vilket kan få effekter på organismer i vattnet.

Visuell påverkan. Landskapsbilden kommer troligen att påverkas lite, eftersom anläggningarna i största möjliga mån blir nedsänkta i vattnet.

Politisk-strategisk betydelse. Stora vågkraftverk i t ex Nordatlanten kan få politisk-strategisk betydelse.

8.6 Vågenergi. Ytbehov

Längs de svenska kusterna är medeleffekten 1-5 kW/meter vågfront. Med ett antagande att det behövs 20 meter breda vågkraftverk för att utvinna 50% av vågenergin fås att utvunnen energi per ytenhet och år blir ca 20 -1000 kWh/m²år. Det område som berörs för t ex fiske eller sjöfart blir dock större än vågkraftverkets utsträckning.

9. TEMPERATURGRADIENTENERGI I HAV

9.1 Temperaturgradientenergi i hav. Teori

I haven lagras stora mängder solenergi i form av värme. Temperaturskillnader mellan varmt ytvatten och kallt djupvatten, eller mellan varma strömmar och omgivande kalla vattenmassor kan utnyttjas för energiutvinning.

Exergiinnehållet i en värmereservoar med temperaturen 28°C med en omgivning på 6°C är 7% av energiinnehållet.

9.2 Temperaturgradientenergi i hav. Tillgångar, nuläge

De största förutsättningarna för energiutvinning på grund av temperaturskillnader i hav finns i de tropiska haven, där temperaturskillnader på ungefär 20°C förekommer. Ur Golfströmmen skulle det teoretiskt vara möjligt att utvinna 200000 TWh²²⁾ elenergi per år.

Flera temperaturgradientkraftverk har byggts i de tropiska haven under 1900-talet. USA och Japan satsar stora forskningsresurser på att utveckla teknik inom detta område.

Förutsättningarna för energiutvinning ur de svenska haven verkar mycket ogynnsamma. Varken med aktuell eller framtida teknik kan den förväntas bli ekonomiskt försvarbar.

9.3 Temperaturgradientenergi i hav. Användningsområde

Trots det låga exergiinnehållet kan temperaturgradienter i haven utnyttjas för elproduktion. Om kraftverken ligger nära land kan elenergin direkt användas vid någon energikrävande produktion eller föras in på kraftnätet. Om kraftverket är långt från land kan bränslen, exempelvis väte eller metanol, produceras.

9.4 Temperaturgradientenergi i hav. Metoder för utvinning

Principen vid elproduktion är att man kokar ett drivmedel med det varma ytvattnet. Ångan får driva en turbin, varefter den kondenseras med hjälp av det kalla vattnet. Kraftverk bör kunna utföras så att det flyter under vattenytan.

9.5 Temperaturgradientenergi i hav. Miljöeffekter

Vid energiutvinning blandas olika vattenskikt av havet vilket kan påverka värmebalansen i havet, samt ge upphov till ökad organisk produktion. eftersom näringsrikt bottenvatten förs upp till ytan.

9.6 Temperaturgradientenergi i hav. Energianalys

I en amerikansk studie avseende ett 160 MW kraftverk beräknades anläggningen hålla i 100 år med utbyte av kraftverksmoduler vart 35:e år. Kraftverket beräknades leverera 7-10 gånger satsad energi för byggnader och drift.

10. HAVSSTRÖMMAR

10.1 Havsströmmar. Teori

Energien i havsströmmar är mekanisk rörelseenergi, vilket innebär 100% exergiinnehåll.

Effekten i en havsström är

$$P = \frac{B D v^3 \rho}{2}$$

där P är effekt, B är bredd, D är djup, v är hastighet och ρ är vattnets densitet, dvs ca 1000 kg/m³.

Effekten i en 50 km bred och 120 m djup ström med hastigheten 2 m/s blir $0.5 \times 50 \times 10^3 \times 120 \times 1000 \times 2^3 \text{ W} = 24 \text{ GW}$, vilket motsvarar 200 TWh/år. Om en tiondel av strömningsenergin utnyttjas blir utbytet 20 TWh/år. På grund av klimateffekter om man stör havsströmmar är det endast tänkbart att utvinna en liten del av strömningsenergin.

Effekttätheten $P/(BD)$, dvs effekten genom tvärsnittsarean blir

$$P/(BD) = \frac{v^3 \rho}{2}$$

Med strömningshastigheten 1 m/s blir $P/(BD) = 500 \text{ W/m}^2$. Om $v = 2 \text{ m/s}$ blir $P/(BD) = 4000 \text{ W/m}^2$.

10.2 Havsströmmar. Tillgångar, nuläge

Globalt sett är energin i havsströmmar 70000 TWh/år.⁹⁾ Stora havsströmmar t ex Golfströmmen, Guineaströmmen, Brasilienströmmen, rör sig med hastigheter på upp till 2 meter per sekund, vilket innebär en effekt på 4 kW per kvadratmeter (vinkelrätt mot strömningen. Någon energiutvinning ur havsströmmar sker ej idag.

Förutsättningar för energiutvinning ur havsströmmar i svenska vatten finns ej.

10.3 Havsströmmar. Användningsområde

På grund av strömningsenergens höga exergiinnehåll (100%) omvandlas den lämpligtvis till andra energiformer med högt exergiinnehåll, empedelvis elenergi.

10.4 Havsströmmar. Metoder för energiutvinning

Elenergi kan produceras via vattenturbiner förankrade i bredd.

10.5 Havsströmmar. Miljöeffekter

Det finns en viss risk för klimatförändringar om havsströmmar, exempelvis Golfströmmen, störs. Ett mindre uttag av exergi ur Golfströmmen medför dock knappast någon risk för klimatstörningar.

11. TIDVATTENENERGI

11.1 Tidvattenenergi. Teori, egenskaper

Månen går i en bana kring jorden, bunden av jordens gravitationskraft. Även jorden påverkas av månens dragningskraft. Störst blir kraften på den del av jorden som är närmast månen, och minst blir kraften på den motsatta sidan. Denna kraftverkan i kombination med jordens rotation ger upphov till tidvattenvågor i haven. Även dragningskraft från solen ger ett bidrag till tidvattenvågorna.

Tidvatten förekommer oftast i dygns- eller halvdygnsperioder. Det vanligaste är halvdygnsperioder som varar i 12 timmar och 25 minuter. Tidvattenenergi består av rörelseenergi och potentiell energi. Exergiinnehållet är 100%.

11.2 Tidvattenenergi. Tillgångar, nuläge

Jordens totala tidvattenenergi uppgår till ca 30000 TWh/å.²²⁾ För att man ska kunna utvinna energi ur tidvattnet måste det finnas rejäla mynningsvikar eller andra kustbassänger som lätt kan däckas upp. Sådana platser finns på knappt 5% av världens kuststräckor. De är dessutom väl spridda, och de flesta av dem ligger långt från platser som behöver energi.

Några av de bästa möjligheterna för energiutvinning ur tidvatten är Passomaquoddy Bay, där USA's och Kanadas kuster möts, Severns mynningsvik på Englands västkust, Vita Havet i nordvästra hörnet av Sovjetunionen och på de flesta platser längs de västra delarna av Frankrikes nordkust.

Globalt bedöms 1000 TWh/år vara tekniskt möjligt att utvinna. Med nuvarande teknik är det ej möjligt att utvinna energi ur tidvatten till ett konkurrenskraftigt pris.

Vid floden Rance mynning i Frankrike finns ett tidvattenkraftverk på 240 MW.

Vid Sveriges kuster finns ej tillräckligt med tidvattenenergi för att förutsättning för energiutvinning ska finnas.

11.3 Tidvattenenergi. Metoder för energiutvinning

Det enklaste tidvattenkraftverket består av en damm tvärs över mynningen av ett tidvattenbäcken. Tidvattnet får strömma in i bassängen och vid högvatten stängs dammluckorna. När havsvattennivån sjunkit undan tillräckligt (minst 3 meter) släpps dammvattnet ut via turbinerna. En stor förbättring kan erhållas genom två eller fler bassänger.

Tidvattenkraftverket vid Rance mynning (Frankrike) är en invecklad variant av två bassängsystem och ger en kontinuerlig elproduktion, oberoende av tidpunkter för ebb och flod. Kraftverket består av 24 st sk bulbgeneratorer på vardera 10 MW som är

konstruerade för att både kunna generera el och effektivt pumpa upp vatten när så behövs.

12. TORV

12.1 Torv. Teori, egenskaper

Torv förekommer i myrar (mossar och kärr) och bildas i syrefattig miljö av döda växtdelar som utsätts för påverkan av bakterier, svampar och kemiska föreningar. Torv är sålunda ett steg på vägen i växternas omvandling till fossilt material.

Torvens tillväxthastighet är 0.1-0.5 mm per år. Råtorv består normalt av 90% vatten. Torrsubstansen utgörs dels av växtrester, dels av nedbrytningsprodukter från förmultningsprocesser. Torvens askhalt (halt av oorganiska ämnen) varierar i mängd och sammansättning beroende på torvmarkstyp och torvmarksområde. Askan utgör 0.5-15% av torrsubstansen. Ju högre vattenhalt och askhalt, desto lägre blir naturligtvis den energi som kan utvinnas ur en viss mängd torv, eftersom halten brännbar organisk substans minskar, och energi används till att förångna vattnet. Värmevärdet i askfri torrsubstans från torv är 6.1 kWh/kg (22 MJ/kg). Torv med 50% vattenhalt och 4% askhalt av totalvikten har ett effektivt värmevärde på 2.6 kWh/kg (9.2 MJ/kg). Torvens energi är kemiskt bunden och exergiinnhållet måste beräknas ur kemiska samband.

Genom dränering kan vattenhalten i råtorv minskas från 90% till 80%. Det återstående vattnet är bundet i torven på olika sätt. 25% av vattnet är urkrämbart, dvs inneslutet i hålrum och kan avgå vid lätt tryckning. 40% är kapillärt bundet vatten som inte helt kan avlägsnas genom pressning. 25% är kolloidalt bundet vatten som ej kan pressas ut. Här fordras uppvärmning, fysikalisk omvandling eller kemisk omvandling för att få bort vattnet. 10% är kemiskt bundet. Detta vatten är mycket starkt bundet och kan lossas endast genom stark upphettning eller med andra kraftfulla metoder, dock ej mekaniska.

12.2 Torv. Tillgångar, nuläge

De största torvförekomsterna finns på norra halvklotet i det nederbördsrika bältet mellan 50° och 70° latitud. Globalt finns torv med ett energiinnehåll på ca 800000 TWh.²³⁾ Sovjet har de största fyndigheterna. ca 500000 TWh. Sveriges bidrag är drygt 30000 TWh. I Sverige är ca 54000 km² eller mer än 10% av landytan torvmark med ett torvlager överstigande tre decimeter. 25000 km² har ett torvskikt som överstiger en meter.

Om hänsyn tas till produktionsekonomiska, geografiska och miljömässiga restriktioner kanske 5-10% av Sveriges torv kan anses brytvärd i större skala. 70% av torvtillgångarna ligger i norra Sverige, 15% i mellersta Sverige och 15% i södra Sverige. Torvens tillväxthastighet är 0.1-0.5 mm per år, vilket i energi gör 3 TWh/år för Sveriges del. Uttag över denna nivå innebär således att torven används som lagerresurs.

För närvarande används torv ej i större utsträckning som energiråvara i Sverige. 300000 ton torv (50% vatten) per år används som jordförbättringsmedel. I Sovjet, Finland och Irland utnyttjas torv till elproduktion och uppvärmning. I Sovjet producerades år 1975 bräntorv som svarade för 2% av landets energiförsörjning.²³⁾ 1974 svarade torv för 26% av elproduktionen i Irland.

De svenska torvfyndigheterna utgörs av torv med relativt hög fuktighetsgrad och låg humifieringsgrad, vilket gör att stordriftserfarenheter från utlandet ej direkt kan omsättas i vårt land.

12.3 Utvinning av torv

12.3.1 Förberedelser vid utvinning av torv

Vägbyggen. Om ej befintliga vägar kan utnyttjas måste vägar byggas.

Dränering. Råtorv innehåller normalt ca 90% vatten. Genom dränering kan vattenhalten minskas till 80%. Det innebär att på 1 kg torrsubstans har vattenmängden minskat från 9 kg till 4 kg. Efter dränering har myrens bärighet för maskiner ökat. Man kan förhindra att ytvatten från angränsande områden rinner till myren genom att gräva diken eller lägga upp vallar. På myren anläggs ett system av diken, varefter vatten, med eller utan rening, pumpas över till en recipient. Eventuell rening av vattnet kan ske i en slambassäng där torvpartiklar får sedimentera.

Röjning. Torvområdet måste röjas, vilket bl a innebär trädfällning och stubbrytning. Det finns maskiner som drar upp stubbar med eller utan rötter. Med hjälp av en sk djupfräsningsmaskin kan man finfördela stubbar ned till en halv meters djup. De malda delarna blandas med torven och ett enhetligt material erhålls.

Avjämning. Med hjälp av sk planeringssnäckor kan mossens yta jämnas till.

Anläggningar. Anläggningar som krävs för torvbrytning är t ex transportanordningar, omlastningsstationer, lagringsplatser, personalbyggnad och verkstad.

Alla dessa förberedelser tar 1 - 4 år i anspråk.

12.3.2 Torvupptagning

Framställning av maskintorv. Med grävmaskin grävs torv från ett djup av maximalt 3.5 meter upp till marken varefter torven mals i en kvarn, pressas ut genom munstycken och kapas i stycken. Torven måste avvattnas ytterligare innan den transporteras från myren.

Framställning av frästtorv. Ett tunt skikt, 1-2 cm, fräses upp från mossens yta med en fräsmaskin, varvid ett pulverformigt material, frästtorv, bildas. Med dagens teknik får torven torka på fältet. Under torktiden vänds och strängläggs torven. Färdigtorkad

frästortv, som har 40-50% vattenhalt, samlas ihop i stackar. På grund av nederbörd ökar så småningom vattenhalten till 50-55%.

Maskintortv är för närvarande något dyrare att producera än frästortv. Maskintortv tål regnig väderlek bättre än frästortv.

12.4 Transport av torv

Transport av torv från myr till fastmark, och transporter på några tiotal km till torvförbrukare kan ske på smalspåriga järnvägar med speciallok och specialvagnar.

Lastbilar kan vara lämpliga för transporter upp till 100 km. Som fjärrtransport (upp till 200 km) kan kanske det ordinarie järnvägsnätet utnyttjas.

12.5 Återställning och efterutnyttjande av torvmark

Tänkbara möjligheter att efterbehandla utnyttjad myrmark är att återställa området som våtområde, eller omvandla det till skogsmark, betesmark eller åker. Genom sk minirotationsskogsbruk skulle torvmarken kunna användas till produktion av energiråvara. Fd torvmark kan också vara lämplig för bebyggelse.

12.6 Torv. Produkter, användningsområden

Av torv kan produceras fasta, flytande och gasformiga bränslen. Frästortv, maskintortv, torvbriketter och pellets är produkter lämpliga att genom förbränning användas till elproduktion eller uppvärmningsändamål.

Frästortv är pulverformigt och har normalt 50-55% vattenhalt. Värmevärdet är ca 2.3 kWh/kg (8.4 MJ/kg). Densiteten är 300 kg/m³.

Maskintortv är ett styckebränsle som har malts och sedan formats till stycken med ca 30 cm längd. Maskintortv har ca 35% vattenhalt. Värmevärdet är ca 3.5 kWh/kg (12.5 MJ/kg). Densiteten är 320-350 kg/m³.

Torvbriketter och pellets är torv som torkats till 10-12% vattenhalt och sedan pressats. Briketter är rektangulära eller cylindriska plattor med längd upp till 18 cm, medan pellets är kulor eller stavar med ett största mått av 5-15 mm. Värmevärdet är 4.7 kWh/kg (17 MJ/kg) och densiteten är 600-700 kg/m³.

Frästortv används främst i stora anläggningar med för torv speciella förbränningsanordningar, medan maskintortv, briketter och pellets kan eldas i alla pannor avsedda för fasta bränslen.

Olja (bitumen) fås genom hydrering av torv. Vid hydrering utsätts torven för tryck och värme med tillgång till väte (eller koloxid). För närvarande utvecklas metoder som bygger på hydrering av våttortv (90% vattenhalt).

Flytande bränslen har ur torv endast framställts i laboratorieskala. Framställning av lågvärdesgas (generatorgas) ur torv skedde redan på mitten av 1800-talet. Ur torv kan råvaror till den kemiska industrin framställas. Torvkoks är ett utmärkt reduktionsmedel vid järnframställning. Torv kan också användas i många andra sammanhang t ex som jordförbättringsmedel, isoleringsmaterial och förpackningsmaterial.

12.7 Miljöeffekter vid utvinning och användning av torv

Kunskaper om de miljöproblem som torvbrytning i större skala medför är ännu ofullständiga.

Landskapsbild. Landskapets estetiska värde sjunker radikalt i samband med torvbrytning. Myren kan efterbehandlas så att landskapsbilden helt förändras (sjö, äng, skogsmark).

Hydrologi. Vid själva torvbrytningen torde några avgörande förändringar i den omgivande markens vattenförhållanden ej ske. Dikning medför att ytvattnet som avrinner från ett myrområde tillfälligt försämras. Efter något år är dock vattenkvaliteten bättre än före dikning.

Vatten kan behöva pumpas över till närliggande vattendrag eller vattenmagasin. Humussyror, andra humusämnen eller organiska partiklar kan följa med vattnet och åstadkomma grumling av omgivande vatten. Grumling kan förhindras genom avskiljningsbassänger eller genom filtrering.

Vid mekanisk avvattning, eller sk våtkolning (fn sker avvattning på fälten genom sol och vind) innehåller pressvattnet bl a fenoler. Pressvattnet måste renas i anläggningen som ombesörjer avvattning och därmed bör fenolerna inte utgöra något problem för omgivningen.

Växt- och djurliv. Myrar har ett mycket speciellt växt- och djurliv, med vissa arter som är exklusiva just för myrar. Myrmarker är en förutsättning för att många djur, bl a älgar och renar, skall erhålla tillräcklig mängd föda under hela eller delar av året. Myren har betydelse som ostörd miljö för många djur. Under torvbrytning påverkas växt- och djurlivet i brytningsområdet, där all vegetation avlägsnas. Djurlivet påverkas även i en störningszon utanför täktområdet. Vilka förändringar som sker på längre sikt beträffande växt- och djurliv beror naturligtvis på hur myren efterbehandlas och efterutnyttjas.

Aska och stoft. När torv förbränns bildas aska och en del askpartiklar följer med rökgaserna. Dessa måste renas med stoftavskiljare. Om aska används som gödningsmedel får ej tungmetallhalten var för hög. Eventuellt kan också risk för dioxiner förekomma.

Svavel. Halten svavel i torv varierar från helt försumbar till 1.0 viktprocent, räknat på torrsubstans. Vid förbränning av torv bildas svaveldioxid. Större delen av svavlet, ca 70%, stannar kvar i askan. Torveldning uppfyller i stort sett alltid de minimikrav för svavelutsläpp som finns för oljeeldade kraftverk.

Tungmetaller. Torv innehåller varierande mängder tungmetaller beroende på vilket ursprung torven har. Vid förbränning stannar nästan hela halten av tungmetaller kvar i torvaskan.

Polyaromatiska kolväten. Små mängder polyaromatiska kolväten bildas vid förbränning av organiska bränslen. Det är ännu oklart hur mycket och vilka polyaromatiska kolväten som bildas vid torvförbränning.

Arbetsmiljö. Vid pulvereldning kan stora variationer i torvens fukthalt medföra vissa säkerhetsrisker, om ej reglering av rökgasmängder sker tillräckligt snabbt. Om torvens fukthalt blir för låg riskeras brand och explosioner. Vid alltför hög fukthalt finns risk för igensättning av bland annat ledningar. Driften måste då stoppas så att öppning och rensning kan ske utan explosionsrisk.

Frästorv är dammande vilket gör att hanteringsutrustning måste utföras med god täthet för att eliminera neddamning.

12.8 Torv. Energianalys

För att producera frästorv samt transportera den från myr till fast mark, beräknas insatserna i energi uppgå till 2% av frästorvens energiinnehåll. Denna uppskattning bygger på praktiska erfarenheter gjorda av Svenska Torv AB. Energiinsatserna har här varit i form av dieselolja till traktorer och diesellok.

För närvarande utnyttjas sol och vind till att torka torven från 80% vattenhalt till ca 50%, vilket innebär att för ett kg torrsubstans torkas 3 kg vatten bort. Denna torkning motsvarar ca 35% av torvens energiinnehåll. Torrsubstans med 8% askinnehåll har värmeverdet 5.6 kWh/kg (20 MJ/kg). För att förånga 1 kg vatten med temperaturen 20°C krävs en energimängd på 0.7 kWh (2.5 MJ). Avvattning genom pressning kräver i energiinsats några procent av torvens energiinnehåll om vattenhalten minskas från 80% till 60%.

Vid torkning av frästorv från 50% vattenhalt till 10% kan tvåstegstork (Peco-tork) användas. Här krävs 0.5 kWh (1.8 MJ) per kg avdunstat vatten, vilket är mindre än vattnets ångbildningsvärme. Med denna metod tillgodogörs ångbildningsvärmets som sedan kan utnyttjas till torkning i andra steget.

Vid lagring av frästorv finns risk för vissa energiförluster genom långsam självförbränning.

12.9 Torv. Ytbehov

Sveriges torvtillgångar på drygt 30000 TWh är fördelade på över 50000 km² landyta. Det innebär att i medeltal kan 600 kWh/m² utvinnas ur en torvfyndighet. Under torvbrytningsperioden kan 25-50 kWh/m²år utvinnas.

I Sverige är torvtillväxten i energitermer 3 TWh/år. Det innebär ett energitillskott på 0.06 kWh/m²år.

13 GEOTERMISK ENERGI

13.1 Geotermisk energi. Teori

Den energi som finns i form av värme i jordklotet kallas geotermisk energi eller jordvärme. Denna energi kommer i huvudsak från radioaktiva sönderfall i berggrund och jordens inre. I jordens markskikt lagras dessutom solenergi som värme, så kallad ytjordvärme (se avsnittet om solenergi).

Jorden består schematiskt av tre zoner, jordkärnan i mitten, jordmanteln och jordskorpan. Jordkärnan har i sitt inre en temperatur på ca 5000°C, och härifrån transporteras värme mot jordens yta. Med undantag för vulkaniskt aktiva områden är energiflödet vid jordytan alldeles för litet för att kunna utnyttjas för energiutvinning. Energiflödets medelvärde sett över hela jordytan är 0.06 W/m². Utnyttjandet av geotermisk energi i Sverige begränsas till den värme som under årens lopp har lagrats inom några kilometers avstånd från jordytan.

Temperaturen stiger med ökande djup i jordskorpan. Räknat över hela jordklotet är temperaturgradienten i medeltal 30°C/km. I de isländska jordvärmeområdena är 100-200°C/km normala värden medan för Sveriges del temperaturgradienten är 10-25°C/km.

Jordvärmeområden kan indelas i tre kategorier: (1) Områden med torr ånga, ibland överhettad ånga. (2) Områden med hett vatten, eller en kombination av vatten och ånga (3) Områden med heta torra bergsmassor

Vid utvinning av geotermisk energi är temperaturer mellan 80°C och 300°C aktuella, vilket betyder att exerginnehållet i den geotermiska energin är 20-50% (med omgivningens temperatur 20°C).

13.2 Geotermisk energi. Tillgångar, nuläge

Det är svårt att uppskatta hur mycket geotermisk energi som kan utvinnas. Den geotermiska energin för hela jordklotet, räknat från en bastemperatur (0°C) uppskattas till 3×10¹⁵ TWh,²⁴⁾ vilket motsvarar den solenergi som strålar in mot jordytan under fyra miljoner år. Över världens landområden är energipotentialet 3×10¹¹ TWh²⁵⁾ ned till 10 km djup och med avkylning till +15°C. Givetvis kan endast en bråkdel av denna energi utvinnas i praktiken.

Vulkaniska områden är bäst lämpade för utvinning av geotermisk energi, men i Sverige upphörde den vulkaniska aktiviteten för 50 miljoner år sedan. Det är tänkbart att man i vårt land kan utvinna energi ur varmt, torrt kristallint berg. Enligt översiktsbedömningar är 5 TWh per kvadratkilometer landyta tillgängligt om berg mellan två och tre kilometers djup kyls till 50°C. Andra alternativ är att utnyttja varmvatten i

sedimentära bergvattenförande kross- och sprickzoner. Med krosszon menas en större spricka i berggrunden.

På kort sikt finns troligtvis de största förutsättningarna för geotermisk energiutvinning i Sverige i de sk mesozoiska sedimenten i sydvästra Skåne. Här finns ganska porösa sandstenslager som på vissa nivåer innehåller varmvatten. De potentiella tillgångarna av varmvatten i Skånes porösa berggrund är mellan 200 och 500 TWh.

Globalt utvanns år 1976 7 GW²⁶⁾ geotermisk effekt i form av lågtemperaturvatten för uppvärmningsändamål, samt 1.4 GW elenergi. Dessa siffror omräknat till energi, utvunnen under hela 1976, bör bli ca 50 TWh

I Sverige utvinns för närvarande ingen geotermisk energi.

13.3 Geotermisk energi. Användningsområden

Geotermisk energi används i första hand som nyttig värme vid lokaluppvärmning, vattenuppvärmning och torkprocesser.

Geotermisk energi används också till elproduktion. Här är främst högtemperaturfält med temperaturer mellan 200°C och 300°C aktuella.

13.4 Geotermisk energi. Metoder för energiutvinning

För att utvinna geotermisk energi ur berg måste brunnar borrar. Aktuella borrhåtdjup för Sveriges del är 1500-3000 meter. Energin som kan utvinnas ökar med djupet, men även kostnaderna per bormeter ökar med djupet. För torra berg krävs att de görs vattengenomsläppliga på något sätt, så att vatten kan cirkulera och värmas upp av bergget. Pumpar sänks ned i borrhålet för att varmvatten ska kunna tas upp till markytan.

För borrhning i kristallint berg krävs utveckling av ny borrhningsteknik för att förutsättningar ska finnas att utnyttja den geotermiska energin till ett rimligt pris.

Vid borrhning i sedimentberg kan i stort sett samma teknik användas som förekommer vid borrhning efter olja eller gas. Borrhorn måste uppföras.

En lämplig produktionskapacitet på en brunn vid varmvattenförekomster i Skåne är troligen 2-4 MW, vilket motsvarar 0.015-0.03 TWh/år. Detta innebär ett vattenflöde på 15-25 l/s av vatten med temperaturen 80°C, som utnyttjas ned till 45°C i värmeväxlare. Returvattnet bör återinjiceras i berget vid produktionsplatsen.

Vid elproduktion kan antingen geotermisk vattenånga direkt driva en turbin, eller via värmeväxlare generera ånga i ett sekundärsystem. Turbinen är förbunden med en generator.

13.5 Geotermisk energi. Miljöeffekter

Buller. Bullerstörningar torde i stort sett begränsas till byggnadstiden för en geotermisk anläggning. Ett område med diametern ca 1 km kommer då att utsättas för buller vid bl a borrhning.

Vattenföroreningar. Då en rörledning går sönder eller om geotermalvattnet återinjiceras i ytliga berglager, kan grundvattnet förorenas.

Luftföroreningar. Utnyttjande av geotermisk ånga kan ge upphov till luftföroreningar, t ex svavelväte. Om man ej använder slutna system vid hetvattenförekomster finns risk för luftföroreningar även här.

Seismisk aktivitet. Viss risk finns för stimulering av seismisk aktivitet vid injicering av vatten i berggrunden. Risken bedöms som mycket liten i Sverige.

Sättningar. Sättningar torde kunna förhindras om vattnet återinjiceras i produktionszonerna.

Spridning av radioaktiva ämnen. Om man utnyttjar heta bergsmassor som värmts upp genom sönderfall av radioaktiva ämnen, finns risk för att dessa urlakas då vattnet cirkulerar i berget. Med värmeväxlare kan eventuella radioaktiva mineraler hindras från att föras vidare med exempelvis fjärrvärmevatten.

Värmeutsläpp. Värmeutsläpp kan bli ett problem vid geotermiska anläggningar eftersom endast 15-20% av energin omvandlas till elenergi.

Arbetsmiljö. För de lågtemperatursystem som kan bli aktuella för Sveriges del torde arbetsmiljöproblemen bli begränsade. Olycksfallsrisker och förgiftningsrisker kan finnas, särskilt i samband med rörbrott och andra haverier. Om det cirkulerande vattnet är radioaktivt innebär det hälsorisker för dem som arbetar inom anläggningen.

Korrosionsproblem. På grund av den höga salthalten i geotermalvattnet kan korrosionsproblemen bli avsevärda.

13.6 Geotermisk energi. Ytbehov

Vid utvinning av geotermisk energi ur vattenförande skikt (t ex i Skåne) beräknas den totala anläggningsytan uppgå till 5000 m² ²⁷⁾ för en 5 MW-anläggning (termisk energi). Detta innebär att med 70% tillgänglighet för anläggningen utvinns 25 miljoner kWh per år. Utvunnen energi per ytenhet och år blir 5000 kWh/m²år.

APPENDIX 1 ENERGIFLÖDEN. SAMMANSTÄLLNING

Sammanställning av globalt flöde och flöde i Sverige för några energiformer (TWh/år).

Energiflöde	Globalt	Sverige
Solenergi, som når jordytan	$7 \times 10^8^*$	$4 \times 10^5^*$
Biomassa	1×10^6	4×10^2
Vindenergi	2×10^7	1×10^4
Vattenkraft	2×10^4	2×10^2
Saltgradientenergi	2×10^4	1×10^2
Vågenergi	4×10^5	1×10^2
Temperaturgradienter i hav	?	?
Havsströmmar	7×10^4	?
Tidvattenenergi	3×10^4	?
Torv	1×10^2	3
Geotermisk energi	2×10^5	1×10^2

Flödestätheten för geotermisk energi är för liten för att själva flödet ska kunna utnyttjas för energiutvinning (med undantag för vulkaniskt aktiva områden).

APPENDIX 2 YTBEHOV FÖR OLIKA ENERGIKÄLLOR

Uppskattad energi- och exergiuutvinning per ytenhet och år (kWh/m²år) för några olika energiformer.

Energiflöde	Energi	Exergi
Solenergi (solceller)	100	93
Solenergi (solvärmepaneler)	500	100
Biomassa (vass)	10	10
Vindenergi	200	200
Vattenkraft	70	70
Saltgradientenergi	5000	5000
Vågenergi	500	500
Torv	50	50
Geotermisk energi	5000	1000

Värdena i tabellen gäller svenska förhållanden.

Exerginnehållet i biomassa och torv är ca 100% av energinnehållet. I praktiken kan för närvarande mindre än 50% av exerginnehållet tillgodogöras.

Det låga värdet på vattenkraft beror på de stora dammar som behövs för att göra vattenkraften ekonomisk.

Utvinning av energi ur torv och geotermisk energi gäller utvinning av lagrad energi.

REFERENSER

1. *Teknisk Tidskrift*, nr 18 (1977).
2. Miljöförbundet, Förslag till miljörelsens alternativa energiplan (MALTE) (1977).
3. Lindeberg, S., *Energiframtider* (1975).
4. Wall, G., Exergi—ett användbart begrepp inom resursräkenskap, Chalmers tekniska högskola, Göteborg (1977).
5. Petersson, F., Wettermark, G., *Solenergiboken* (1977).
6. Nämnden för solenergiforskning, *Solenergi i Sverige* (1977).
7. Wall, G., *Uppsatser i Energifysik*, Chalmers tekniska högskola, Göteborg (1977).
8. *VVS-tidningen*, nr 11 (1977)
9. Ragnarsson, P, *Förnyelsebara energikällor*, Sekretariatet för framtidsstudier (1977).
10. *Skogsstatistisk årsbok* (1975).
11. Nämnden för energiproduktionsforskning, *Plan för NE-programmet Biosystem* (1977).
12. Energikommissionen, *Miljöeffekter och risker vid utnyttjande av energi*, del 2 (1977).
13. Lantbrukshögskolan, *Resursflöden i svenskt jord- och skogsbruk 1956-1972 med tonvikt på energiströmmar* (1975).
14. Styrelsen för teknisk utveckling, *Program 4. Återvinning av energi i varor mm* (1977).
15. DS I, 1973:2, *Lägesrapport från Energiprognosutredningen* (1973).
16. Nämnden för energiproduktionsforskning, *Vindenergi i Sverige* (1977).
17. SOU 1976:28, *Vattenkraft och miljö 3* (1978)
18. Statens Vattenfallsverk, Stockholm
19. Emrén, A., *Personlig information*, Göteborg
20. Nämnden för energiproduktionsforskning, *Plan för NE-programmet Akvatisk Energi* (1977).
21. *Teknisk Tidskrift*, nr 1-2 (1976)
22. Penner, S. S., Kerman, L., *Energy* **2** (1975).
23. Nämnden för energiproduktionsforskning, *Torv i Sverige* (1977)
24. Nämnden för energiproduktionsforskning, *Geotermisk Energi för Sverige* (1977)
25. Hollander, G., *Annual review of energy* (1976).
26. *Geothermal Energy*, nr 6 (1977).
27. Lindblom, U., *personlig information*, Göteborg

LITTERATURFÖRTECKNING

- AB Svenska Shell, Fakta. Tillgångar och efterfrågan på energi – framtidsperspektiv (1972).
- Atombulletinen, nr 1 (1976).
- Bokalders, V., m. fl., Solkraft, vattenkraft, vindkraft (1977).
- Bolin, B., Energi och klimat, Sekretariatet för framtidsstudier (1977).
- Centrum för tvärvetenskap, Energi – inte endast en fråga om teknik, Göteborgs universitet (1974).
- Egneus, H., m. fl., Risker i samband med energiproduktion ur biomassa. Rapport till energikommissionen (1977).
- Engström, S, Hälso- och miljöeffekter av övriga energislag (1976).
- Eriksson, B., m. fl., Om energialternativ (1974).
- Gabrielsson, R., Sundström, T., Energi. Naturvetenskapligt begrepp med samhällsintresse. Fysiska institutionen, Umeå universitet (1975).
- Granstedt, P., m. fl., Istället för kärnkraft (1975).
- Hartnett, J. P., Alternative energy sources (1976)
- Henriksson, R., Wirhammar, K., Solfångare för spannmåls- och hötorkning, Institutionen för lantbrukets byggnadsteknik, Lantbrukshögskolan, Lund (1976).
- Holmström, B., Wettermark, G., Aspekter på solen som energikälla (1976)
- 1975 Intersociety Energy conversion, Newark, Delaware (1975).
- IVA, Energilagring – nuläge och utvecklingstendenser (1972).
- IVA, Solenergi i Sverige (1974).
- IVA, Solenergi – solen i människans tjänst (1973).
- IVA, Solenergiutveckling i USA (1975).
- Johansson, T. B., Lönnroth, M., Energianalys, Sekretariatet för framtidsstudier (1976).
- Jones, W., Wilson, R., Energy, ecology and the environment (1974).
- Jordbrukstekniska Institutet, Metangas ur gödsel, framställning och användning, Uppsala (1976)
- Kenward, M., Potential energy and analysis of world energy technology (1976).
- Kungliga vetenskapsakademin, Documenta, 16 mars (1975).
- Land, nr 44 (1977).
- Leckner, B., Solenergi. Användning, förutsättningar och teknik, FUN-föreläsning 76-02-26, Institutionen för Energiteknik, Chalmers tekniska högskola, Göteborg (1976)
- McMullan, Morgan, Murray, Energy. Resources and supply (1976).
- Meinel, A., Applied solar energy: An introduction, 1976
- Miljö, nr 3-4 (1976).
- Miljö och framtid, nr 8 (1973).
- Miljötidningen, nr 8 (1977).

- Naturvetenskapliga forskningsrådets årsbok 1976/77, Kretslopp (1977)
- Ny Teknik, nr 26 och 31 (1976), nr 1, 19, 22, 26 och 31 (1977).
- Nämnden för energiproduktionsforskning, Saltenergi i Sverige (1977).
- Nämnden för energiproduktionsforskning, Vågenergi i Sverige (1977).
- Rapport från Ekoteket, nr 1-2, 3 (1975).
- Rau, H., Solenergin - så kan den utnyttjas (1977).
- SOU 1974:64, Energi 1985-2000 (1974).
- SOU 1974:65, Energi 1985-2000, bilaga (1974).
- SOU 1974:72, Energiforskning. Program för forskning och utveckling (1974).
- SOU 1974:73, Energiforskning. Utvinning av energiråvaror och industriell energiproduktion (1974).
- Styrelsen för teknisk utveckling, Ny vindenergiteknik (1974).
- Södergård, B., Vindkraftboken (1975).
- Technology Review, Dec. (1973).
- Teknisk Tidskrift, nr 14 och 16 (1975), nr 11 (1976), nr 10, 11 och 14 (1977).
- The bulletin of the atomic scientists, May (1976).
- VVS-tidningen, nr 11 (1975).
- VVS, Solvattenvärmare för sommarbruk (1976).