



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



OVE B PLATELL

Energisystemen i morgondagens ekologiska samhälle

R45: 1993

Teknisk och ekonomisk
analys

V-HUSETS BIBLIOTEK, LTH



15000

400129285

BYGGFORSKNINGSRÅDET

SFR

R45:1993

**ENERGISYSTEMEN I MORGONDAGENS EKOLOGISKA
SAMHÄLLE**

Teknisk och ekonomisk analys

Ove B Platell

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 900682-1
från Byggforskningsrådet till Platonik Utvecklings AB, Sigtuna.**

LUNDS TEKNISKA HÖGSKOLA
VÄG- OCH VATTENBYGGNAD
BIBLIOTEKET

REFERAT

Analysen har haft som syfte att analysera möjligheterna att skapa helt ekologiska system. Analysen omfattar samtliga energihanterande system i samhället, således både de stationära och de mobila systemen.

Kraven har varit att de "framtida" systemen ska använda sig av förnyelsebar energi samt att de ska kunna förverkligas som energiautonoma system i så liten skala som ett enskilt hushåll.

Resultatet av analysen är redovisad i tre scenarier, varav de två sista uppfyller alla uppställda krav. De tre scenarierna är baserade på olika kombinationer av 5 tekniker som antas ha fått sina genombrott inom 5 – 10 år.

I Bygghälsorådet's rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R45:1993

ISBN 91-540-5592-X
Bygghälsorådet, Stockholm

gotab 98749, Stockholm 1993

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:

FÖRORD	.	.	.	3
SAMMANFATTNING	.	.	.	4
1	Identifiering av problemställningar för dagens energihantering	.	.	6
1.1	Stationära energisystem	.	.	8
1.1.1	Sårbarhet	.	.	9
1.1.2	Reglerbarhet och dynamisk förmåga	.	.	9
1.1.3	Lagringsbarhet	.	.	10
1.1.4	Hälso- och miljörisker	.	.	10
1.1.5	Ekonomi	.	.	10
1.1.6	Sammanfattning av stationära energisystem	.	.	13
1.2	Mobila energisystem	.	.	14
1.2.1	Energi- och effekttäthet	.	.	15
1.2.2	Körbarhet	.	.	18
1.2.3	Tillförlitlighet	.	.	18
1.2.4	Hälso- och miljörisker	.	.	19
1.2.5	Ekonomi	.	.	20
1.2.6	Sammanfattning av mobila system	.	.	22
2	Olika energislag och deras egenskaper	.	.	23
2.1	Energikvalitet	.	.	26
2.2	Lagringsförmåga	.	.	29
2.3	Reglerbarhet och dynamisk förmåga	.	.	32
2.4	Hanterbarhet	.	.	32
2.5	Risker och miljökonsekvenser	.	.	33

3	Krav på framtidens energisystem	34
3.1	Stationära energisystem	34
3.2	Mobila energisystem	36
4.	Förutsättningarna för att nå uppställda krav	37
4.1	Framställning av el	38
4.2	Framställning av drivmedel till motorer	38
4.3	Framställning av högtemperaturvärme	39
4.4	Framställning av lågtemperaturvärme	39
5.	Möjliga scenarier för framtida energisystem	40
5.1	Nya tekniker	40
5.1.1	Ångmotorn	41
5.1.2	LT-Temperering	41
5.1.3	HT-värmebatteri	41
5.1.4	Artificiell syntes av Br 1	41
5.1.5	Kall-fusion	42
5.2	Scenario 1	43
5.3	Scenario 2	44
5.4	Scenario 3	45
6.	De industriella möjligheterna med framtida system	47
	REFERENSER	48

BILAGOR:

- 1 Beskrivning av ett modernt ångdrivsystem
- 2 Beskrivning av system för lågtemperatur-temperering

FÖRORD

Det har varit ett stort nöje att få detta tillfälle att på djupet få tränga in i hela problemkomplexet med vårt samhälles energihantering. Det har dessutom varit mycket inspirerande att sedan sortera och försöka strukturera upp detta material till en helhet av energisystem som skulle kunna motsvara de ekologiska system med kretslopp tänkande, som mer och mer framförs i samhällsdebatten som önskvärda för framtiden.

Med mer eller mindre uttalade svårigheter med dagens energisystem samt den över hela världen ökade medvetenheten om betydelsen av att börja betala tillbaka den sk miljöskulden, framstår en analys av möjligheterna att få en lösning på dessa problem som mycket angelägen.

Här tas upp frågeställningar och krav som egentligen är självklara och genant enkla och fundamentala. I flera fall gäller det dock egenskaper och krav som sällan eller aldrig explicit har formulerats utan saknats i debatten.

Avsikten med denna analys har varit att med utgångspunkt från tekniska basfakta, på ett objektivt sätt försöka identifiera de möjligheter och tekniska lösningar som kan komma att finnas. Författaren är väl medveten om svårigheterna att förändra de i dagens samhälle så fullständigt integrerade och etablerade systemen. Därför har de här framförda idéerna största möjligheterna att först få genombrott i sådana delar av världen där västvärldens infrastruktur ej ännu har fått någon betydelse. För västvärlden skall de här anförda lösningarna främst ses som en möjlighet och önskvärd inriktning. Takt för utvecklingsarbete och genomförandet kommer naturligtvis att styras av politiska (miljö- och säkerhetshänsyn) och industriella (marknadsmässiga) incitament.

Som grund för tre scenarier har i denna analys fem "framtida" tekniker tagits upp. Av dessa fem tekniker har författaren sedan lång tid tillbaka haft ett omfattande engagemang i analys och utveckling av de tre första. De två återstående teknikerna att framställa ett flytande bränsle direkt av solenergi och kallfusion har författaren funnit intressanta för att på lång sikt kunna realisera de ekologiskt uthålliga energisystemen, dock utan att ha djupare insikt i den tekniken.

Med hopp om att denna analys kan bli ett bidrag till en ökad debatt på detta område och till realiserandet av de nya teknikområden som skulle möjliggöra ett ekologisk samhälle.

Sigtuna Maj 1993

Ove B. Platell

Energisystemen i morgondagens ekologiska samhälle

Teknisk och ekonomisk analys

Ove B. Platell

SAMMANFATTNING

Denna analys utgår från de tankar, som numera börjar omfattas av allt fler personer inom industri och i ansvarig ställning i samhället att dagens energisystem måste få en inriktning mot uthålliga och ekologiska system. Nuvarande energisystem har onekligen medfört problem på områden som miljö, sårbarhet, etc.

Denna analys försöker därför att fånga helhetsbilden av energihanteringen i dagens samhälle samt att identifiera olägenheterna med denna hantering. Efter en inventering av möjliga framtida tekniker har en skissering gjorts av hur det skulle kunna gå till att skapa en struktur av energisystem som möter de krav som användare och samhället rimligen borde ställa. Bland kraven, som måste ställas, medtas förutom de självklara ekologiska, även de ekonomiska, så att den nya inriktningen ger incitament för samtliga aktörer i samhället (industri, slutanvändare, myndigheter etc.) att medverka till en sådan ny inriktning av våra energisystem.

Analysen baserar sig på enkla tekniska och fysikaliska basfakta för den utrustning och de energiformer, som är involverade i processerna för produktion, omvandling, distribution, lagring och slutanvändning av energi. Det är enkelt att ur detta identifiera de lösningar som kan uppfylla alla krav.

Slutanvändare av energi går att hänföra till endast 4 avgränsade grupper med mycket skilda krav på energiresurser. De tre första av de fyra grupperna är att hänföra till de stationära systemen och använder sig av följande energislag: el, högtemperaturvärme och lågtemperaturvärme. Den fjärde gruppen utgörs av de mobila drivsystemen. Det som karakteriserar dessa energianvändare är deras behov av ett flytande bränsle som med sin unikt höga energitäthet för närvarande (innan en eventuell kall-fusion) är oersättligt för denna användning.

I analysen har förutsatts att varje användargruppering försörjs med energi, som ej är av högre kvalitet än vad den behöver vara, samt att energiformen är förnybar. Kraven på energisystemen har vidare varit att de skall vara ekonomiskt intressanta för såväl användare som samhälle, på samma gång som alla former av miljöpåverkan blir minimerade eller t.o.m. helt eliminerade.

Ytterligare en strävan har varit att systemen skall vara energiautonoma, vilket innebär att t.o.m. ett litet avsnitt av samhället, som exempelvis ett enfamiljshus med de där boende, om så är önskvärt, kan göras självförsörjande med energi.

Analysen har mynnat i skissering av 3 scenarier som baserar sig på antaganden, att olika kombinationer av 5 stycken nya tekniker ska ha fått sina genombrott inom 5 - 10 år. De 5 teknikerna är :

- 1 Ångmotor med ångbuffert för att få en radikal lösning på avgasutsläppen för transporter. Ett sådant koncept skulle även innebära ett stort antal ytterligare fördelar (se Bilaga 1).

- 2 Lågtemperatursystem för temperering av lokaler och ventilationsluft. Ett sådant koncept skulle praktiskt taget helt ersätta behovet av ädelenergi (i form av el eller olja) med solenergi för denna stora sektor av energianvändning samtidigt som det skulle vara möjligt att erhålla ett mycket trivsamt inomhusklimat (se Bilaga 2).
- 3 Högtemperatur-värmebatteri.
- 4 Framställning av ett flytande bränsle direkt från solenergi.
- 5 Kall-fusion.

För alla tre scenarierna är förutsättningarna att ett genombrott har skett för de två första nya teknikerna, dvs ångdrivsystem och lågtemperatur-temperering av lokaler.

Scenario 1, som förutsätter genombrott av teknik 1, 2 och 3, kommer förmodligen inte att kunna bli helt energiautonomt men däremot scenario 2 som förutsätter genombrott av tekniker 1, 2 och 4.

Scenario 2 skulle alltså möjliggöra helt energiautonoma system. Dessa skulle kunna vara i systemskala från industri och gruppbebyggelse ända ner till så små system som ett enskilt hushåll. Alla krav från såväl användare som samhälle skulle då bli uppfyllda. Nödvändig tillförsel av primärenergi består helt av solenergi. Ett enskilt hushåll kan då framställa så mycket flytande bränsle att det även räcker till familjens bil.

Scenariot 3 förutsätter ett genombrott av kall-fusionen som då skulle ersätta de flytande bränslena för motordrift. Den för alla tre scenarierna gemensamma förutsättningen, att en modern ångmotor med ångbuffert är framgångsrikt framtagen, är speciellt nödvändig för att realisera scenario 3, då sannolikt ingen annan motor än en sådan motor kommer att kunna rationellt använda sig av kall-fusion, som säkerligen blir en mycket trög reglerad energikälla. Ångmotorns extremt goda prestanda och reglerbarhet berörs nämligen ej av en trög energikälla, tack vare den sk ångbufferten.

Samtliga scenarier ger för slutanvändaren av energi mycket tilltalande levnadsförhållanden utan uppoffring av något som vi är vana vid i dagens samhälle utan i stället högre levnadsstandard samtidigt som de ekologiska problemen blir lösta. För industri och näringsliv skulle mycket intressanta marknader och affärsidéer öppna sig.

1. Identifiering av problemställningar för dagens energihantering

I samhället har vi människor inrättat oss efter vissa basfunktioner som utgör grunden för vår levnadsstandard och trygghet. Sådana självklara basfunktioner är exempelvis :

- Varmhållning av lokaler
- Belysning
- Tillgång till friskt vatten och luft
- Rationell livsmedelhantering (kyl, frys, mjölkningssmaskiner)
- Drift av avlopps- och avfallshanteringen
- Person- och varutransporter

Dessa basfunktioner måste upprätthållas med stor säkerhet. Likaså skall utrustningen som är involverad i denna hantering ha sådana egenskaper att den ger de önskade basfunktionerna på ett rationellt och ändamålsenligt sätt. Mycket kan ifrågasättas beträffande denna punkt. Orsaken till att det har blivit fel beror till stor del på att systemen har växt fram på ett oförväget sätt, helt styrt av det omedelbara behovet, utan helhetssyn och medvetenhet om konsekvenserna för miljö och natur eller ens om basfunktionerna kunde tillförsäkras på bästa sätt.

I den referensram som alla system växte fram var det naturligt som det blev. Det är lätt att vara efterklok !. När vi nu har blivit det, måste vi också använda denna kunskap till att styra upp inriktningen för framtidens system mot något som kan betecknas som "framtidens energisystem".

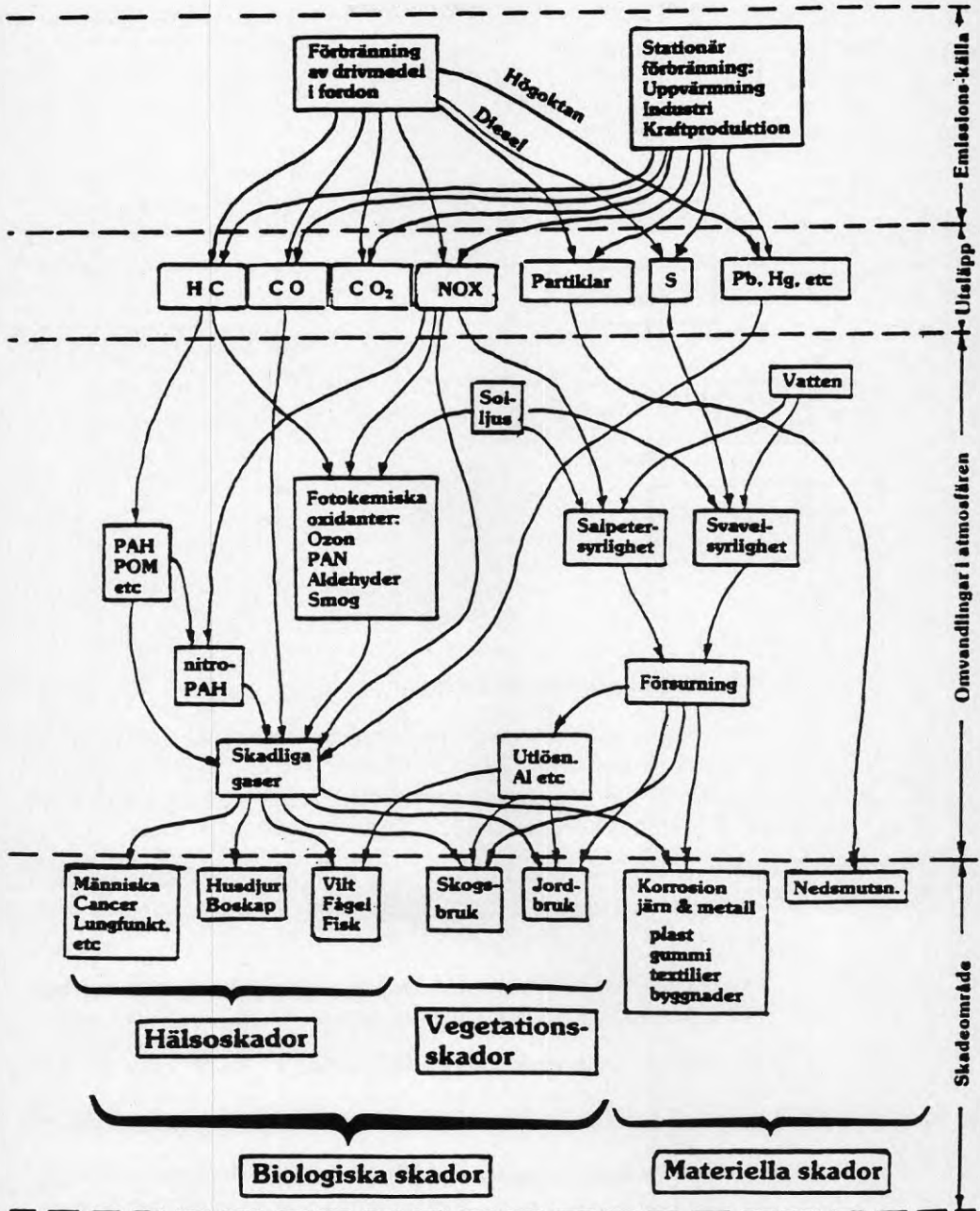
Basfunktionerna (och även övriga funktioner) är beroende av energitillförsel. Energisystemen för denna energitillförsel kan delas upp i två systemkategorier – de stationära och de mobila. Med de stationära förstås de system där slutanvändningen av energi är stationär och markbunden och de mobila utgörs av drivsystem till alla farkoster och motordriven utrustning, typ motorsågar och gräsklippare.

Gemensamt för alla dagens system är att deras energihantering ingriper i de naturliga omsättningarna i mark, luft och vatten.

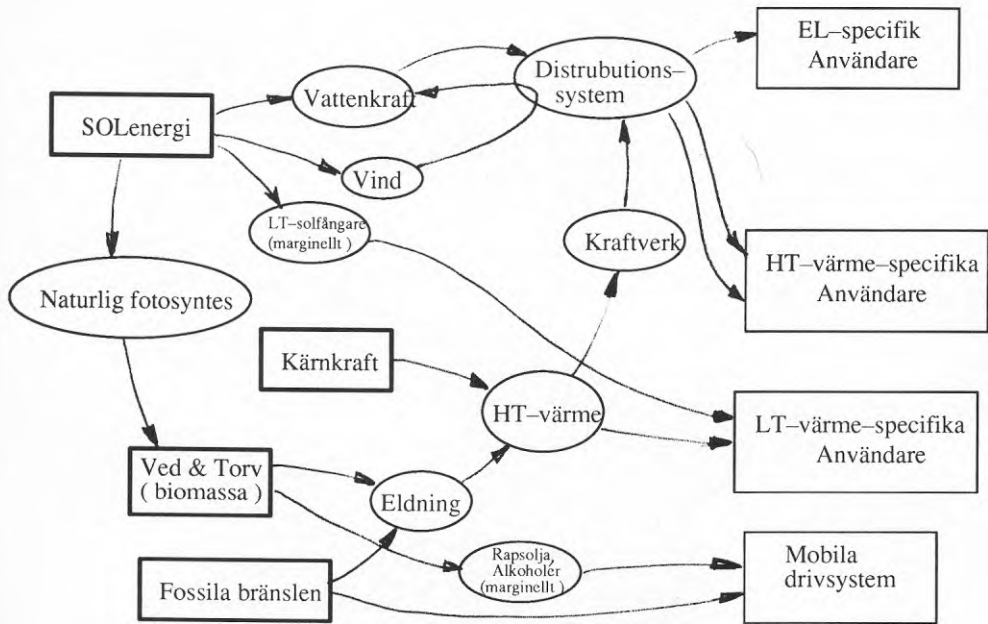
Ingreppen i naturen består bland annat i utsläpp som har ett mycket komplext mönster för sina passager genom naturen tills de resulterar i miljöskador. Några av dessa mekanismer och omvandlingar redovisas i Figur 1.1.

Det är uppenbarligen en omfattande skadeverkan som samhällets energihantering resulterar i. Det är inte bara frågan om hälsokonsekvenser för människorna och den övriga naturen utan även stora materiella skador från framförallt försurningen.

Det framgår av Figur 1.1 att kväveoxiderna (NOX) intar en central roll i bildandet av ett stort antal skadliga komponenter. NOX är även i sig själv mycket giftig.



Figur 1.1 Schema över luftföroreningarnas skadeverkningar



Figur 1.2 Nuvarande energisystem

1.1 Stationära energisystem

De nuvarande stationära systemen består av i princip 3 olika typer av slutanvändare (energianvändare). De har var och en sitt eget unika behov av energislag nämligen: el, högtemperaturvärme (HT-värme = högre temperatur än c:a 25 °C) och lågtemperaturvärme (LT-värme = lägre än 25 °C).

Att observera är att de tre kategorierna av energianvändare definieras av den energityp som kategorin i fråga behöver och inte vad den i dag vanligen försörjs med.

De elspecifika användarna består av exempelvis belysning, kontors- och hushållselektronik, alla typer av elmotorer i industri, handel, service och hushåll.

Användare av högtemperaturvärme (HT-värme) är exvis processer för smältning, torkning, kokning inom industrin samt spis, ugn och varmvatten i hushåll.

Användare av lågtemperaturvärme (LT-värme) är utrustning för temperering av lokaler och ventilationsluft. Med temperering menas att hålla temperaturen konstant genom värmetillförsel respektive värmeförlust.

De stationära systemen består i dagens läge av alla storleksklasser från de största landsomfattande systemen ned till det enskilda hushållet. De storskaliga sys-

temen är starkt centraliserade och hanterar mycket stora effekter och energisättningar.

Nuvarande stationära system är till mycket stor del uppbyggt omkring el från det allmänna elnätet. Så länge elförsörjningen fungerar och används till elspecifik utrustning med låga effektbehov är användningen av el mycket rationellt och tilltalande, men för många elanvändare är el en onödigt ädel energiform som enbart gör dessa användare onödigtvis beroende av storskaliga centrala energisystem. I Kap 1.1.5 skall visas att detta är en elanvändning som i hög grad kan ifrågasättas även ur ren ekonomisk synpunkt.

1.1.1 Sårbarhet

För närvarande är alla basfunktioner i samhället på ett eller annat sätt beroende av någon elspecifik utrustning. Ofta har denna elspecifika utrustning inte särskilt mycket av starkströms- (högeffekts-) karaktär som annars är typisk för det allmänna elnätet. Trots detta är utrustningen inkopplad på det allmänna starkströmsnätet.

När kombinationen uppstår, att de livsviktiga basfunktionerna är högbelastade och samtidigt energitillförseln till dessa plötsligt uteblir (kanske just beroende på att energitillförseln är högt belastad) kan det uppstå ett mycket hotande läge som exempelvis vid strömavbrott när det råkar vara 27 grader kallt ute.

För trygghet och låg sårbarhet är det av stor betydelse att energikonsumenten får sin energitillförsel från en energiresurs som är lagringsbar på nära håll, vilket innebär litet distributionssystem. Elenergi är den energiform som har den sämsta lagringsförmågan. Den måste produceras i samma ögonblick som den skall konsumeras. Dvs då en basfunktion har behov av energi och denna helt består av el, eller till någon del är beroende av el från det allmänna elnätet, är det nödvändigt att alla led från en lagrad energiform till konsumenten är intakt för att basfunktionen skall bli upprätthållen.

1.1.2 Reglerbarhet och dynamisk förmåga

En utrustning där energiutnyttjandet kan varieras i intensitet (=belastningen) inom stort område och har förmåga att följa ett snabbt varierande behov, sägs ha god reglerbarhet och dynamisk förmåga (= RDF). Detta är i många fall en mycket viktig egenskap.

Av de tre energiförbrukargrupperna för stationära energisystem är det egentligen bara de elspecifika som har mycket starkt krav på god RDF hos energitillförseln när användaren kallar på eleffekt. I nuvarande energisystem har bara vattenkraften sådan förmåga. Kärnkraften är mycket svårreglerad.

1.1.3 Lagringsbarhet

De enda energiformer som är varaktigt lagringsbara är vattnets lägesenergi i vattenkraften liksom energin i bränslen (inkl. biomassa).

1.1.4 Hälso- och miljörisker

De kända miljöproblemen för de stationära energisystemen är väsentligen avgasutsläpp från de bränsleledade kraftverken samt bränsle och avfallshanteringen för kärnkraften. Vidare finns risker förknippade med transporter som är relaterade till energihanteringen. Oljetransporter till lands och sjöss kan således vid olyckor få stora konsekvenser.

Sedan lång tid tillbaka har funnits indikationer på att vistelse i elektromagnetiska fält skulle medföra hälsorisker. Cancerfrekvensen har varit uttalat mycket högre för personer som stadigvarande har uppehållit sig i elektromagnetiska fält, exempelvis som förare på ellok och servicepersonal på kraftledningar och andra anläggningar för elkraftförsörjning. Likaså har noterats att cancerfrekvensen är högre för personer som är bosatta vid kraftledningar. I dessa fall har det speciellt varit barn som drabbats av leukemi.

Dessa indikationer samt att fall av elöverkänslighet den senaste tiden har blivit alltmer frekventa gör att riskerna i en höggradigt elektrifierad miljö börjar ses på med stort allvar.

1.1.5 Ekonomi

Några viktiga faktorer som påverkar den totala konsumentkostnaden för energi är förutom verkningsgraden bla även utnyttjandegraden för utrustningen.

Den totala kWh-kostnaden för en energianvändare kan tecknas :

$$\text{Totalkostnad} \quad | \quad \text{Kapitalkostnad} \quad | \quad \text{Energikostnad} \quad | \quad \text{Service \& underhålls-} \quad | \quad \text{Skatter} \\ \text{kostnad}$$

$$P_{TOT} = P_I + P_E + P_S + P_{SK} \dots (\text{ekv 1})$$

Där:

P_{TOT} = Totalpris för användaren av energin [öre / kWh]

$P_I = J \cdot k_i / T \cdot v$ = Kapitalkostnadsdelen av P_{TOT}

$P_E = k_E / \eta$ = Energikostnadsdelen av P_{TOT}

$P_S = J \cdot k_s / v$ = Service- och underhållskostnadsdelen av P_{TOT}

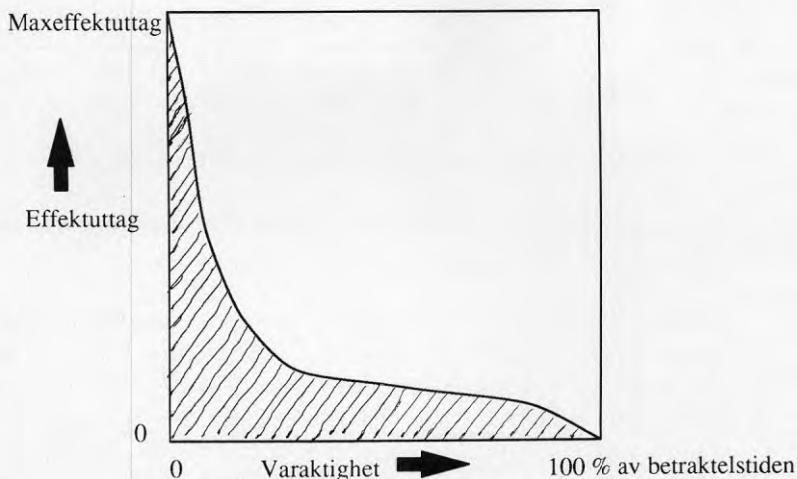
$J = 100 / 24 \cdot 365$ [sortförvandlingskonstant öre / kr , timmar / år]

- k_i = Investeringskostnad [kr / kW]
 T = $1 / a$ = Antal år för rak avskrivning
 a = Kapitalränta (ev annuitet)
 u = Utnyttjandegrad
 k_E = Pris på ingående energi [öre / kWh]
 η = Omvandlingsverkningsgrad
 k_s = Service- & underhållskostnad [kr / kW, år]
 p_{sk} = Energiskatt [öre / kWh]

Den viktigaste parametern att ta ställning till vid all anskaffning av energiutrustning gäller dess maximala effekt för att motsvara en specificerad prestanda (obs det gäller således en maximal effekt som någon gång kommer att krävas). Detta beslut är så gott som alltid baserat på mycket rationella och verkliga krav. Ett exempel på detta är ett elnäts dimensionering där såväl produktionsresurs som distributionsresurs naturligtvis måste kunna möta den största förekommande belastningen.

Den vardagliga användningen av utrustningen består dock av en betydligt mycket lägre effekt än topp effekten. Varaktigheten för varje effektnivå kan åskådliggöras i ett sk varaktighetsdiagram enligt Figur 1.3

Ytan under diagrammet representerar den energimängd som hanterats under en aktuell betraktelsetid. Om den hanterade energimängden normeras till den energimängd som skulle levererats om maxeffekten hade levererats under hela betraktelsetiden fås utnyttjandegraden u . Denna utnyttjandegrad är identisk med inte bara hur stor del av betraktelsetiden som maximal effekt utnyttjats utan också med medelbelastningen hos utrustningen. Dvs till vilken grad man i genomsnitt utnyttjat den installerade topp effekten.



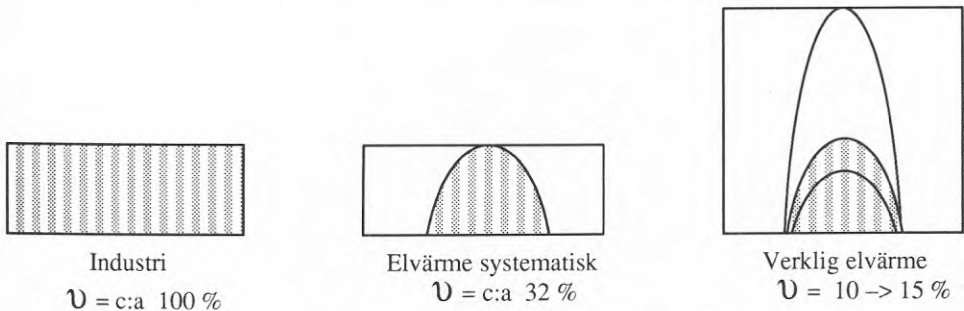
Figur 1.3 Varaktighetsdiagram

Vid dålig utnyttjandegrad blir alltid p_i och p_s höga samtidigt som även p_e blir hög men ej direkt pga den låga utnyttjandegraden. Då vid dålig utnyttjandegrad produktionsenheten i genomsnitt drivs vid en låg belastning där dagens elproduktion har en låg verkningsgrad kommer alltså även p_e bli hög via en låg verkningsgrad. Småskaliga elsystem som ett enskilt hushålls behov av el har alltid mycket låg utnyttjandegrad.

Ett enskilt hushåll utan eluppvärmning har i allmänhet ett behov av el som är sådant att ν endast är några %. Vid renodlad eluppvärmning skulle den systematiska delen av effektbehovet vara en halv sinus-kurva enligt mittbilden i Figur 1.4 varvid ν skulle bli $= 1 / \pi = 32 \%$. Då det verkliga effektbehovet ligger och sprider omkring det systematiska behovet och de högsta topparna kanske är 2–3 gånger högre än max för det systematiska, blir på så sätt utnyttjandegraden för ett eluppvärmningssystem som skall klara den värsta situationen, kanske bara 10–15 % som i bilden till höger i Figur 1.4.

Den enda belastningsprofil som kan ge hög ν är en processindustri med dygn-runtproduktion. Kraftbehovet skulle då vara jämt och konstant både dygnet och året runt som i bilden till vänster i Figur 1.4

Som ett exempel kan nämnas att vid mycket låga värden på ν kan för elsystem bara kapitalkostnadsdelen p_i för produktionsutrustningen (dvs exklusive kapitalkostnad för distributionssystemet) ligga vid 0.5 – 1.0 kr / kWh. Tillfälliga korta effektbehov ger således mycket höga kostnader.



Figur 1.4 Utnyttjandegrad vid olika belastningsprofil

Även verkningsgraden för omvandling av en energiform till en annan kommer naturligtvis in i ekonomin liksom distributionsförluster.

Energisystem består av ett stort antal omvandlare av energiformer såsom exempelvis processer för transformering av en oädel form av bränsle till den mer högvärdiga och lätthanterliga flytande formen Andra exempel är omvandling av vattnets lägesenergi i vattenkraften till elenergi eller det kemiskt bundna energin i ett bränsle till högtemperaturvärme vid en förbränning. I Tabell 1.1 återfinns de vanligaste omvandlingarna av energi för de stationära energisystemen.

Från energiform: Till energiform:	Vatten- kraft	Flytande bränsle	Fast bränsle & Biomassa	Kärn- kraft	Sol- energi
El	—	30 via värme motor	30 via värme motor	30 via värme motor	10 via solcell
Flytande bränsle	60 via El	—	60	20 via El	(20) via artificiell syntes
HT-värme	100 via El	95 via förbr.	90 via förbr.	30 via El	30 via HT-SF
LT-värme	100 via El (250 m. VP)	95 (140 med motordriv.VP)	95 (140 med motordriv.VP)	100 (Secure) (90 med El via VP)	60 - 120 via LT-SF

1.1.6 Sammanfattning av stationära energisystem

Problemställningarna för de stationära energisystemen kan nu sammanfattas.

De storskaliga elsystemen — med stora centrala produktionsenheter och omfattande distributionssystem kan dessa ge sårbarhet, stora kapitalkostnader för kraftledning och produktion. Vidare medför de elektromagnetiska fälten kring kraftledningarna uppenbarligen hälsorisker.

Användning av olämplig energiform — huvudsakligen gäller detta användningen av olja och centralproducerad el för temperering av lokaler, vilket är en mycket överkvalificerad användning av ädelenergi.

Oljeeldning — ger luftföroreningar

1.2 Mobila energisystem

Med mobila energisystem förstås sådana system som innehåller både en inom systemet medförd, lagrad energiresurs för viss aktionstid eller uppgift samt en motor som omvandlar den lagrade energiformen till mekanisk energi.

Den lagrade energin gör dessa energisystem till autonoma under viss aktionstid och systemen bildar drivsystemen för farkoster såsom bilar, flygplan och båtar men även för den mindre skalan såsom motorsågar, gräsklippare etc. Viss stationär men samtidigt autonom utrustning för leverans av mekanisk energi kan praktiskt taget räknas till de mobila drivsystemen. Exempel på sådan ut-

rustning utgör pumpar och småskalig elkraftverk med ödslig lokalisering då energilagret måste medföras.

En elektrifierad järnväg kan i första påseendet ses som ett mobilt system, men pga att tåget ej medför energin för driften är det energimässigt ej ett mobilt system, utan måste klassas som ett stationärt elenergisystem.

Tåg utgör dock ett mycket ändamålsenligt transportsystem och vid icke elektrifierade järnvägar, vilka är helt dominerande i det globala perspektivet, gäller naturligtvis samma villkor för tågets drivsystem som alla andra mobila drivsystem.

Bilens inträde i dagens samhälle har i hög grad underlättat och berikat livet för människan, åtminstone i den lokala och regionala skalan. Möjlighet ges till smidiga transporter, frihet att välja bostad och arbetsplats relativt oberoende av kollektiva färdmedel, möjligheter för barnfamiljer att nå ut till fritidssysselsättning etc. Bilismen har dock medfört odiskutabla olägenheter som till stor del har att göra med drivsystemet. Väl att märka att olägenheterna är främst att hänföra till den egentliga motorn och inte till energibäraren. På denna punkt råder det stor förbistring då det blir mer och mer vanligt att man introducerar nya "miljöbränslen", som om bilens avgas- och bullerproblem skulle vara bränslerelaterade, vilket det inte är annat än då bränslet är förorenat antingen genom att dessa föroreningar varit med från början eller tillsatta efteråt i något syfte.

Olägenheterna med bilismen är av typen avgasutsläpp och buller. Om dessa kunde reduceras eller helt elimineras skulle bilismens fördelar kunna bibehållas eller t.o.m. utökas. Analys av detta sker i Kap 5.

Strängt funktionsmässigt är dagens motor en omvandlare av högtemperaturvärme (HT-värme) till mekanisk energi dvs en värmemotor. HT-värmen måste emellertid komma från något håll och de flytande bränslena är det enda realistiska alternativet för mobila, autonoma tillämpningar. Detta understryks av Tabell 2.3 och Figur 2.1 som visar hur förkrossande överlägsna de flytande bränslena är då det gäller att i mobila tillämpningar få med sig en given energimängd. Dessa fakta förändras mycket marginellt av olika motorers verkningsgrader (närmare om detta i Kap 1.2.5).

De bränslen det är frågan om är av typen:

- Fotogen
- Bensin
- Dieselolja
- Etanol
- Metanol

Med ett flytande bränsle förstås således ett bränsle som vid atmosfärstryck och normal utetemperatur är i flytande tillstånd. Detta förhållande gör dem lätthanterliga och de kräver inte någon högtryckstank eller speciell utrustning såsom

kryogenanläggning och extremt god köldisolering. Bränslen av typ gasol kan med viss tvekan i vissa fall hänföras till energibärare i mobila drivsystem, dvs de kan möjligen räknas som ett flytande bränsle. De flytande bränslena har även en självklar plats i motortillämpningar som har höga krav på stor reglerbarhet och god dynamisk förmåga och där det över huvud taget krävs lätthanterlighet. Detta ger dem en odiskutabel särställning som primärenergi för mobila tillämpningar.

De mobila drivsystemens hälso- och miljökonsekvenser har till största delen samband med egenskaper hos drivsystemet i sig. Således i mycket ringa grad kopplat till energibäraren.

Då utgångspunkten för denna analys är att all energi skall vara av typen förnyelsebar är det nödvändigt att drivsystemet kan använda ett kretslopp-bränsle såsom exempelvis någon alkohol. Dessa består av en enda enkel molekyltyp som gör det lätt att optimera förbränningen under förutsättningen att drivsystemet accepterar detta bränsle. En följd av detta är att bränsleflexibilitet är en i hög grad önskvärd egenskap för presumtiva framtida drivsystem. Dagens motorer har ej god bränsleflexibilitet, utan i stället många krav på oktantal, cetantal, smörjförmåga etc.

1.2.1 Energi- och effekttäthet

För att ett drivsystem skall vara acceptabelt behöver både energitäthet hos energibäraren och effekttätheten för helheten vara hög.

Kravet på hög effekttäthet och därmed önskan om hög prestanda är inte bara en prestigefråga utan i hög grad en rationell faktor som berör en så angelägen egenskap som säkerhet. Säkerheten kommer exempelvis in i situationer som att kunna accelerera upp snabbt för att riskfritt kunna smälta in i trafiken på motorväg eller för att minimera olycksrisken vid omkörningar.

Prestanda kan även ha stort inflytande på ekonomin. Exempelvis för den kommersiella trafiken som med hög prestanda kan hålla jämn fart i backar och därmed göra tidsvinster. Förluster i koppling och växellåda blir lägre då antalet växlingar blir reducerade. Med god prestanda är det dessutom möjligt att hålla hög regelbundenhet och kunna passa kritiska tidpunkter, exempelvis färjeavgångar. Hög prestanda i form av kraftigare motor innebär visserligen för de konventionella motorerna att verkningsgraden går ner genom att en kraftigare motor blir lägre belastad (se Figur 1.7) men detta förhållande förtar inte vinsten som görs genom att inte behöva växla så ofta. För de konventionella motorerna i tung trafik är det således en vinst att göra i frågan om bränsleförbrukning genom att ha en kraftigare motor (Ref 4). Hög prestanda ger även helt allmänt önskvärda egenskaper genom att trafiken flyter smidigare och irritation och risksituationer kan undvikas. Hög prestanda behöver alltså inte bara betyda hög toppfart och rivstarter av omdömeslösa bilförare utan är faktiskt ett

eftersträvansvärt mål för att nå både större säkerhet och bättre ekonomi. I Bilaga 1 beskrivs hur det är möjligt för moderna ångdrivsystem att få hög prestanda utan att göra avkall på någon annan egenskap.

Med dagens kunskap är i princip sådana system möjliga som visas i Tabell 1.2. Där anges vikt per energiinnehåll hos energibärare men också den vikt som sätts av effekttheten hos hela drivsystemet. Det ligger nära till hands att effekttheten ges av den egentliga motorn, vilket den också gör för värmemotorer med ett flytande bränsle som energibärare. **För drivsystem med elmotor har även utrustningen för elleverans en effektthet som är låg och därför starkt bidragande till den totala vikten för drivsystemet.**

Tabellen 1.2 förklarar således varför el-bilen med största sannolikhet är orealistisk bara av energi- och effektthetskäl. Till detta kan fogas en rad andra tekniskt-fysikaliska, miljömässiga och ekonomiska synpunkter. En är exempelvis att den höga batterivikten blir mångfaldigt förvärrad om man tar hänsyn till den återkoppling som alltid finns på ökad strukturvikt för själva fordonet som ger återkoppling på sämre prestanda och högre energiförbrukning som kräver större batteri osv – den klassiska viktskarusellen.

Tabell 1.2 Olika mobila drivsystem					
System nr	Typ av drivsystem	Typ av energibärare	Vikt per energiinnehåll [kg / kWh] för energibäraren	Vikt per effektkapacitet [kg / kW]	
				för energibäraren	för det egentliga motorsystemet exkl. energibärare
1	Renodlad Elbil	El.batteri	30	10	2
2	El-hybrid-drift	El.batteri	0.01	10	2
3	Elmotor + bränslecell	Flyt. Br	0.01	> 15	2
4	Konv. Otto	Flyt. Br	0.01	–	2.5
5	Konv. Diesel	Flyt. Br	0.01	–	4
6	Gasturbin	Flyt. Br	0.01	–	1
7	Stirling	Flyt. Br	0.01	–	5
8	Modern ångmotor	Flyt. Br	0.01	–	0.3

Den rena elbilens effektbegränsning sätts alltså av batteriernas låga effektthet som sammanhänger med det inre motståndet i batteriet. Av samma skäl blir el-hybrid-bilen svår att realisera oavsett hur elegant och kompakt laddningssystem som kommer fram för att ladda batterierna. Även elbil med bränslecell

som energikälla lider av samma svårigheter på grund av bränslecellens mycket låga effekttäthet.

I försök att råda bot mot elbilens dilemma med effekttätheten har batteriutvecklare de senaste åren talat om kondensatorbatterier. Det går dock inte att lösa problemet på detta sätt. Även om den elektriska fältstyrkan läggs mycket nära överslagshållfastheten för dielektrikumet fås värden på energitäthet som är mindre än en procent av t.o.m. blybatteriets. Dessutom är riskerna överhängande för överslag och kortslutning med katastrofala följder.

För ytterligare exempel på de risker och opålitlighet som alltid är förknippad med elektrokemiska utrustning behövs bara erinras om det som händer omkring det vanliga startbatteriet i bilar där, t.o.m. för små effekter och i betydligt mindre utsatta sammanhang än så vitala och krävande system som ett fordons drivsystem, man har problem i frågan om frätning från kemikalier, ovisshet om hur mycket laddning som finns kvar, köldkänslighet, etc.

1.2.2 Körbarhet

Ett av de viktigaste begreppen för att klassificera ett mobilt drivsystem är dess körbarhet. Denna körbarhet, som numera t.o.m. på svenska brukar benämnas "driveability", motsvaras i vissa delar av de stationära systemens RDF. God körbarhet innefattar möjligheten att reglera uteffekten i hela last- och varvtalsområdet från maxlast ner till noll. Vidare skall motorens uteffekt följa snabba pådrag (= "gasning") utan fördröjning eller störande ryck.

De konventionella motorerna som måste vara utrustade med koppling och växellåda har en dålig körbarhet i förhållande till motorer där koppling och växellåda ej behövs.

Att körbarheten är en väsentlig egenskap och egentligen helt fundamental för ett mobilt drivsystem visar den uteblivna framgången för både Gasturbinmotorn och Stirlingmotorn, vilka har varit föremål för en intensiv och långvarig utvecklingsinsats utan att kunna visa någon potential som bilmotor. Mycket tyder på att detta är den egentliga anledningen till att dessa två motortyper endast har funnit andra nischer än den som bilmotor. För båda motorerna gäller att de ej går att reglera ner till noll vilket gör att föraren t.o.m. i bland måste bromsa motorn i normal vardagskörning. Båda motorerna har dessutom en helt otillfredsställande dynamik som ej är acceptabel i trafik.

Vid värdering av nya motorkoncept är märkligt nog körbarheten ofta en förbisedd egenskap trots att det är en av de viktigaste egenskaperna för åtminstone bilar drivsystem. Mobila drivsystem för båtar, flygplan och liknande farkoster har även de höga krav på körbarhet men ej fullt så höga som bilar.

De bästa förutsättningarna för god körbarhet har elmotorn och ångmotorn förutsatt att de kan försörjas med el resp ånga. Ingen av dem behöver vare sig

koppling eller växellåda och får därför en mycket mjuk gång och god körbarhet. Förutsättningarna är dock att de tillfredsställande kan försörjas med energi, vilket är svårt att uppfylla för elmotorn.

1.2.3 Tillförlitlighet

På grund av sin långa utveckling har dagens bilmotor blivit mycket finslipad i fråga om tillförlitlighet men det börjar komma mycket tillsatser och komponentsutrustning, som tillsammans bildar ett komplext och i många fall ett system som inte är så tillförlitligt man skulle önska.

Avgasreningsutrustning med katalysator som separat enhet och lambdasondstyrning av förbränningen är exempel på sådan nytillkommen utrustning som kräver kontroll och underhåll.

Varje bilist vet att det största hotet mot tryggheten utgör den elektrokemiska utrustningen i form av startbatteriet, som förr eller senare sätter drivsystemet ur funktion. Främst är det svårigheter med start av motorn vid stark kyla men även andra svårigheter finns som är att hänföra till batteriets otillförlitlighet.

1.2.4 Hälsö- och miljörisker

De avgaskomponenter som man i första hand talar om är dels de två som är ett uttryck för ofullständig förbränning – koloxid och ofullständigt förbrända kolväten (CO och HC) och dels kväveoxiderna (NOX) som är ett resultat av att förbränningen av bränslet sker med hjälp av luft. När förbränning sker vid hög temperatur förenar sig luftens kväve och syre till NOX. För de mobila drivsystemen som använder drivmedel som ej innehåller kväve, ges NOX-komponenten i avgaserna uteslutande av motorns principiella förbränningstemperatur och är ej bränslerelaterad.

En fjärde avgaskomponent som blivit aktuell det senaste årtiondet är koldioxid (CO₂), som är det harmlösa resultatet av all förbränning av bränslen som innehåller kol oavsett förbränningens natur eller typ av motor. Att den i och för sig ofarliga koldioxiden ändå är föremål för uppmärksamhet beror på dess sk växthuseffekt, vilket innebär att ett CO₂-innehåll i atmosfären på lång sikt ger en uppvärmning av jorden. Detta i sin tur kan ge allvarliga globala förändringar av klimat och livsbetingelser. Reduktion av CO₂-utsläppen kan endast ske genom att reducera bränsleförbrukningen. Men även om möjligheterna att reducera CO₂-utsläppen således är små kan ackumulering av CO₂ i atmosfären (vilket utgör den egentliga problemet med växthuseffekten) helt elimineras om CO₂-utsläppen tas om hand och får ingå i en framställningsprocess för det bränsle som motorn förbrukade då den gav CO₂-utsläppen. Detta är ett utpräglat kretsloppstänkande och kommer att beskrivas närmare i Kap 4 och 5.

Motorer med bränsleinsprutning (främst Dieselmotorer) har även utsläpp av partiklar (kol-), vilka i allmänhet är bärare av de hälsovådliga HC-kompo-

nenterna. Ytterligare skadliga avgaskomponenter utgör svavel, tungmetaller etc. som antingen är rena föroreningar i bränslen eller tillsatser för att för vissa motorer uppnå nödvändiga oktän- eller cetantal.

I Figur 1.1 är de hälso- och miljöproblem som orsakas av avgaserna redovisade. Allmänt känt är att dessa effekter finns på både globalt, regionalt och framför allt lokal nivå. Avgasutsläppen CO, HC, NOX och partiklar är mest akuta lokalt.

NOX-en spelar den ojämförligt mest centrala rollen av alla avgaskomponenter då den är förutsättningen för praktiskt taget alla icke önskvärda effekter av avgasutsläpp såsom marknära ozonbildning, smogbildning, försurning etc. förutom att NOX-en i sig själv är mycket giftig genom att orsaka akuta lungskador.

För Otto-motorer kan avgasrening med katalysator reducera CO, HC och NOX till de nivåer som i dag krävs. Dessa krav är uppenbarligen otillräckliga om de skulle formuleras som vad människa och natur tål. För Diesel-motorn finns principiellt ingen katalysatorlösning på NOX-problemet.

Om elbatterier skulle komma till omfattande användning i fordon (vilket i och för sig är osannolikt, se Kap 1.2.1) skulle man introducera allvarliga risker. Risken för kortslutning är stor och följderna mycket ödesdiga i form av brand och utsläpp av farliga substanser etc. Även helt utan felfunktion kan el-bilen starkt ifrågasättas pga oönskade hälsoeffekter som uppstår vid vistelse i miljöer med stark strömstyrka eller överhuvud taget i starka elektromagnetiska fält. Elöverkänslighet är uppenbarligen ett faktiskt fenomen som ej kan bortses ifrån.

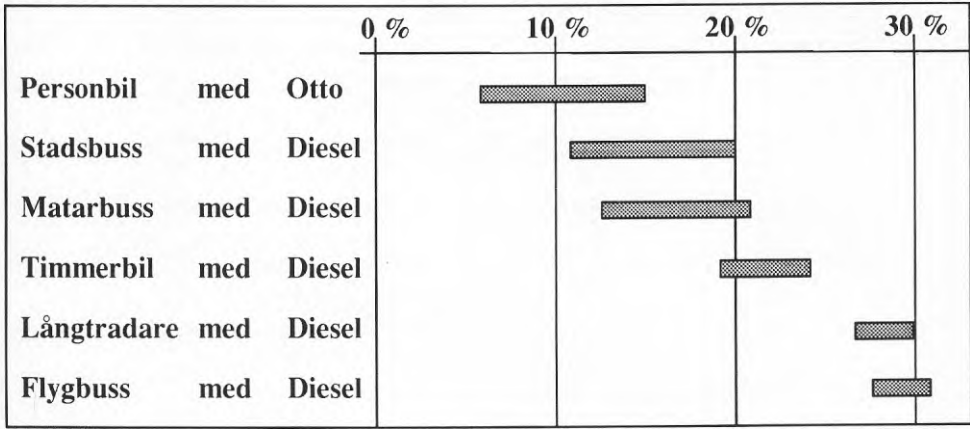
1.2.5 Ekonomi

Ekonomi för ett drivsystem kan inte normeras till uträttade kWh på samma sätt som för stationära energisystem (Kap 1.1.5) eftersom drivsystemets nytthet består av andra faktorer. Två diskreta egenskaper är dock urskiljbara med direkt inverkan på ekonomin. Den ena är energiförbrukning per mil och den andra är tillverkningskostnaden.

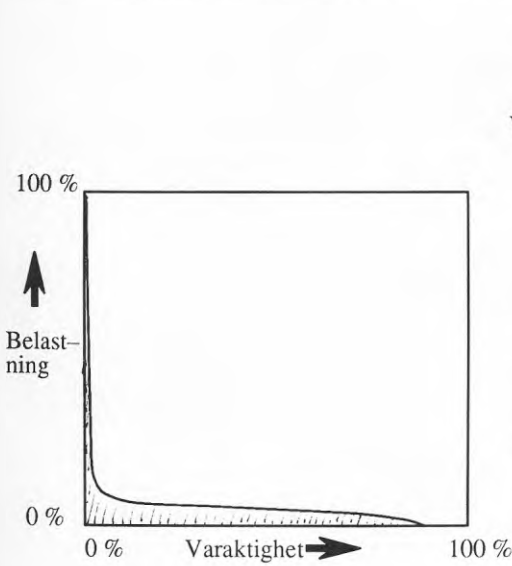
Energiförbrukning per mil ges naturligtvis av den övergripande verkliga verkningsgraden för drivsystemet. **Denna totala verkningsgrad – från bränsle till uträttat arbete vid hjulen – är pratiskt taget för all användning av motorer något helt annat och avsevärt mycket lägre än den maximala som den rena motorn kan få i någon arbetspunkt.** Den maximala verkningsgraden är dock den som man av tradition angivit som signifikant för en motor, vilket alltså är helt vilseledande och på intet sätt vägledande för vad den totala verkningsgraden blir för ett drivsystem när det används i exempelvis ett fordon.

Det är förbluffande enkelt att bestämma den verkliga, totala verkningsgraden för ett drivsystem i en given tillämpning genom att bestämma det arbete som

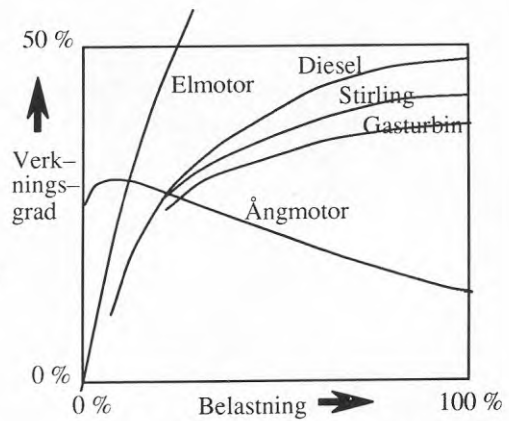
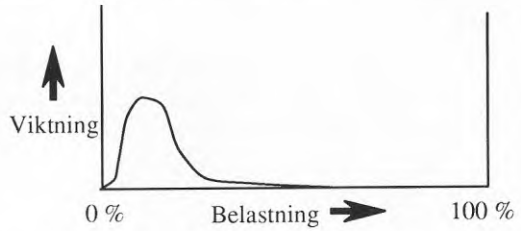
uträttas vid hjulen och sätta detta i relation till bränsleförbrukningen. I Figur 1.5 ges den på så sätt bestämda totala verkningsgrader **under verkliga förhållanden** för de konventionella motorerna i några vanliga tillämpningar.



Figur 1.5 Totalverkningsgrad för olika fordonstyper med konventionella motorer



Figur 1.6 Belastningsspektrum



Figur 1.7 Olika motorers verkningsgrad

Orsaken till att verkningsgraden blir så låg står att finna i att fordon har en extremt låg belastning under vardagliga körförhållanden enligt Figur 1.6. Detta i sin tur beror på det som sades i Kap 1.1.5 och 1.2.1 om att ett drivsystems effektkapacitet måste väljas för det högsta effektbehov som enstaka gånger behövs oavsett om dessa tillfällen är oerhört kortvariga och att medeleffekten är

avsevärt mycket lägre. Med dessa fakta som bakgrund skulle man kunna tycka att om man gjorde avkall på "topprestandan" genom att sänka maxeffekten på drivsystemet skulle detta i vardagslag gå mera högbelastat och därmed få bättre verkningsgrad. Verkligheten visar emellertid att ur praktiskt taget alla aspekter är det fel att göra fordonen "under-powered". Således försämrats trafikmiljön, transportekonomin, trivsel, etc. (se Kap 1.2.1). Det är i stället en klar tendens och önskemål om högre maxeffekt speciellt för den tunga trafiken för att få bort exempelvis irritationen omkring "under-powered" långtradare i långa uppförsbackar och för att förbättra transportekonomin.

I Figur 1.7 framgår hur den egentliga motorns verkningsgrad är beroende av belastning för några motortyper. I överkant på figuren är viktningen av de olika belastningsgraderna angiven. För de konventionella motorerna är verkningsgraden hög vid hög belastning men mycket låg vid de helt dominerande låga lasterna. Detta förklarar till en del de mycket låga värdena i Figur 1.5. Andra starkt bidragande orsaker till att den totala verkningsgraden blir så låg är förluster som beror på de starkt dynamiska förhållanden som råder för bilens drivsystem och att dagens motorer behöver koppling och växellåda.

Figur 1.5 ger mycket klara belägg för denna förklaring då tillämpningar med utpräglad låg och dynamisk belastning och mycket växling har de sämsta totalverkningsgraderna. Däremot har tillämpningar med relativt konstanta belastningsförhållanden och lite växling, som långtradare och flygbuss, en ganska hög totalverkningsgrad.

I Figur 1.7 är även inlagd karaktäristiken för en elmotor, som naturligtvis har mycket hög verkningsgrad vid hög last men som även den får en starkt reduktion vid låga laster. Detta gör att inte ens i energiförbrukningsavseende är elbilen speciellt fördelaktig.

Ångmotorer som varken behöver någon koppling eller växellåda eller har någon reduktion av verkningsgraden vid starkt dynamiska körförhållanden, får en total verkningsgrad som mycket nära ansluter till de i Figur 1.7 vid de signifikanta (låga) belastningarna. Detta gör att en ångmotor har lägre bränsleförbrukning än någon annan motor under verkliga, vardagliga förhållanden.

Tillverkningskostnaden för ett drivsystem är till stor del förknippad med motorvikten åtminstone så länge inte några mycket exotiska material kommer till användning.

1.2.6 Sammanfattning av mobila energisystem

Dagens drivsystem har visat sig ha följande olägenheter:

- Höga avgasutsläpp (speciellt Dieseln)
- Hög bränsleförbrukning (speciellt vid vardagskörning)
- Dålig bränsleflexibilitet

- Dålig tillförlitlighet (speciellt funktioner som är relaterade till elbatteriet)
- Dålig körbarhet pga främst växlingsbehovet.

För de alternativa drivsystem som hitintills varit aktuella gäller följande:

El- eller elhybridbil har trots intensiva satsningar ej kunnat slå igenom. Grunden till detta är den dåliga energi- och effekttätheten som sedan påverkar både ekonomi och pålitlighet. Den enda anledning till att elbilar har övervägts som alternativ är miljöskäl. Det kan i hög grad ifrågasättas om de alls skulle bidra till en förbättring av miljösituationen. Exempelvis gör innehållet av mycket stora mängder med bly, kadmium eller frätande och giftiga kemikalier att sådana system knappast är lämpliga ur miljösynpunkt särskilt då risk finns för att de kan utsättas för skador. Vidare är de skenbart eliminerade avgasutsläppen en chimär då elen måste produceras någonstans och det resulterar i avgasutsläpp som kan vara större än för dagens bilar. Det är egentligen bara vattenkraftsel som är oantastlig som laddningskälla för elbilar, och denna form av el är en mycket marginell producent i globala sammanhang. Ytterligare en faktor som talar emot elbilen utgör de alltmer tydliga tecknen på hälsorisker med att vistas i intensiva elektromagnetiska fält.

Gasturbin och Stirlingmotorn har heller inte kunnat visat upp ett ändamålsenligt drivsystem trots en intensiv 25-årig utvecklingsinsats. En av orsakerna till detta är oförmågan hos drivsystemen att överhuvudtaget fungera vid de låga laster som det är frågan om i fordonsammanhang. Vid de lägsta laster som de kan arbeta vid är dessutom verkningsgraden dålig och dynamiken fullständigt otillfredsställande. Båda drivsystemen är beroende av koppling och växelåda och har ej övertygande låga avgasutsläpp.

2. Olika energislag och deras egenskaper

För att kunna göra en förutsättningslös studie av vad som är möjligt i fråga om förbättring av samhällets energiförsörjning är det angeläget att göra en genomgång av basfakta för olika energislag och deras fundamentala egenskaper.

Det abstrakta begreppet energi konkretiserar sig i många relativt påtagliga former såsom exempelvis:

- Lägesenergi
- Rörelseenergi
- Tryckenergi
- Kemiskt bunden energi i olika bränslen
- Elenergi
- Värmeenergi vid olika temperaturer

De kan grupperas ihop till några huvudkategorier av energi, nämligen :

- Mekanisk energi
- Elekicitet
- Strålning (sol-)
- Kemiskt bunden energi i bränslen
- Atom-fysikaliskt bunden energi
- Värme bunden till substanser vid olika temperaturer

De mekaniska energiformerna är bundna till materians massa eller mekaniska egenskaper och representeras av:

- Lägesenergi
- Rörelseenergi
- Tryckenergi
- Elastisk uppspanning (exvis en urfjäder)

De mekaniska energiformerna är i allmänhet mycket skrymmande (se Tabell 2.3 och Figur 2.1) och kommer till praktisk användning endast i samband med vattenkraftens vattendammar

Elektricitet är en utomordentligt smidig och lätthanterlig form av energi för elspecifika lågeffektsbehov. Då emellertid el utgör den mest utpräglade färskvaran av alla energiformer innebär detta att den så gott som alltid måste lagras i andra energiformer. Uppladdning av en kondensator utgör dock ett sätt att faktiskt lagra just elektriciteten men denna lagring är mycket ineffektiv. För de vanliga elbatterierna där elektriciteten lagras i kemiskt bunden energi är energitätheten c:a 200 gånger bättre. Elbatterier är dock utomordentligt dåliga energilagrar även de, som skall visa sig i Kap 2.2 En konsekvens av den nästan obefintliga lagringsförmågan hos el är att den från någon lagringsbar energi måste produceras i exakt samma takt som den konsumeras.

För mycket små eleffektbehov (< 10 W) och användningstid (< 1 timme) kan el dock produceras från de klassiska ficklampbatterierna och blyaccumulatorer

men det blir helt orealistiskt att på detta sätt försöka lagra lite större energimängder.

Det är lämpligt att dela upp eltillförseln i El 1 och 2 där dessa definieras som:

El 1 = Elenergi som finns tillgänglig direkt med önskad effekt. I allmänhet el från vattenkraft men kan även vara el producerad med värmemotor och generator förutsatt att värmemotorn går att reglera snabbt.

El 2 = Elenergi som genereras stokastiskt. Den del som inte omedelbart kan konsumeras måste lagras på något sätt, vilket är en stor nackdel. Några exempel på El 2 är vind- och vågkraft samt el från solceller. Denna typ av elproduktion kan endast lagras genom att antingen anslutas till det allmänna elnätet och då lagras i pumpvattenkraft eller måste samverka med annan elproduktion som är nerreglerbar i samma grad som den stokastiskt alstrade El 2 produceras.

Det är naturligtvis El 1 som är den mest användbara.

Strålning från solen är den mest primära och bestående energiformen som vi har tillgång till på jorden. Den kommer dock till oss med en flödesintensitet som är dels systematiskt ur fas med behovet (till exempel värmebehovet under vintern) och dels är stokastisk, vilket gör att energiflödet måste lagras i någon lagringsbar energiform för att kunna bli till någon nytta.

Solenergi omvandlas i naturen till de mekaniska energiformerna som exempelvis vattenkraft, vind- och vågenergi varav naturligtvis vattenkraften är den mest värdefulla då den innebär lagrad energi.

I naturen förkommer dessutom den synnerligen omfattande omvandlingen av solenergi till biomassa via den biologiska fotosyntesen.

I det långa loppet är det endast solenergi som är uthålligt användbar och som det gäller att utnyttja rationellt om det skall bli möjligt att skapa ekologiska energisystem.

En viktig och begränsande faktor för solenergi är den låga flödestätheten. I Kap 4 och 5 skall dock redogöras för system som har möjlighet att med stor framgång tävla med andra system även ekonomiskt.

Bränslen: Denna energiform utgörs av kemiskt bunden energi som kan klassas antingen som förnyelsebara eller fossil energiresurs men de kan också delas upp i tre grader av hanterbarhet:

- Br 1 = Flytande
- Br 2 = Gasformiga
- Br 3 = Fasta

Br 1 = Bränslen som är flytande vid atmosfärstryck och normalt förekommande temperaturer, vilket gör dem till de mest lätthanterliga. Med de högsta energinnehållet av alla bränslen både räknat per volym och vikt utgör de även de självklara energibärarna för mobila drivsystem. Se Tabell 2.3 och Figur 2.1

Br 2 = Gasformiga bränslen som kräver tryckkärl för förvaring och som trots det höga trycket har låg energitäthet. De har i och för sig goda dynamiska egenskaper men på grund av bla risker förknippade med det höga trycket i stora kärl är denna bränsleform ej lika attraktiv som Br1 annat än i vissa stationära tillämpningar.

Br 3 = De fasta bränslena som kol, ved, torv och biomassa. De är de mest svårhanterliga och har den sämsta dynamiken av alla bränslen. Förbränning av ett fast bränsle är alltså svårreglerad och passar enbart till processer med i det närmaste fast konstant effekt. Dessa bränslen är också de som är mest förorenade. I synnerhet gäller det de fasta fossila bränslena som kräver omfattande reningsanläggningar.

Biomassa i form av energiskog eller gröda som direkt eller genom omvandling blir bränsle utgör i och för sig en förnybar energiresurs men står också i motsatsförhållande till livsmedel- och råvaruförsörjningen. För närvarande har denna form av bränsleframställning en ganska begränsad betydelse och har en liten chans att få någon betydelse för energiförsörjningen pga det stora arealbehovet för denna produktion(se Kap 4). Skulle detta inte ha någon betydelse kan biomassa möjligen få en viss användning åtminstone tills man har fått genombrott för någon av teknikerna 3 -> 5 som behandlas i Kap 4.

Biomassa kan omvandlas till gas eller flytande bränsle. Metoder finns i dag att med relativt acceptabel ekonomi framställa alkohol från spannmål och skogsavfall med en omvandlingsverkningsgrad av 40 -> 50 %. Om skogsavfall gör skäl för namnet och verkligen är ett avfall skulle det kunna utgöra en mycket god råvara för industriell framställning av alkoholbränslen.

Både de förnyelsebara och fossila klasserna av bränslen finns representerade bland samtliga tre bränsletyperna enligt Tabell 2.1

Tabell 2.1 Olika bränslen		
Bränsletyp	Fossila	Förnybara
Br 1	Petroleum- produkter	Rapsolja Omvandlad biomassa Artificiell syntes ?
Br 2	Naturgas	Omvandlad biomassa
Br 3	Kol	Ved Biomassa Torv ?

Den stora förtjänsten med alla bränslen är att de fungerar som ett uthålligt lager tills man vid användningen genom förbränning omvandlar energiinnehållet till HT-värme (eller möjligen via en bränslecell till el).

Atomfysikalisk energi : Nuvarande kärnkraftverk använder sig av den sk fissionsprocessen som innebär att tunga atomkärnor klyvs till lättare som därvid ger värme. Denna energiform omvandlas sedan till el i en värmemotorprocess.

Sedan lång tid tillbaka har man satt in stora resurser på att få fram den sk fusionsprocessen till användbarhet. Denna process utgår från lätta atomer som slås ihop till tyngre och då avger stora mängder värme. Det förefaller dock vara mycket långt kvar till något genombrott för denna teknik då den måste hantera extremt höga temperaturer (milliontals grader). Skulle man lyckas att få denna process att fungera kommer den att bli extremt storskalig.

De allra senaste åren har emellertid den sk kall-fusionen (kall i betydelsen att den "heta" fusionens temperaturer inte är nödvändiga) dykt upp. Av omfattande aktiviteter ute i världen att döma kan möjligen kall-fusionen vara minst lika trolig som den heta fusionen. Men det som framförallt gör kall-fusionen intressant är att den klart hör till den lilla skalan till skillnad från den heta fusionen, som med nödvändighet kommer att utgöras av mycket stora, höggradigt centraliserade produktionsanläggningar för el.

Både den heta och kalla fusionen har stora chanser att bli tämligen harmlösa i frågan om radioaktiv strålning (eventuellt helt ofarliga och utan avfallsproblem) till skillnad från den klassiska fissionen.

Skulle kall-fusionen bli en realitet skulle den kunna uppfylla de mest extrema önsknings på energisystem. **Det är dock inte självklart att detta kan ske utan utrustning som kan tillgodogöra sig denna speciella energi.** Med sådan utrustning skulle dock mycket intressanta lösningar för framtiden kunna åstadkommas (se Kap 4 och 5).

De egenskaper som har betydelse för de olika energislagen är :

- Kvalite
- Lagringsförmåga
- Reglerbarhet och dynamisk förmåga
- Hanterbarhet
- Risker och miljökonsekvenser

2.1 Energikvalitet

Påfallande med samhällets energisystem i Figur 1.2 är att energiflödena har endast 4 klart avgränsade grupper av slutanvändare. Dessa användare har behov av energi av helt olika slag och kvalitet. Behovet av ett visst energislag står mycket sällan i överensstämmelse med den verkliga tillförseln av energi. Man gör sällan distinktion mellan de olika energislagens kvalitet.

Om man vid analys av olika energisystems effektivitet gör jämförelser mellan dessa utan hänsyn till att en kWh har olika värde för energisystem med hantering av olika energislag (användargrupp) blir analysen ej relevant. Det blir som professor Hannes Alfvén har sagt :

”Om man summerar energi utan att ta hänsyn till dess värde, begår man samma fel som en kassör som räknar sin kassa genom att ange hur många slantar den innehåller, utan att skilja mellan enkronor och femöringar”

Exempelvis har energiformerna mekanisk och elektrisk energi högre kvalitet än värmeenergi då de kan 100 %-igt omvandlas till denna lägre energiform men ej tvärtom.

Ur Figur 1.2 framgår att stokastiskt producerad energi (såsom den i dag marginella energiproduktion från vind, våg och solceller) till stor del ej är direkt användbar för förbrukaren utan måste gå till någon form av lagring. I vindenergifallet sker ”lagringen” genom att energin levereras in i ett distributionssystem som kan dra ner på energileverans från den reglerbara vattenkraften. Den mellanliggande lagringen betyder naturligtvis att en stokastiskt producerad kWh inte är av samma värde som en som produceras samtidigt med behovet.

Ur användarsynpunkt är det tvunget att skilja på de fyra kvalitetsgrupper av energi som framgår av Tabell 2.2

Vid indelningen av samhällets slutanvändare av energi i de 4 användargrupperna är utgångspunkten förbrukarens verkliga behov av viss energikvalitet. Således är grupp tillhörighet för en förbrukare ej relaterat till vad som förekommer i dagens samhälle, då exempelvis en mycket högvärdig energiform kan användas till att täcka det mest lågvärdiga behovet (Grupp D).

Tabell 2.2 De fyra kvalitetsgrupper av energi som hanteras i samhället	
Grupp	Kräver tillgång till:
A	Electricitet
B	Lätthanterlig, lagringsbar energi med hög energitäthet (= de flytande bränslena)
C	HT-värme = Värme vid hög temperatur (från c:a 25 C till c:a 1500 C)
D	LT-värme = Värme vid låg temperatur (från c:a 10 C till c:a 25 C)

Grupp A (= Elspecifika): Till denna energianvändargrupp skall hänföras enbart sådan utrustning som absolut inte kan använda sig av annan energiform än elektricitet (eller i vissa fall den lika högvärdiga mekaniska energin). Denna grupp utgörs exempelvis av :

- Belysning
- Alla slag av små elmotorer inom hushåll, handel och industri
- Drivning av kyl- och frysprocesser

- Kontors- och hemelektronik såsom radio, TV och datorer
- Vissa processer inom industrin

Karaktäristiskt för denna utrustning är att den skall kunna slås på och av utan fördröjning och överhuvudtaget kunna regleras smidigt. Dvs elanvändning har nästan alltid en mycket stark dynamik.

Effektbehovet för de verkligt elspecifika användarna är i allmänhet relativt lågt. Det har däremot utbildats en praxis mot mycket höga topp effekter i dagens samhälle då el felaktigt används. I Kap 1.1.5 redogjordes för det ekonomiskt olämpliga i att i ett energisystem få in höga topp effekter med liten varaktighet.

Grupp B (ungefär = de mobila drivsystemen); Denna grupp utgörs av alla mobila drivsystem, som har behov av lätthanterliga, lagringsbar energi med hög energitäthet. Dessa egenskaper besitter endast de flytande bränslena. Därför kan man säga att grupp B är identisk med användare som är beroende av flytande bränslen.

Grupp C (= HT-värme); Denna grupp har behov av termisk energi vid hög temperatur (HT-värme) främst såsom processvärme inom industri för exempelvis :

- Smältning
- Kemiska processer
- Ångproduktion
- Värmebehandling
- Kokning
- Torkning

I dagens svenska samhälle tillgodoses denna grupp med energi från el eller eldning med olja, kol, torv eller ved. Även i ett normalt hushåll finns ett visst HT-värmebehov för varmvattenförsörjning, spis, ugn etc. Energiförbrukningen för detta är dock inte särskilt hög men däremot är effektkravet högt.

Grupp D (= LT-värme); Energi till denna grupp utgör en mycket dominerande del av det svenska samhällets energihantering då den står för all temperering av lokaler och ventilationsluft. Med uttrycket temperering förstås just att hålla temperaturen på en given nivå (i allmänhet normal rumstemperatur). Med denna definition innefattas energi för både varmhållning (= värmetillförsel) och svalhållning (= värmebortföring) av lokaler och ventilationsluft i förbrukargrupp D.

Orsaken till att begreppen temperering, varmhållning och svalhållning har införts är att dessa ger en mera adekvat uppfattning av vad det gäller för funktion, i motsats till begrepp som uppvärmning och "air condition".

Värt att observera är att även energibehovet för svalhållning (kylning) i grund och botten är av denna typ - nämligen "värme" vid låg temperatur. Dagens

system för svalhållning är praktiskt taget uteslutande baserad på en kylprocess med behov av högvärdig elektricitet eller lika högvärdig mekanisk energi. Då energi- och inte minst effektbehovet för dessa processer kan vara mycket höga för vissa delar i världen skulle mycket stå att vinna om elbehovet för denna hantering skulle ersättas med just värme vid låg temperatur (LT-värme). Temperaturen måste givetvis vara lägre än önskad lokaltemperatur men enbart ett fåtal grader. I Bilaga 2 beskrivs ett system som har en sådan funktion förutom att dess huvudfunktion är att varmhålla lokaler och ventilationsluft när varmetillförsel krävs under den kalla årstiden.

Det är naturligtvis lovvärt att minska behovet av LT-värme genom till exempel bättre k-värden för fönster, väggar och tak. Men det behöver inte vara optimalt att göra det om man kan skaffa sig ett överflöd av LT-värme till extremt låg kostnad som gäller för det i Bilaga 2 beskrivna systemet.

2.2 Lagringsförmåga

Energilagringens förmågan är inte enbart en egenskap som har att göra med energislaget utan är knuten till en konkret utrustning, anläggning eller substans som man då kallar energibärare.

Ur Tabell 2.3 och Figur 2.1 framgår lagringsförmågan (energitäthet) för energibärare i mobila drivsystem. De flytande bränslena har helt överlägsen energilagringens förmåga och de har dessutom en i tid praktiskt taget obegränsad lagringsbarhet till skillnad från många andra energilager.

De redovisade värdena för elbatterier är de nominella som endast erhålls under de mest gynnsamma betingelser såsom:

- Batteriet är nytt
- Batteriet är rumsvarmt
- Vid relativt låg urladdningsström
- Urladdning från helt fulladdat till helt urladdat

Inga av dessa betingelser är i allmänhet rådande under normala verkliga förhållanden, vilket gör redovisade värden för elbatterierna till absoluta maxvärden som ej nås i praktikisk användning.

För flera nya teknikområden är det angeläget att kunna lagra energi i form av värme. I Tabell 2.3 är ett HT-värmelager medtaget – ett sk värmebatteri som representeras av litiumfluorid. Det finns dock flera substanser som har högre lagringsförmåga. En utvecklingsinsats på detta område skulle ha stora möjligheter att finna substanser och teknik som är oantastliga ur hälso- och miljösynpunkt och samtidigt ha hög prestanda.

I en jämförelse med ett elbatteri med maximal energitäthet av c:a 30 Wh / kg är alltså energiinnehållet i ett värmebatteri minst 10 gånger högre. På grund av att ett värmebatteri även kan utnyttja en del av det sensibla värmets samt att värdet

30 Wh / kg för blybatterierna endast är en teoretisk övre gräns som aldrig nås i verkligheten, så är faktorn till förmån för värmebatterier betydligt större än 10, kanske 20 – 30.

Förmågan att lagra värme hos olika substanser framgår av Tabell 2.4 och 2.5.

Tabell 2.4 ger den sensibla lagringsförmågan som är bunden till en temperaturförändring. Därför är denna lagringsförmåga uttryckt i energi per grad och vikt eller volym. Anmärkningsvärt är att alla vätskor och solida substanser har i stort sett samma värmelagringsförmåga per volym (!). Värdena ligger grupperade kring halva värdet för vatten, vilket alltså intar en särställning som den substans som har den största värmekapaciteten per volym.

Tabell 2.5 ger exempel på värmelagring genom fasomvandling (i dessa fall smältning)

Vid lagring av värme är det alltid fråga om värmeläckage till omgivningen som gör att energilagret förlorar sin energi i en takt som kännetecknas av en karakteristisk tidsrymd som dikteras av kvoten mellan värmekapaciteten hos lagret och värmeläckaget. Denna kvot kallas tidskonstant och är den tid det tar för temperaturskillnaden mellan lager och omgivning att sjunka till 37 % av vad det var ursprungligen. Resonemanget gäller för värmelagring genom sensibelt värme. Vid lagring genom latent värme ändrar sig naturligtvis temperaturen inte alls så länge det finns kvar någon substans som genomgår fasomvandling.

Tidskonstanten kan för små system röra sig om endast något dygn, som till exempel en fylld termosflaska. För stora system som skall lagra solvärme från sommar till vinter kan tidskonstanter på flera år erhållas. Även små system kan dock få mycket långa tidskonstanter om superisolering används.

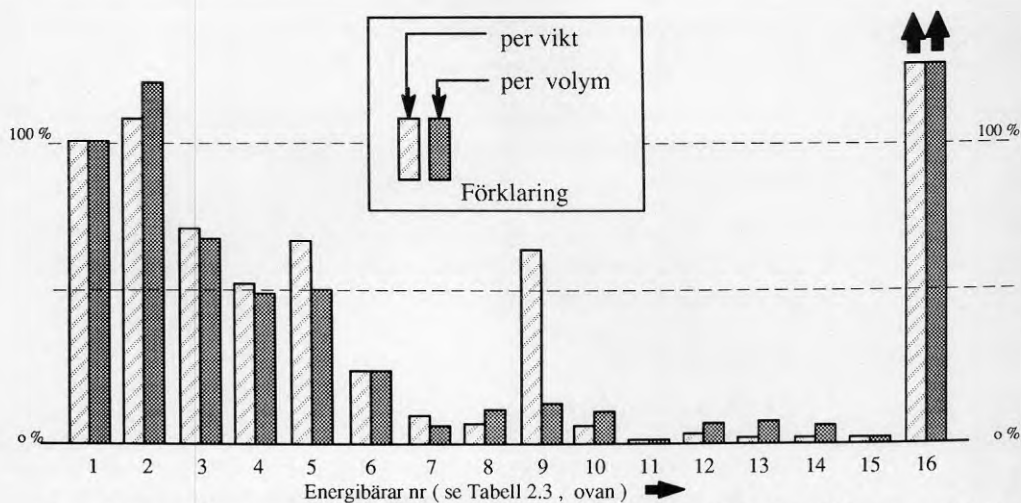
Lagring av HT-värme i den lilla skalan och med tidskonstanter av storleksordningen veckor – månader är ett intressant område för framförallt moderna ångdrivsystem som då i känsliga miljöer kan drivas med ett sådant värmebatteri utan några som helst avgasutsläpp.

Lagring av LT-värme, som endast är aktuellt för temperering av lokaler, blir med nödvändighet skrymmande och är helt omöjlig att tänka sig som något ”som skall byggas” inom en byggnad. Exempelvis behövs det en solid volym mark av storleksordningen 10 gånger volymen av huset för att lagra ett årsbehov av LT-värme för ett hus (mer om detta i Kap 4).

Tabell 2.3

Ungefärlig energitäthet för olika energibärare för mobila drivsystem

nr:	Energibärare:	Total energitäthet (inkl förvaringsutrustning) i procent av bensin med tank	
		per viktsenhet	per volymenhet
1	Bensin	100	100
2	Diesellojja & fotogen	105	119
3	Etanol	71	66
4	Metanol	52	48
5	Gasol i flaskor	67	50
6	Naturgas i tryckflaska	25	25
7	Väte (i gasform 130 bar, 20 C)	9	5
8	(i hydrid)	6	10
9	(i vätskeform 1 bar, -253 C)	65	13
10	Värmebatteri (Litiumflorid)	6	10
11	Elbatteri Bly	0.4	1
12	Zink-luft	2	5
13	Svänghjul	0.9	5
14	Uppdragningsfjäder (tortionsfjäder)	0.9	5
15	Komprimerad luft	0.6	0.5
16	Kallfusion ??	Oändlig !	Oändlig !



Figur 2.1 Olika energibärarens energitäthet per vikt resp volym i relation till bensin med tank

Tabell 2.4

Några exempel på substansers förmåga att lagra sensibel värme (genom temperaturändring)

Substans:	Energitäthet per vikt		Energitäthet per volym	
	kJ / kg, grad C	Wh / kg, 1000 grader C	kWh / kubm, grad C	% av vatten
Vatten	4.18	1160	1.2	100
Järn	.46	130	1.0	86
Aluminium	.89	250	.7	57
Granit	.8	220	.6	52
Betong	.92	260	.6	50
Kvicksilver	.146	40	.6	47

Tabell 2.5

Några exempel på substansers förmåga att lagra latent värme (genom fasövergång)

Substans:	Vid grader C:	Wh / kg
Bariumhydroxid	78	90
Litiumhydroxid	471	300
Aluminium	660	110
Litiumfluorid	848	290

2.3 Reglerbarhet och dynamisk förmåga

Reglerbarhet och dynamisk förmåga (RDF) är huvudsakligen en komponentegenskap och ej en egenskap som direkt är knuten till energislaget. Då emellertid alla energislag är knutna till någon form av substans eller komponent kommer olika energislag att ge olika möjlighet till god RDF.

God RDF för en energiomvandlare (tex en motor) består i att den dels kan ge uteffekt i ett stort reglerområde och dels att uteffekten kan följa ett snabbt varierande behov.

Exempel på god RDF är förutom lägesenergin i vattenkraften ett flytande bränsle (Br 1) som förbränns. Ytterligare ett är tryckenergin i ett tryckkärl som används i en tryckluftsmaskin.

2.4 Hanterbarhet

Hanterbarhet utgör den något ospecificerade egenskapen hos en energiform att den kan utnyttjas utan svår hantering och komplex utrustning eller att den är förknippad med risker eller andra obehag. Även energins åtkomlighet räknas

in i hanterbarheten. Exempel på dålig hanterbarhet av detta skäl är rörelseenergin i ett svänghjul som kräver mycket komplex utrustning för att mata ut energin i en takt som förbrukaren har behov av och som ej är beroende av laddningstillståndet, dvs svänghjulets varvtal.

Som framhållits tidigare intar de flytande bränslena en särställning i fråga om hanterbarhet.

I sådana fall då en tillförlitlig försörjning av el kan ske i samma takt som behovet så har naturligtvis denna energiform en mycket god hanterbarhet, kanske t.o.m. den främsta.

2.5 Risker och miljökonsekvenser

Förutom rena brand- och explosionsrisker finns det flera risker och miljökonsekvenser förknippade med energianvändning. Vid dagens användning av el i storskaliga elnät genereras elektromagnetiska fält omkring produktions-, distributions- och förbrukarsystem. Dessa fält tycks kunna ha olyckliga hälsokonsekvenser. Likaså är det att betrakta som fakta att sk elöverkänslighet kan utvecklas hos personer som vistas i en starkt elektrifierad miljö.

De storskaliga transportererna av flytande bränslen på land och framför allt till sjöss har visat sig utgöra stora risker för miljön.

I dagens kärnkraft finns förutom risken för olyckor i själva kraftverket också potentiella faror i samband med transporter av bränsle och avfall och förvaring av avfall.

De storskaliga systemen som elnäten, gasledningsnät, fjärrvärme etc har alltid en risk att drabbas av olyckor och försörjningsavbrott.

3 Krav på framtida energisystem

Ur Kap 1 och 2 har framkommit att dagens energisystem har sina problem för både energianvändaren och samhället. Skall den totala helheten av energisystem få en bestående lösning krävs en helt ny inriktning för de båda kategorierna av energisystem – de stationära och de mobila.

Framtidens system skall vara bestående. Att formulera ett begrepp som ”bestående energisystem” kan förefalla förmätet men tanken har bara varit den att man försöker att göra allt för att förutse och undvika de i dag identifierbara problemen och att systemen genom sin enkelhet och harmoni med naturens egna system rimligen löper liten eller ingen risk alls för att bli något som i framtiden måste ändras på eller rivas upp och hamna i kategorin ”något som man byggt sig fast i”.

Bestående system är i första hand sådana där energi och substanser går runt i ett kretslopp. Kretsloppet skall företrädesvis vara ett litet system som har låg sårbarhet och där transport- och distributionsproblemen är små. Detta talar för autonoma system i liten skala. Strävan mot småskalighet och autonomi gäller främst för basfunktionernas system.

En utvärdering av ekonomin för stor- resp småskaliga energisystem är mycket svårt, då ekonomin är starkt kopplad till regionala skillnader i politik och infrastruktur. Denna analys vill dock visa på de tekniska möjligheterna att ersätta de storskaliga systemen med autonoma och småskaliga.

Då målsättningen är att skissera framtidens ekologiska energisystem och det är troligt att nödvändig teknik kommer att kunna tas fram är det därför ej fel att sträva mot småskaliga energisystem. Detta ej på grund av någon romantisk idé utan baserat på klart rationella argument som kommer att vara till fromma för alla parter i samhället, inte minst industri och näringsliv.

3.1 Stationära energisystem

I Tabell 3.1 redovisas de 6 grundläggande kraven som måste ställas på framtida stationära energisystem.

Kravet på förnyelsebar energi (S1) innebär att primärenergien för alla system måste vara solenergi. Skulle het- eller kallfusionen bli realiserad kan man för alla praktiska behov självfallet räkna även dessa energikällor som förnyelsebara trots att de i egentlig mening inte är det.

Kravet S2 uttrycker den lovvärda strävan att ej använda exempelvis el till att hålla rumsvarmt i lokaler.

Konsekvenserna av att använda el i onödan innebär att man får en ökad sårbarhet och på lång sikt sämre ekonomi för alla parter. Energisparande när det gäl-

ler energi till ventilation och lokaluppvärmning får framför allt ej medföra ökad elanvändning.

Ur både samhällets och den enskildes synpunkt är det angeläget att energisystemen har låg sårbarhet (S3).

Tabell 3.1 Krav på framtida stationära energisystem	
Kravnr	Krav
S1	Använda sig av förnyelsebar energi
S2	Ej använda sig av ädlare energi än vad som behövs
S3	Ha låg sårbarhet
S4	Ha små eller inga hälso- och miljörisker
S5	Ha god driftskaraktäristik (RDF)
S6	Ha god ekonomi

Energisystem som är beroende av något annat system, såsom:

- att det ingår i ett storskaligt system
- att det har en funktion som är integrerad med andra system
- att det använder importerad energi
- att det har stort service- och underhållsbehov

kan drabbas av mycket allvarliga skador vid bortfall av det beroende systemet.

Det totalt autonoma energisystemets oberoende av omvärlden måste naturligtvis kombineras med en hög redundans – som innebär möjlighet att, vid tillfälligt fel, energianvändaren själv kan hjälpligt klara av situationen. Hög redundans kan sägas vara synonymt med hög pålitlighet, enkelhet, motsatsen till vad som gäller för system där användaren och stora delar av samhället blir ställda eller kanske t.o.m. helt slås ut pga att de ej har möjlighet att själva göra något åt sin belägenhet. Jämför exempelvis följderna vid strömavbrott för mjölkmaskiner, frysboxar, eluppvärmda hus etc då man är beroende av utifrån kommande energi och ingen reserv finns.

Att vara självförsörjande med Br 1 är bästa sättet att få hög redundans på elbehovet i den lilla skalan samt ge drivmedel till den egna bilen.

Kravet S4 som handlar om miljöpåverkan är naturligtvis fullständigt självklart då det gäller framtida bestående system.

Kravet S5 som utgör de i Kap 2.3 definierade egenskaperna RDF och som säger att möjliga effektuttaget ur ett system skall kunna varieras i ett stort område från topeffekt till i vissa fall ända ner till noll samt ha god förmåga att följa ett snabbt varierande effektbehov. Ett exempel där RDF måste vara god är elpro-

duktion i småskaliga autonoma system där behovet av eleffekt har både ett stort variationsområde och är snabbt varierande vid in och urkoppling av olika elutrustningar.

Det ekonomiska kravet S6 är viktigt för att alla parter skall ha ett incitament för att ändra inriktningen mot de nya systemen.

3.2 Mobila energisystem

Målsättningen för framtidens drivsystem är naturligtvis att de uppfyller samtliga de i Tabell 3.2 angivna kraven. Dagens motorsystem (motor inkluderande energibärare) uppfyller dessa krav i mycket ringa grad.

Ur samhällets synpunkt är det framför allt kraven på låg miljöpåverkan där bristen är störst men även då det gäller de rent användarrelaterade kraven möter dagens motorer ej dessa krav på ett tillfredsställande sätt.

Tabell 3.2 Krav på framtida mobila energisystem (drivsystem)	
Krav- nr	Krav
M1	Hög energi- och effekttäthet
M2	Acceptans för förnyelsebara bränslen (även en ev kall-fusion)
M3	God körbarhet
M4	Hög tillförlitlighet
M5	Liten eller ingen miljöpåverkan
M6	God ekonomi (verkningsgrad & inköpspris)

För användaren är de viktigaste kraven naturligtvis kraven M1 i Tabell 3.2 dvs hög energi- och effekttäthet. Detta krav är på sätt och vis viktigare än t.o.m. miljöegenskaperna då dess uppfyllande utgör själva grunden för att drivsystemet överhuvudtaget skall bli meningsfullt. Tabell 1.2 ger en klar vägledning om vilka system som kan aspirera på framtiden.

Att drivsystemet är litet och lätt har dessutom stor betydelse för att kunna uppfylla även de övriga kraven. Exempelvis blir ekonomin gynnsamt påverkad om drivsystemet har hög energi- och effekttäthet. Då drivsystemet kan göras litet och lätt kan hela bilen göras mindre och lättare och bränsleförbrukningen blir lägre som gör att bränslemängden blir lägre som gör att totalvikten blir lägre osv. Detta är den klassiska sk viktskarusellen (eller -spiralen) som förekommer inom flygtekniken. Uppfyllande av krav M1 påverkar därför alltid starkt krav M6.

För de rent användarrelaterade kraven skall ambitionen vara så hög att de nya tilltänkta systemen ej innebär någon försämring i standard utan helst en standardhöjning.

4 Förutsättningarna för att nå uppställda krav

De i Kap 3 uppställda kraven förmår uppenbarligen inte dagens teknik att uppfylla. Det blir därför tvunget att inventera de olika tekniker som kan stå till buds i framtiden och som går att kombinera så att samtliga krav blir uppfyllda.

Ett viktig utgångspunkt för framtida system är ju att de bör vara energiautonoma. Innebörden av energiautonoma system är naturligtvis att de skall försörja sig själva med all energi. Primärenergien måste i dagens läge vara solenergi. Då denna energiform är synnerligen glest utspridd är det väsentligt att göra klart för sig platsbehovet för olika insamlingsprocesser för denna energiform. I Tabell 4.1 ges detta platsbehov för ett antal utvalda processer.

Tabell 4.1 Platsbehov för olika sätt att samla in solenergi			
Process	Producerad energiform	kWh / kvm, år	Motsvarande verkningsgrad %
Naturlig fotosyntes	Biomassa	1 - 5	0.1 - 0.5
Artificiell syntes	Br1	100 - 200 ?	10 - 20 ?
HT-solfångare	HT-värme	300	30
LT-solfångare	LT-värme	500 - 1200	50 - 120 (pga kondensation av luftens fuktighet kan utnyttjas)

Påfallande är hur extremt lite av solenergin som kommer till nytta i form av energi i biomassa. Detta är något som noga bör beaktas i resonemangen om energiskogens betydelse. Den än så länge hypotetiska men fullt möjliga artificiella syntesen skulle ha c:a 100 gånger högre effektivitet än biomassa-framställning via den naturliga fotosyntesen. Naturens fotosyntes skulle således kräva storleksordningen 100 gånger större yta för att samla in en given energimängd.

Om ett tänkt energiautonomt samhällsavsnitt är ett enskilt hushåll skulle den nödvändiga energiåtgången för de fyra grundläggande energiformerna kunna bli:

- Elspecifik	3 000 kWh / år
- Br 1 till familjens bil	5 000 kWh / år
- HT-värme	1 000 kWh / år
- <u>LT-värme</u>	<u>12 000 kWh / år</u>
Summa:	21 000 kWh / år

Härvid är den elspecifika användningen reducerad till ett minimum och består huvudsakligen av hemelektronik, belysning, små elmotorer i hushållsapparater etc. Det flytande bränslet till familjens bil förutsätts bli framställt av solenergi. Dessutom förutsätts att ett drivsystem blir framtaget som vid en normal körsträcka av c:a 1500 mil om året för en familjebil inte drar mer bränsle än motsvarande 5000 kWh (om bränslet hade varit bensin är detta ekvivalent med en förbrukning av 0.3 l/mil)

Då i Sverige instrålningen mot horisontalplanet är c:a 1000 kWh / år, m² är det tydligen fullt rimligt att på ett enfamiljshus samla in energi för drift av hus och bil enligt exemplet ovan. Förutsättningen är dock att effektiviteten (= verkningsgraden) är tillräckligt hög, framför allt för det dominerande behovet av LT-värme.

4.1 Framställning av el

I den lilla skalan kan el enbart framställas av motordriven generator som drivs med lagrad solenergi. Motorn måste ha en mycket god RDF samt naturligtvis ha bästa tänkbara miljöegenskaper. Då motorn skall kunna använda sig av solenergi som är lagrad, innebär detta att motorn ska kunna gå på, antingen någon av alkoholerna etanol eller metanol, eller bara värme från ett HT-värmelager .

Som en allmän regel måste gälla för framtida energisystem att endast de utrustningar som verkligen är elspecifika skall försörjas med el, om det skall gå att skapa energiautonoma system. Det bör också finnas en inriktning mot att sänka energibehovet för dessa elspecifika förbrukare.

4.2 Framställning av drivmedel till motorer

I Kap 2 framhölls hur väsentliga de flytande drivmedlen är för all motordrift framförallt om motorn skall ha goda RDF-egenskaper. Då framtida energisystem kräver att ett sådant drivmedel skall kunna framställas från solenergi och i liten skala är det angeläget att få fram sådana framställningsmetoder.

I Tabell 4.1 är upptaget två sätt att få ett bränsle från solenergi. Det första är den klassiska fotosyntesen som ger energi i form av biomassa. Den andra är en tänkt process (än så länge hypotetisk) där koldioxid skördas från luften och med hjälp av solenergi och vatten (ev med hjälp av katalysator) bildar någon alkohol. Detta skulle alltså vara en process som direkt bygger upp de mycket enkla kolvätemolekyler som en alkohol utgör, utan att gå via den oerhört komplexa väg som naturen använder sig av i fotosyntesen. Fotosyntesens uppbyggnad av biomassa är dessutom ur naturens synpunkt närmast en liten biprodukt från upprätthållande av livsprocessen. Därför har naturens egen process en mycket låg verkningsgrad jämfört med vad som skulle vara möjligt att nå med en artificiell syntes. Ur Tabell 4.1 framgår att en artificiell syntes av Br 1 skulle

vara c:a 100 gånger effektivare än naturens fotosyntes. Då fotosyntesen ger biomassa i form av cellulosa, socker och stärkelse är det dessutom ytterligare något steg tills ett flytande bränsle erhålls. Detta innebär naturligtvis att platsbehovet skulle bli flera 100 gånger mindre om den artificiella syntesen kunde bli verklighet.

Ytterligare en möjlighet att direkt framställa Br 1 från sol är att via den stokastiska elen från solceller sönderdela vatten till syre och väte och att man sedan med någon metod av detta direkt gör ett flytande bränsle som går att lagra, vilket ej är fallet med vätet.

4.3 Framställning av högtemperatur-värme (HT-värme)

I gruppen HT-värme finns nu bara behovet av energi till spis, ugn, och varmvatten plus möjligen bastu. Av tradition har denna energitillförsel alltid haft mycket hög temperatur som öppen låga från ved- eller gaseldning eller en mer eller mindre glödande elplatta, fast pannan eller kokkärlet egentligen bara skall bibringas en temperatur på några hundra grader som högst. Mycket skulle stå att vinna om behovet av temperatur kunde sänkas till mera måttlig nivå.

Förbrukaren av HT-värme kan försörjas på i princip tre olika sätt. Antingen med just bara värme via en sk "heat pipe" från ett HT-värmebatteri eller genom förbränning av Br 1 direkt i en brännare eller med el via en motorgenerator.

Av dessa tre är det bara metoden med HT-värmebatteriet som står i överensstämmelse med principen att varje förbrukargrupp skall försörjas med det energislag som den behöver. HT-värmebatteriet är möjligt att ladda med HT-solfångare eller förbränning av Br 1, som i sin tur kan framställas av biomassa eller den artificiella syntes som redovisats i Kap 4.2

4.4 Framställning av lågtemperatur-värme (LT-värme)

Energi i form av LT-värme är mycket lätt att samla in med extremt enkla solfångare under förutsättning att de signifikanta temperaturerna är låga. Det i Bilaga 2 beskrivna systemet för temperering av lokaler ger exceptionellt låga temperaturer på solfångarna som därför trots stor enkelhet får mycket hög effektivitet. Energi samlas in inte bara som solenergi utan även som kondensvärme från luftens fuktighet.

5 Möjliga inriktningar av framtida energisystem

Som ett resultat av det som framkommit framför allt i Kap 3 och 4 är det nu möjligt att ange en inriktning för de framtida energisystemen.

Vid formulering av denna inriktning måste det betraktas som självklart att även i framtiden behovet av basfunktioner som är kopplade till vår levnadsstandard är minst lika stort som nu.

För de stationära systemen kommer de energiautonoma lösningarna bli möjliga i en utsträckning, som beror på vilka tekniker som kommer att komma fram och i vilken takt dessa kommer att bli marknadsmogna.

Transporter med personbil förutsätts vara åtminstone lika attraktivt för lokal- och regionaltransporter som i dag, dock endast om de negativa sidorna eliminerats.

För medellånga och långa transporter torde tåg och flyg komma att dominera både för person- och godstransport. För dessa färdsträckor kommer även rationella biltransporter med mycket snabba tåg att kunna bli aktuella. Med sådana tåg skulle tågets möjligheter att snabbt och säkert tillryggalägga den långa sträckan kunna kombineras med möjligheten att i vardera änden ha tillgång till personbilens stora flexibilitet.

I detta kapitel kommer tre scenarier att läggas fram. De är illustrerade i den lilla skalan som ett enskilt hushåll med dess bil. Går det att få ett sådant system att fungera autonomt så går det naturligtvis även i större skala när det finns behov av detta såsom inom industrin eller i flerfamiljsbebyggelse.

5.1 Nya tekniker

"Framtidens energisystem" skulle kunna realiseras med följande 5 nya tekniker:

- 1 Ångmotorn
- 2 LT-temperering
- 3 HT-värmelager
- 4 Artificiell syntes av Br 1
- 5 Kall-fusion

Av dessa har författaren stor erfarenhet av de tre första men saknar djupare insikt beträffande de två sista teknikerna 4 och 5. **Dessa är medtagna av det skälet att de i hög grad skulle kunna påverka inriktningen på framtida energisystem.**

5.1.1 Ångmotor

Framtagning av en ångmotor (se bilaga 1) skulle praktiskt taget eliminera avgas- och bullerproblemen för alla farkoster såsom bilar, flygplan och båtar men skulle också direkt kunna använda förnyelsebara bränslen som etanol och metanol. Om kall-fusionen skulle bli en realitet kommer den att ersätta de flytande bränslena (Br 1) och göra tankning av drivmedel onödig. Ingen annan motor kan använda sig av den förmodligen trögreglerade värmen. En ångmotor med ångbuffert har av sin natur en extremt god körbarhet (reglerbarhet och dynamik) även med en mycket trög primär energikälla.

Ett modernt ångdrivsystem skulle ha en synnerligen låg vikt i förhållande till prestandan. Detta är naturligtvis orsaken till att konceptet är mycket intressant t.o.m. för flygplan. Som flygmotor skulle det kunna bli lättare än en modern gasturbin.

Av Kap 1.2.5 och Bilaga 1 framgår att ett modernt ångdrivsystem även skulle få mycket låg bränsleförbrukning speciellt i vardaglig drift.

5.1.2 LT-temperering

Om lokaler och ventilationsluft kan hållas vid önskad rumstemperatur med enbart lågtemperatur-värme (LT-värme som har en temperatur mycket nära den önskade rumstemperaturen) skulle det vara möjligt att samla in och lagra denna energiform med utomordentligt enkla och effektiva hjälpmedel. I Bilaga 2 redogörs för ett sådant koncept. Där är – hur förbluffande det än kan låta – vid varmhållningsfunktion, den signifikanta medeltemperaturen hos såväl solfångare, marklager som värmeavgivningsenheterna lägre än rumstemperatur. Detta resulterar i extremt hög effektivitet och enkelhet, vilket i sin tur ger mycket låga kostnader. Systemet, som har både varm- och svalhållningsfunktion, får på grund av sin stora enkelhet en mycket låg sårbarhet.

5.1.3 HT-värmebatteri

Om teknik för effektiva HT-värmebatterier skulle bli framtagen skulle många intressanta lösningar fås på olika HT-värmeanvändares energitillförsel. Exempelvis skulle det enskilda hushållets HT-värmebehov till spis och ugn kunna tillgodoses via en "heat-pipe" med energi från ett HT-värmebatteri. Denna värmeförsel skulle kunna ske med mycket hög effekt vilket är väsentligt i spisfallet.

5.1.4 Artificiell syntes av Br 1

Tidigare har framhållits den utomordentligt betydelsefulla rollen som de flytande bränslena (Br 1) spelar i samhället i dag. För framtidens energisystem kom-

mer de att spela än större roll om de kunde framställas med en artificiell syntes-process direkt från solenergi och luftens koldioxid.

Än så länge är denna process hypotetisk men ligger nära till hands. Vid diskussioner med kemiautoriteter har det framkommit att hela förloppet med att skörda koldioxiden ur luften samt med hjälp av solenergi och vatten syntetisera fram ett flytande bränsle skulle vara principiellt fullt möjligt. Om en utvecklingsinsats gjordes på denna process och den ledde till en användbar metod skulle det få mycket stor betydelse. Verkningsgraden skulle förmodligen ligga i samma storleksordning som för solceller som förvisso producerar el men som ej är lagringsbar.

Redan i dag finns naturligtvis metoden att via solcellproducerad el framställa väte som sedan kanske lätt går att omvandla med hjälp av luftens koldioxid till lagringsbar energi i form av alkohol.

5.1.5 Kall-fusion

Av aktiviteter ute i världen att döma är kall-fusionen minst lika trolig som den heta fusionen. Men det som framförallt gör kall-fusionen intressant är att den klart hör till den lilla skalan till skillnad från den heta fusionen som med nödvändighet är storskalig.

Anledningen till att kall-fusionen överhuvudtaget har tagits upp i denna analys är att seriöst arbete trots all polarisering fortsätter världen över och att ett stort antal forskare har rapporterat en förbluffande hög effekttäthet – upp mot 1 kW per cm^3 . Skulle kallfusionen bli en realitet så kommer den att alstra värmeenergi vid ganska medelmåttig temperatur och uteffektens dynamik kommer att vara mycket undermålig då utrustningen sannolikt blir någon form av ”reaktor”.

En ångmotor med ångbuffert kan som enda motortyp på ett elegant sätt tillgodogöra sig denna energiform och ge ett i ordets verkliga betydelse – ett bestående system för drift av våra transportsystem – som skulle uppfylla även de högst ställda krav och önskemål från användare och samhälle.

Även de stationära energisystemen skulle naturligtvis få en mycket bestående lösning genom kall-fusion.

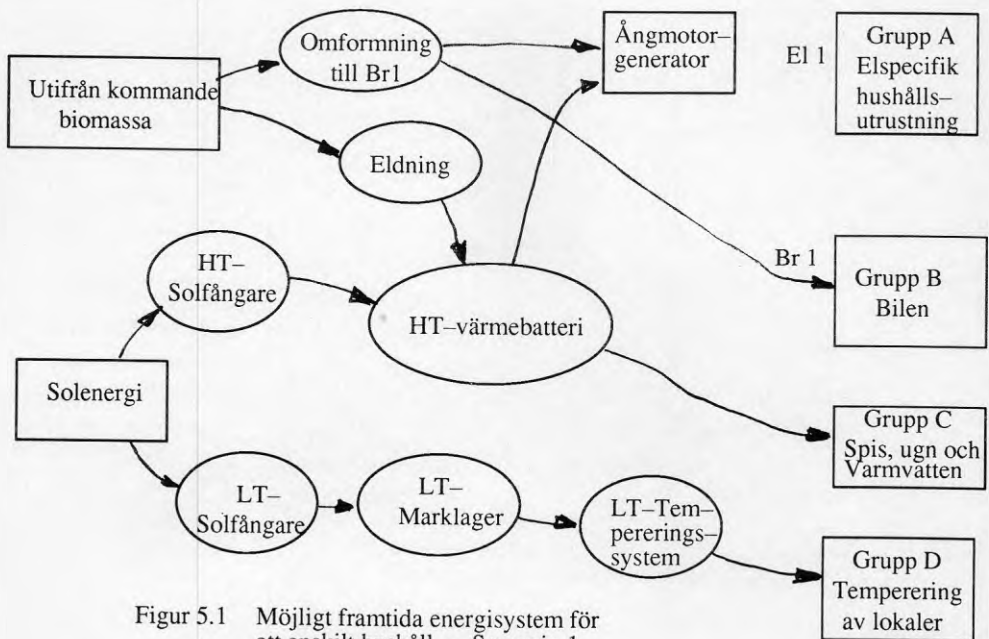
5.2 Scenario 1

Detta scenario förutsätter genombrott av följande tekniker:

teknik 1	Ångmotor
teknik 2	LT-temperering
teknik 3	HT-värmebatteri

All energi är förnybar i detta scenario men är ej fullt energiautonomt. Det som måste tillföras utifrån är bränsle i någon form, som i första hand behövs för kompletteringsladdning av HT-värmebatteriet. Den lämpligaste bränsleformen är naturligtvis Br 1, som även behövs för gruppen B.

Helt självförsörjande blir systemet för grupp D. Grupp A och C är delvis självförsörjande. Dvs elbehovet och HT-värme till spis och ugn täcks delvis med solenergi. Om kompletteringsladdningen av HT-värmebatteriet görs med egen ved kan naturligtvis förbrukargrupperna A och C bli helt självförsörjda.



Figur 5.1 Möjligt framtida energisystem för ett enskilt hushåll – Scenario 1

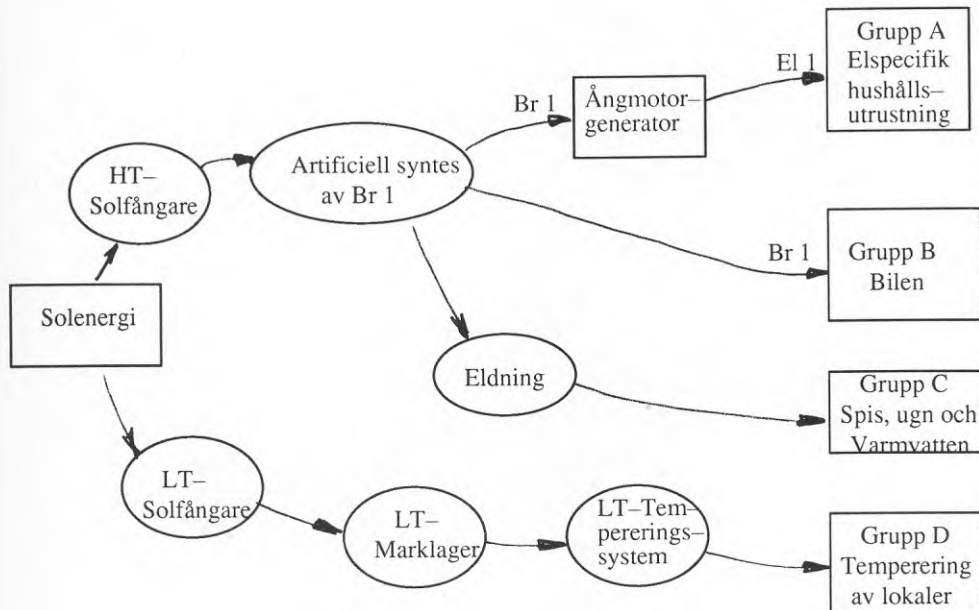
5.3 Scenario 2

Detta scenario förutsätter genombrott av följande teknik:

teknik 1	Ångmotorn
teknik 2	LT-temperering
teknik 3	Artificiell syntes av Br 1

Då i detta scenario tillgång finns på lagrad solenergi i form av flytande bränsle (Br 1), kan samtliga förbrukargrupper försörjas med förnyelsebar energi från primärt egen solenergiinfångning. Dvs systemet är helt energiautonomt.

Systemet uppfyller dessutom samtliga övriga krav från Kap 3.



Figur 5.2 Möjligt framtida energisystem för ett enskilt hushåll – Scenario 2

5.4 Scenario 3

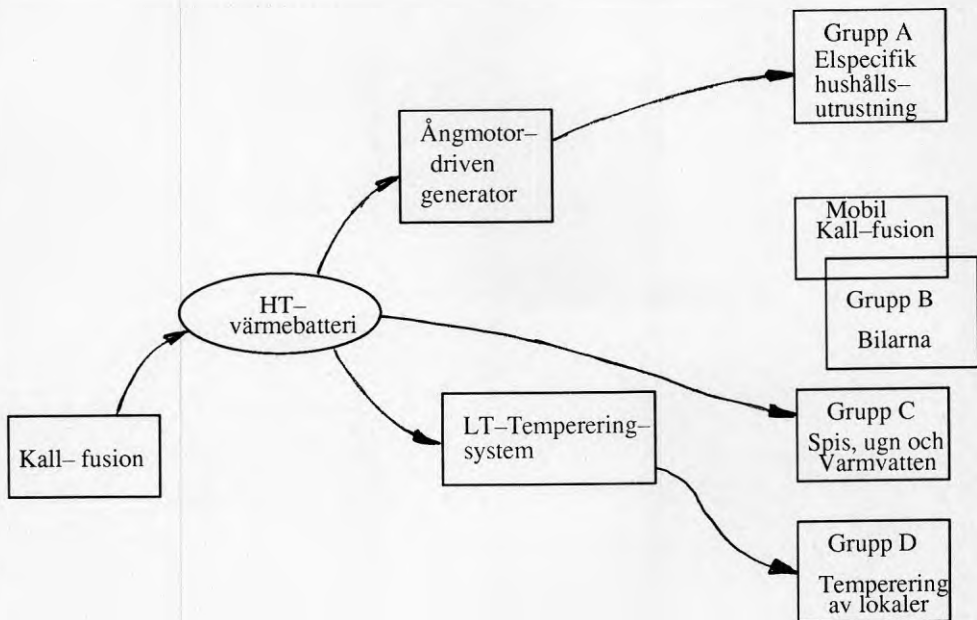
Detta scenario förutsätter genombrott av följande teknik:

teknik 1	Ångmotor
teknik 2	LT-temperering
teknik 4	HT-värmebatteri
teknik 5	Kall-fusion

Då en praktiskt taget oändlig tillgång på värmeenergi skulle finnas i detta scenario är naturligtvis de flytande bränslena inte längre väsentliga för de mobila drivsystemen. Inte heller för de stationära energisystemen finns längre något behov av Br 1.

På grund av den tröga och svårreglerade kall-fusionen kommer dock HT-värmebatteri och ångmotor (dvs teknik 1 och 4) vara en absolut förutsättning för att tillgodose grupp A, B och C med deras starkt dynamiska energibehov.

Teknik 2 för temperering av lokaler (grupp D) är inte längre så angelägen ur energisynpunkt. Den låga temperaturen som möjliggör den höga effektiviteten för infångning av solenergi och lagring av denna har nu förlorat sin mening men alla attraktiva egenskaper ifråga om att hålla ett behagligt och hälsosamt inneklimat såväl sommar som vinter finns kvar. Kostnaderna för teknik 2 blir dock starkt reducerade i detta scenario då både solfångare och marklager utgår.



Figur 5.3 Möjligt framtida energisystem för ett enskilt hushåll - Scenario 3

Skulle kall-fusionens effekttäthet vara så stor som rapporterats skulle vikten för "energibäraren" (energikällan) till de mobila drivsystemen bli så liten att dess totalvikt praktiskt taget helt kommer att bestå av det egentliga motoraggregatet. Drivsystem skulle då kunna byggas upp kring ångmotorn (teknik 1) som har drivmedel inbyggt för hela livslängden och med bibehållen låg totalvikt och övrig prestanda.

Alla transportmedel från bilar och båtar till tåg och flygplan skulle få bättre prestanda än dagens motsvarighet och aldrig behöva tankas. All miljöpåverkan skulle också helt försvinna.

6 De industriella möjligheterna med framtida energisystem

Man löser självklart inte problemen med dagens energisystem genom att blunda och bara gå vidare som förut. Det är på tiden att vi själva som energiförbrukare och den framtida industrin inriktas på en energihantering, som medför trygghet, trivsel, god ekonomi, etc.

Kan energisystem till samhällsfunktioner med västerländsk standard försörjas med kretsloppsteknik och utrustning som ej påverkar naturen är det självfallet fullt möjligt att i princip låta alla på jorden få del av det positiva i västerlandets välstånd, ur miljö- och energisynpunkt.

Naturligtvis innebär en ny inriktning för industri och näringsliv en omställning, som i vissa fall är helt genomgripande. Men då alla länder, även de sk U-länderna, kan utgöra marknad för dessa nya tekniker är potentialen för kommersialisering, mycket god.

REFERENSER

- 1 Platell O.B. och Wikström H. Sunstore-projektet 1977-1980
BFR-rapport R100 : 1981
- 2 Platell O.B. RANOTOR Utv AB; RAN-Ångdrivsystem, Rapport
till STU 1983
- 3 Egnell R. och Gabrielsson R. Alternativa motorer; NUTEK-Info-
nr 829-1991
- 4 Dieselmotorn och miljöfrågan, SAAB-SCANIA AB;
Södertälje 1991



Beskrivning av projektet RAN – ett modernt ångdrivsystem för bilar, flygplan, småskalig el- / kraftvärmeverk etc.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING:	sid
1. Bakgrund	2
2. Kravspecifikation	2
3. Signifikanta driftsbetingelser	3
4. RAN-konceptet	5
5. RAN-konceptets komponenter	7
5.1 Huvudångmaskin (EX).	8
5.2 Ånggenerator / Ångbuffert (SG / SB).	9
5.3 Kondensator / Kondensorbuffert (CD / CB).	10
6. Systemets prestanda och karaktär	11
7. Tillämpningar för RAN – teknik	12
8. Projektets status	14
9. FoU-områden (nya teknikområden)	14
10. Referenser	14

SAMMANFATTNING:

Denna beskrivning ger en kort sammanfattning av projektet RANs huvuddrag och egenskaper. Den ger också en bild av konceptets framtida marknadspotential och möjligheter att passa in i ett mycket stort antal användningsområden för motorer och där ge unika, överlägsna egenskaper i jämförelse med andra motorer.



Beskrivning av projektet RAN – ett modernt ångdrivsystem för bilar, flygplan, småskalig el- / kraftvärmeverk etc.

1 Bakgrund

För att möjliggöra introduktion av ett nytt drivsystem för bilar räcker det inte med att det är lika bra som det konventionella. Det måste dessutom uppfylla krav som i framtiden kommer att avsevärt skärpas av både användare och samhälle. Det är således inte bara problematiken med luftföroreningarna som måste få en bestående lösning utan även andra förutsägbara kravsättningar måste tas i beaktande. Exempelvis måste ett framtida drivsystem kunna köras på förnyelsebara bränslen som ej ökar luftens CO₂-halt.

2 Kravspecifikation

Helt allmänt kan följande krav ställas upp för framtidens motorer men i synnerhet gäller de för personbilens motor:

Från samhället:

- Krav 1 Ha mycket låga avgasemissioner och ljudnivå
- Krav 2 Ej ha behov av exotiska material, samt ha godtagbart låg LCC (= Life Cycle Cost)
- Krav 3 Ha hög bränsleflexibilitet (Nya bränslen ska kunna användas)
- Krav 4 Ej ha behov av miljöfarliga bränslen eller bränsletillsatser

Från användaren:

- Krav 5 Vara lätthanterlig (drivkraften smidigt och lätt kontrollerbar)
- Krav 6 Vara "bekymmersfri" (garanterat alltid redo för användning, litet servicebehov)
- Krav 7 Vara funktionell (ge mer än bara framdrivning, exvis försörjning med serviceenergi även vid parkerat fordon)
- Krav 8 Ha låg bränsleförbrukning
- Krav 9 Ha lågt inköpspris
- Krav 10 Ge hög prestanda i förhållande till vikt och volym

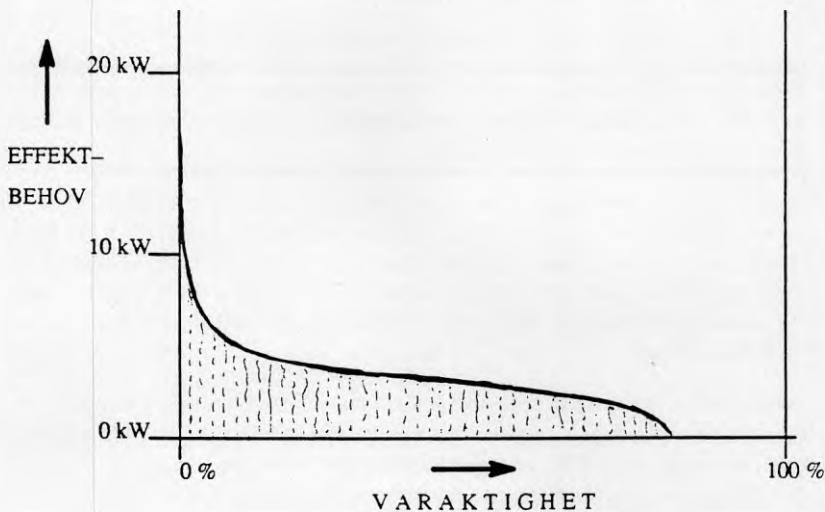


3 Signifikanta Driftsbetingelser

För att kunna bedöma en motors framtida potential är det viktigt att känna till driftsbetingelserna för motorn i normal användning. Det finns en mycket omfattande analys av detta för en personbilmotor (Ref 1) och som kan åskådliggöras i ett diagram enl Figur 1. Där illustreras hur stor del av total tid (= varaktighet i %) som en given motoreffekt används under vardagsförhållanden. Ytan under denna kurva har dimensionen energi och är lika med den energi som krävs vid hjulen. Ur Figur 1 framgår att maximal nödvändig effekt i standardfallet är av storleksordningen 20 kW, vidare att ingen effekt har en varaktighet av 100 %. Detta senare har sin förklaring i att fordonet står stilla (och ingen effekt krävs till hjulen) under stor del av tiden som spenderas vid en helt normal biltur. Under sådana skeden har alla motorer utom RAN ett tomgångstillstånd med bränsleförbrukning, som ofta motsvarar en effekt av c:a 10 kW eller högre.

En bil under normalförhållanden behöver alltså en motor på bara 20 kW, men en så låg topp-effekt är givetvis uteslutet ur många synpunkter. Framför allt ur säkerhetssynpunkt. 20 kW skulle visserligen räcka enl ovan för vanlig vardagskörning och för att exvis kunna hålla kontinuerlig hög fart på motorväg. Men för säker omkörning och andra sporadiskt förekommande sekundsnabba situationer är det nödvändigt med c:a 50 kW. Detta innebär att för all normal vardagskörning kommer en personbilmotor att huvudsakligen vara belastad i området från 0 upp till c:a 10 %. Medeleffektuttaget som är 3 kW motsvarar endast c:a 6 % last. Detta ger ett synnerligen viktigt budskap:

Ett drivsystem för en personbil måste ha hög verkningsgrad vid mycket låg last för att ge låg bränsleförbrukning. Samma förhållande gäller för ett stort antal andra användningsområden för motorer. Se närmare om detta i avsnitt 7.

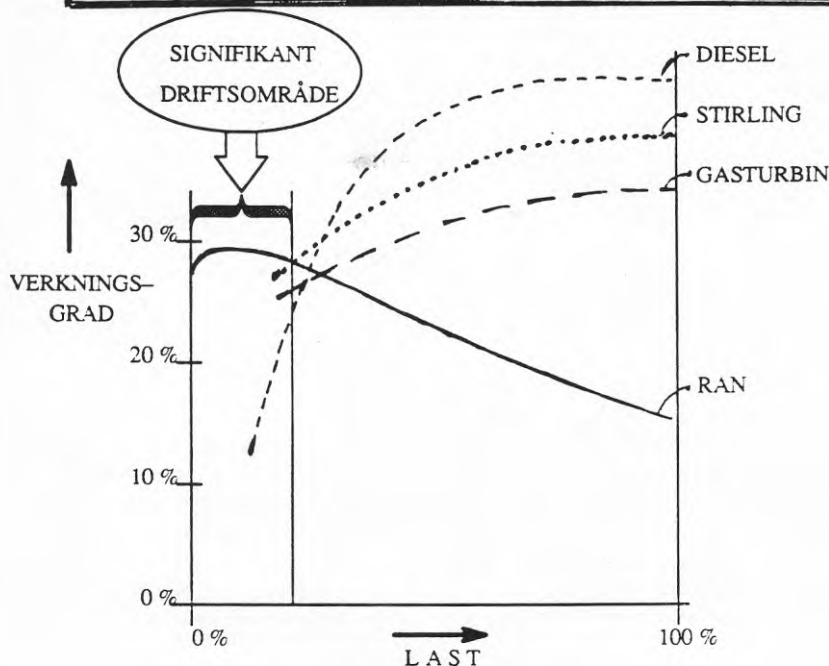


Figur 1 Effektspektrum för en 1000 kg bil i vardagskörning



I Figur 2 visas verkningsgradens principiella beroende av last för de vanligaste motortyperna samt för RAN.

Det framstår ett anmärkningsvärt faktum att RAN har betydligt högre verkningsgrad än något annat drivsystem i det signifikanta lastområdet 0 - c:a 20 %



Figur 2 Verkningsgradens principiella karakteristik för olika motorer

Det gängse sättet att bedöma bilaras bränsleförbrukning med utgångspunkt från motorers maximala verkningsgrad och helt bortse från vid vilken last den ligger är således synnerligen vilseledande.

I de flesta motortillämpningar har motorn en mycket och snabbt varierande belastning. För godtagbara sk körbarhetsegenskaper krävs således att motorns prestanda följsamt kan kontrolleras med gaspedalen, utan främmande, nyckfulla och störande fördröjningar. För att hålla bränsleförbrukningen låg är det dessutom väsentligt att det inte går åt någon energi för att enkom åstadkomma själva ändringen av driftspunkt, som är fallet för exvis Gasturbin och Stirlingmotor.

Då RAN kan ge moment från stillastående till högsta varvtal och är möjlig att reglera ner till 0-last (se Figur 6), finns inget behov av vare sig växellåda eller koppling. En given driftspunkt för motorn bestäms helt av ångpådrag (= nertryckning av gaspedal). RAN har därför via "gas"-pedalen helt fördröjningsfri kontroll av moment (=drivkraft vid hjulen) och ingen extra energi går åt för själva ändringen av arbetspunkt.

Som framgår av Figur 2 så kan RAN regleras ända ner till lasten 0%, vilket de andra motorerna ej kan. Gasturbin och Stirlingmotor har således svårigheter att över huvud taget fungera i det signifikanta låg-lastområdet.



Svårigheterna för motorer som ej går att reglera ner till 0-last och / eller som är "tröga" vid belastningsändring måste avhjälpas med hydraulisk koppling eller liknande anordning, vilket ytterligare försämrar bränsleekonomin för dessa motorer.

Körbetingelserna vid vardaglig körning är således sådana att för att körbarhet och bränsleförbrukning skall bli tillfredställande bör nedanstående mera preciserade krav ställas på ett drivsystem:

- Motorn skall ej ha någon tomgångsförbrukning av bränsle
- Verkningsgraden skall vara hög vid låg last
- Motorn skall gå att reglera ända ner till 0-last
- Ingen energi skall gå åt för ändring av driftspunkt

Alla ovan berörda faktorer talar för att en RAN-driven bil kommer att få mycket god körbarhet och låg bränsleförbrukning vid all vardaglig körning.

4 RAN-Konceptet

RAN är ett ångdrivsystem som har sin utgångspunkt i äldre tiders ånglok men med ett slutet system för ångan. Det konstruktiva utförandet av systemet skiljer sig dock i alla avseenden radikalt från den klassiska ångtekniken. De typiska huvuddragen för RAN kan sammanfattas:

- ♣1 Arbetsmediet är vatten
- ♣2 Vid tillverkningen hermetiskt inneslutet arbetsmedium
- ♣3 Automatisk, ständig varmhållning av hela system
- ♣4 Ångexpandern är en smörjoljefri kolvångmaskin
- ♣5 Systemet innehåller ett flertal buffertar
- ♣6 Alla hjälpapparater drivs av en separat hjälpångmaskin

Motiven för dessa är:

- ♣1 Vatten är billigt, ogiftigt, har välkänd kemi och är kemiskt stabilt även vid hög temperatur
- ♣2 Hermetiskt inneslutet arbetsmedium eliminerar besvär med hantering av vattenpåfyllning. För ett helt öppet system skulle vattenförbrukningen vara c:a 15 gånger så mycket som bränsleförbrukningen. Svårigheter med kontamination av arbetsmediet undviks.
- ♣3 Valet av vatten som arbetsmedie innebär risk för frysning. Med det automatiska varmhållningssystemet har en nackdel förbytts i ett flertal systemfördelar såsom



exempelvis att systemet alltid är helt redo, även efter lång tids parkering i sträng kyla.

- ♣4 I ett ångsystem är i princip både en kolvångmaskin och en ångturbin möjliga som expander. Båda har ej behov av koppling eller växellåda, emedan de kan leverera moment redan vid stillastående. De har dock helt olika verkningsgradskaraktäristik, som gör kolvångmaskinen mycket överlägsen som bilmotor. Dessutom kan kolvångmaskinen göras högvarvig och därmed liten och lätt medan turbinen däremot måste arbeta vid extremt högt varvtal som kräver en stor och dyrbar precisionsväxel för att komma ner till rimliga varvtal.

- ♣5 Buffertarna ger väsentliga förenklingar när det gäller styrning och reglering av systemet. Ånggeneratoren (med brännare) och kondensor kan dimensioneras för en bråkdel av den effekt som momentant kan tas ut ur själva motorn. Dessa komponenter blir således ej föremål för stark dynamik utan ligger i det närmaste konstant belastade vid last som är mycket låg i förhållande till den som maximalt kan tas ut på utgående axeln. Förutom att komponenterna blir mindre och lättare får de dessutom väsentligt mycket enklare driftsbetingelser. Särskilt fördelaktigt är detta då det gäller brännarens möjligheter att åstadkomma ännu ett steg mot låga avgasemissioner. Detta i ett utgångsläge med redan exempellöst låga avgasemissioner.
RAN som är en värmemotor behöver för sin funktion bara ha tillgång till värme. Temperaturen på denna kan vara så låg som 400–500 °C. Detta är en i särklass låg temperatur för en värmemotor som dessutom samtidigt har den bästa tänkbara kompakthet och verkningsgrad (vid signifikanta driftsbetingelser).
Ett värmebatteri som med en smälta lagrar värme vid en så måttlig temperatur som 400–500 °C är helt rimligt att kunna realisera. Det skulle ha c:a 10 gånger större energilagring förmåga än exempelvis ett normalt elbatteri. Med ett sådant värmebatteri får RAN en energikälla som ersätter eller kompletterar den ursprungliga förbränningen av ett bränsle i ånggenerators brännare.
Att en ångmotor kan tillgodogöra sig värmeenergi av även mycket låg temperatur gör RAN intressant som sk "bottoming-cycle-motor" – ett komplement till de konventionella motorerna för att utnyttja värmen i avgaserna från dessa.

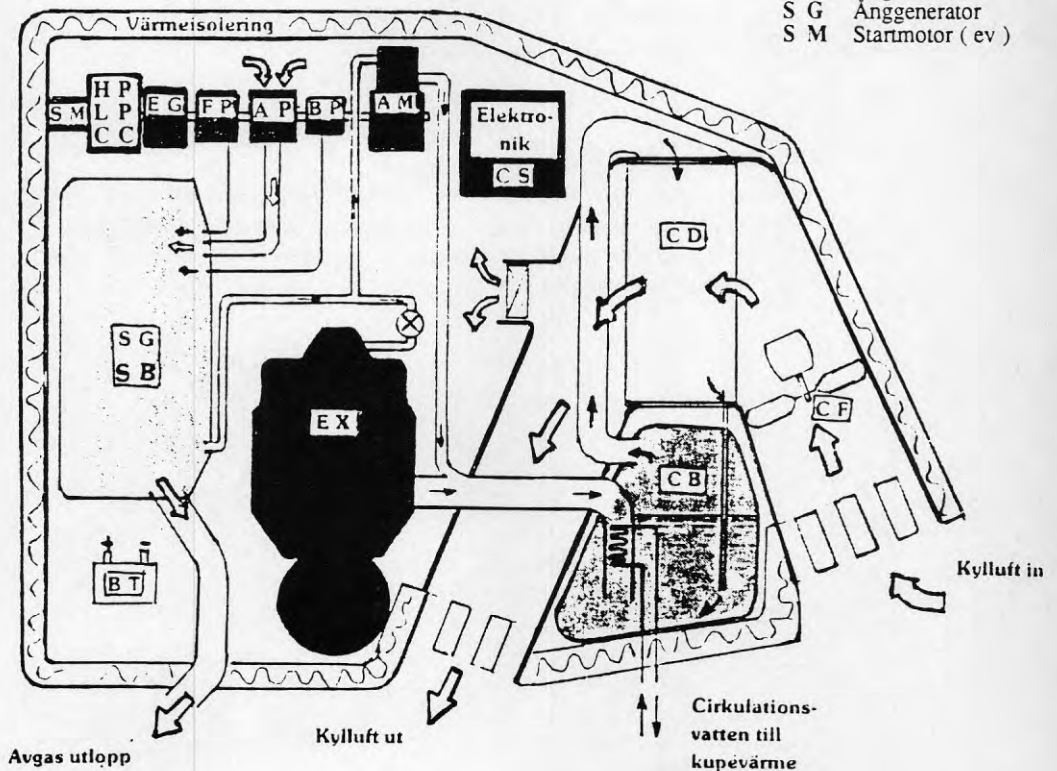
- ♣6 Samtliga hjälpapparater drivs av en separat liten kolvångmotor (hjälpångmaskinen AM) utan något samband med drivhjulen. Genom detta arrangemang kan systemet försörjas med serviceenergi så länge det finns bränsle (eller värme i ett värmebatteri) och helt oberoende av om fordonet är under drift eller ej. Hjälpmaskinens drift sker med ånga som kommer från ångbufferten, som i sin tur laddas från ånggeneratoren, som får sin serviceenergi från hjälpångmaskinen osv. På så sätt åstadkoms det "stand by"-tillstånd, som är kännetecknande för RAN. Avgasutsläppen för att erhålla detta tillstånd är så extremt låga att man utan obehag kan låta fordonet stå i ett kallgarage. Även bränsleförbrukningen för detta "stand by"-tillstånd, som också omfattar varmhållningsfunktionen, är mycket låg. Vid parkering kortare tid än 3 dygn blir bränsleförbrukningen noll för varmhållningsfunktionen. Långvarig parkering i sträng kyla kräver dock en obetydlig förbrukning av c:a någon liter bränsle per månad.



5 RAN-Konceptets komponenter

I nedanstående Figur 3 illustreras och definieras RANs komponenter

- A M Hjälpångmotor
- A P Luftpump
- B P Bränslepump
- B T Elbatteri
- C B Kondensorbuffert
- C C Kylkompressor
- C D Kondensor
- C F Kylfläkt
- C S Kontrollsystem
- E G El-generator
- E X Huvudångmotor
- F P Matarpump
- H P Hydraulpump
- L P Smörjoljepump (ev)
- S B Ångbuffert
- S G Ånggenerator
- S M Startmotor (ev)

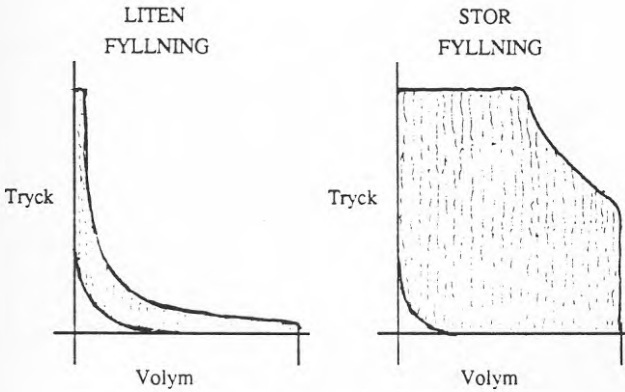


Figur 3 RAN-konceptets komponenter

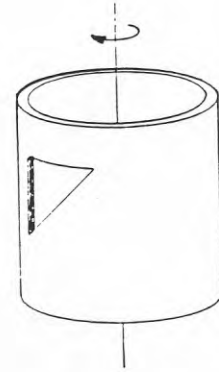


5.1 Huvudångmaskin (EX)

Den verkliga drivmotorn som är ansluten direkt till drivhjulen, utan koppling och växellåda, utgörs av en kolvångmaskin som är fyllningsreglerad, vilket innebär att dess moment styrs med hjälp av hur stor del av slaget som högtrycksånga tillåts strömma in i cylindern. I Figur 4 framgår hur indikatordiagrammet förändras med olika fyllningsgrad.

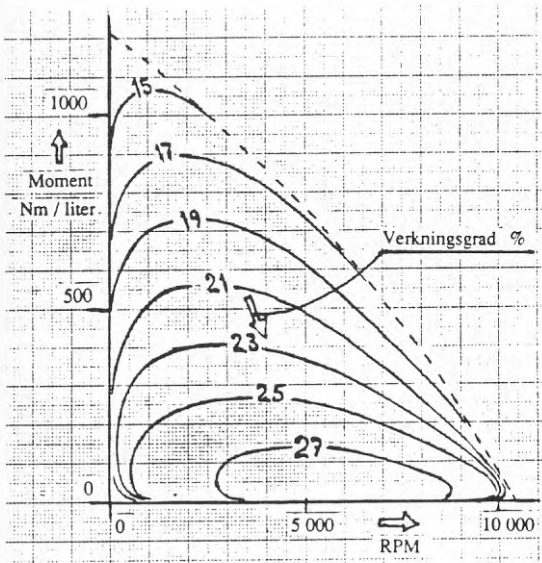


Figur 4 Olika fyllningsgrad

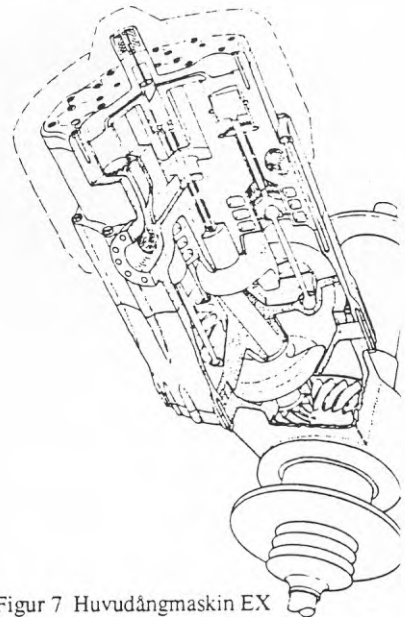


Figur 5 Inloppsventil

Genom axiell förskjutning kan inloppsventilen i Figur 5 styra fyllningsgraden från c:a 50 till 0 %, vilket motsvarar en lastreglering från 100 % ända ner till 0 %. Denna inloppsventil roterar i ett centralt cylindriskt utrymme i motorblocket och drivs av motoraxeln. Högtrycksångan tillförs i centrum och fördelas till alla cylindrarna genom denna enda inloppsventil.



Figur 6 Motorkarakteristik



Figur 7 Huvudångmaskin EX



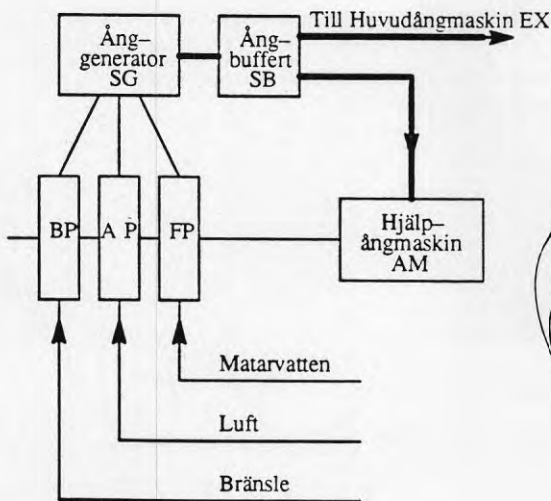
Ur Figur 6 fås den principiella momentkarakteristiken och sammanhängande verkningsgrad (sk musseldiagram). Diagrammet är resultatet av en avancerad simuleringsmodell med stötning från experimentella resultat samt en omfattande rimlighetsanalys. Typiskt är att "högverkningsgrads-ön" är långsträckt och ligger vid låg last, som för de flesta motortillämpningar är det eftersträfvansvärda enligt avsnitt 3. Helheten drivmotor och drivaxlar ut till hjulen är illustrerad i Figur 7. Motorn är av typen axialkolvmaskin, vilket innebär att cylinderna är cirkulärt grupperade och med en axiell orientering. Kolvarna arbetar på en sk "vingel-skiva", som är lagrad på en Z-formad vevaxel. Arrangemanget ger ett stort antal fördelar bla fullständig frihet från vibrationer.

5.2 Ånggenerator / Ångbuffert (SG / SB)

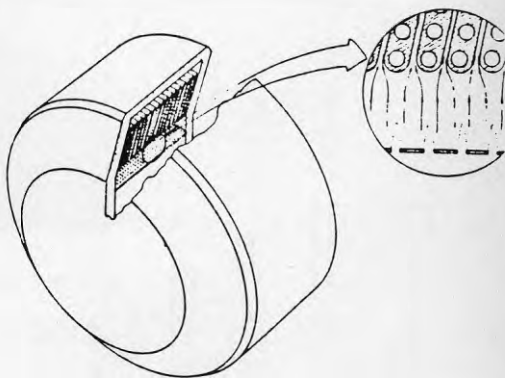
De båda enheterna ånggenerator och ångbuffert utgör en helhet som producerar ånga och ackumulerar den. För att ånggeneratorm skall kunna producera ånga måste den försörjas med:

- bränsle
- luft
- matarvatten (= trycksatt vatten)

Energien för pumpning av dessa flöden erhålles från hjälpångmaskinen, som i sin tur försörjs med ånga från ångbufferten. Detta innebär att i ångbufferten ackumuleras energi genom en process som i allmänhet sker med en konstant effekt och en given verkningsgrad. Denna



Figur 8 Ånggenereringssystem



Figur 9 Ånggenerator SG

ånggenereringsverkningsgrad betecknas η_{SB} och utgör kvoten mellan - den energin som i ångan nettomässigt tas ut från ångbufferten - och den i bränslet. Förlusterna består av energiinnehållet i avgaserna och den ångförbrukning som krävs för driften av hjälpångmaskinen. En realistisk nivå för η_{SB} är 95 %

Ånggenerator är ytterst kompakt och har låg vikt beroende på att mycket okonventionell teknik är använd. All värmeöverföring sker i utpräglad laminär strömning, som ger hög kompakthet samtidigt som lågt tryckfall kan erhållas.

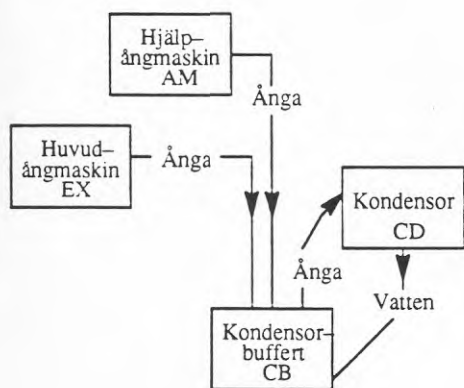
Det i Figur 3 illustrerade systemschemat för RAN är visserligen avsett för biltillämpningen men kan i huvudsak gälla även för andra tillämpningar såsom flygplan och stationära småskaliga el- / kraftvärmeverk. I vissa fall kompletterad med värmebatteri.

För stationära system kan en mycket intressant användning av solenergi bli aktuell då ångbufferten byggs ut med ett värmebatteri. En sådan lösning skulle kunna få stor betydelse för platser med behov av elkraft som kortvarigt ligger vid en hög effekt men för övrigt har en låg nivå. Naturligtvis är inte ett sådant elbehov synkront med solinstrålningen, men RAN och ett värmebatteri skulle på ett ändamålsenligt sätt överbrygga denna svårighet.

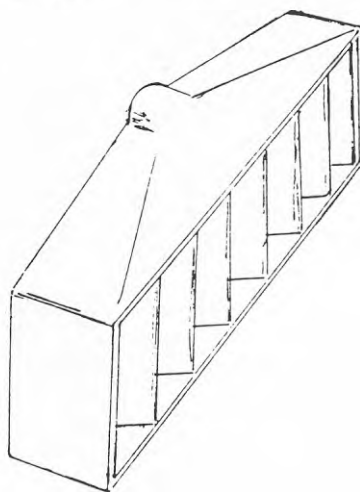
En med ett värmebatteri utbyggd ångbuffert kan i biltillämpning göra en RAN-driven bil till ett noll-utsläppsfordon för speciellt ömtåliga miljöer där RAN's även normalt mycket låga emissioner ej är acceptabla. En sådan noll-utsläppsvariant av RAN skulle ha en el- och hybridbils alla fördelar men inga av deras nackdelar. Ett med värmebatteri kompletterat RAN-system har således RAN's alla ursprungliga egenskaper men får den utvidgade förmågan att i begränsade områden fungera helt utan avgasutsläpp.

5.3 Kondensor / Kondensorbuffert (CD / CB)

Komponenterna kondensor och kondensorbuffert har en intim samverkan vid kondensation av den avloppsånga som kommer från huvudångmaskin och hjälpångmaskin. Kondensorbufferten omhändertar i första hand detta ångflöde. Härvid stiger Kondensorbuffertens temperatur om inte kondensorn momentant har kylförmåga. Så fort kondensorns kylförmåga börjar växa upp (genom att fordonets hastighet ökar) kondenseras ånga till vatten som rinner tillbaka till kondensorbufferten och därvid sänker temperaturen på kondensorbufferten. Samarbetet mellan kondensor och kondensorbuffert sker helt utan aktiv utrustning i form av pumpar od, i stället är det frågan om en "heat-pipe"-funktion.



Figur 10 Kondensorsystem



Figur 11 Kondensor CD



Även i kondensor / kondensorbuffert – helheten är värmeöverföringen baserad på utpräglad laminärströmning, för att möjliggöra mycket hög kompakthet samtidigt som tryckfallet blir lågt. Detta senare är synnerligen väsentligt för att inte stora systemförluster skall uppstå genom behov av kraftig kylfäkt. Många av de försök som gjordes under 70-talet, främst i USA, att skapa en renässans för ångdrivna bilar, stupade på bla denna punkt och att det till stor del var frågan om ett kopierande av ångteknik från seklets början.

6 Systemets prestanda och karaktär

Som framgår av ovanstående baserar sig ångdrivsystemet RAN på ny, helt unik ångteknik som gör att systemet får följande karaktär :

- ◆ Förbränningsbetingelserna för RAN är sådana att mycket låga avgasutsläpp erhålls som inneboende egenskap dvs utan kompletterande utrustning som katalysator od. Speciellt gäller detta den mest signifikanta avgaskomponenten kväveoxid (NOX), vars uppkomst är relaterad till förbränningstemperaturen. Förbränningen i ett ångmotorsystem har en mycket låg förbränningstemperatur i jämförelse med alla övriga motorer samtidigt som förbränningen sker vid atmosfärstryck. Vidare innebär RAN-konceptets ångbuffert att förbränningen kan ske vid konstant last, vilket är värdefullt vid optimering med avseende på emissioner. Den automatiska varmhållningen (som förhindrar att systemet blir för kallt exempelvis vid långvarig parkering) gör att den låga avgasnivån alltid är låg dvs även i situationer som efter start i sträng kyla.
- ◆ Det helt slutna ångsystemet ger en mycket låg ljudnivå och axialkolvmotorn eliminerar helt vibrationer.
- ◆ En med ett värmebatteri utbyggd ångbuffert ger möjlighet till kraftgenerering med solenergi och noll-utsläppsfordon för speciella miljöer.
- ◆ Mycket låg sk LCC dvs Life Cycle Cost, som inkluderar hela kostnadsbidet från tillverkning till skrotning. Här tas bla hänsyn till livslängd, servicebehov, skadeverkan på miljön etc.
- ◆ Alla bränslen är i princip möjliga att använda. Etanol eller metanol är dock mest attraktiva pga sin renhet men även för att dessa bränslen kan framställas inhemskt och ur biomassa varigenom motorens bidrag till växthuseffekten skulle helt elimineras.
- ◆ En för andra motorer helt ouppnåelig prestanda i förhållande till vikt och volym. Prestandan är dessutom synnerligen smidigt och enkelt hanterbar (utan kopplingspedal och växelspak). Toppeffekt per kg kommer att bli högre än för t.o.m. gasturbin, vilket gör flygtillämpningen mycket intressant
- ◆ Pga den automatiska varmhållningen är även efter en längre tids parkering i den strängaste kyla motorn alltid **omedelbart** redo för användning och i ett tillstånd som om den skulle ha varit använd sekunderna innan.
- ◆ Ett flertal attraktiva komfort- och säkerhetsfunktioner, som innebär försörjning med värme, kyla, el, etc finns alltid tillgängliga, dvs även vid parkering och andra tillfällen då motorn ej används för drivning.



- ◆ Då RAN till skillnad från alla andra motorer har sin högsta verkningsgrad vid låg belastning blir bränsleförbrukningen lägre än för andra motorer – vardagskörning med RAN i bil skulle kunna ge mindre än halva bränsleförbrukningen.
- ◆ Den högsta verkningsgraden vid den signifikanta lasten är för närvarande av storleksordningen 30 % som redan det är högre än för någon annan motor. Dock finns möjlighet att ytterligare höja denna upp till ca 35 % om detta skulle anses angeläget i framtiden. Detta skulle då ske genom att utnyttja högre tryck och temperatur samt i viss mån ökad mekanisk komplexitet för huvudångmaskin.
- ◆ Pga bla de mycket attraktiva miljö- och prestandaegenskaperna skulle många tillämpningsområden bli intressanta såsom för bilar, bussar, arbetsfordon, högpressterande flygplan, el- / kraftvärmegenerering , militära sektorn etc. Mer om detta i nedanstående avsnitt 7.

7 Tillämpningar för RAN-teknik

RAN är ej enbart ett drivsystem med mycket låga avgasutsläpp utan har även andra mycket attraktiva egenskaper enl avsnitt 6 ovan.

Med sådana kvalitéer är det lätt att motivera en introduktion av ett utvecklat RAN-system i en rad olika användningsområden för motorer. Vissa tillämpningar ger dock högre bränsleförbrukning. Det gäller de tillämpningar där motorn har en mycket hög och jämn last . En sådan användning av motorer förekommer företrädesvis endast vid storskalig basgenerering av elkraft såsom exempelvis kärnkraften. Vidare går ocean- och kustsjöfartens framdrivningsmotorer nästan uteslutande på full last

Ett användningsområde för motorer som intar en mellanställning är tunga lastbilar och land-sortsbussar som i stor utsträckning går högbelastade. I det fallet beror höglastprofilen helt enkelt på för "svag" motor , som resulterar i den välbekanta "långtradartrögheten". En introduktion av RAN-system i detta användningsområde skulle ge drastiska förbättringar i prestanda och naturligtvis ge övriga fördelar. Bränsleförbrukningen skulle dock i detta fall möjligen bli högre än för en Dieselmotor som får gå på hög last.

I avsnitt 3 redogjordes för hur extremt låglastade motorer är i en typisk personbilstillämpning. Vid närmare analys är det häpnadsväckande hur praktiskt taget all motoranvändning är sådan där den dominerande delen av dess utnyttjande sker vid mycket låg last. Detta har naturligtvis sin förklaring i att motorn – av skäl såsom säkerhet, beredskap, marknad etc – måste dimensioneras för att möta kravet på viss nödvändig toppprestanda, även om denna prestanda tas i anspråk under alldeles så kort tid.

Ett exempel på detta är ett högpresterande affärsflygplan, som vid start och första delen av stigningen kräver hög effekt men som sedan under den övervägande delen av flygningen kanske bara behöver ta ut en effekt som ligger vid 10 – 20 % av full effekt.

Ett annat exempel är småskaliga el / kraftvärmeverk, som i allmänhet är autonoma, utan anslutning till större elnät. Utan sammanlagringsmöjligheter fås en utpräglad låglastprofil. För ett vanligt hushåll utan elvärme kan ett typiskt medeleffektuttag (= utnyttjandegraden av maxeffekten) vara 5 – 10 % av full last.



RANOTOR

Ove B. Platell 91-10-04

Utgåva 3

Ytterligare exempel på utpräglad låglastprofil är arbetsredskap och arbetsfordon som traktorer, lyftkranar, grävmaskiner, gruvfordon etc. Även stadsbussar hör i viss mån till samma kategori.

Praktiskt taget all militär motoranvändning har en utomordentligt markant låglastprofil exempelvis U-båtar, flygtillämpningar, stridsvagnar etc.

För ett stort antal tillämpningar är således RANs överlägsna verkningsgrad vid låg last ett av många argument för att utveckla och kommersialisera projektet. En sammanställning av de mest närliggande tillämpningarna för RAN-teknik framgår av nedanstående uppställning där de i avsnitt 6 givna egenskaperna kompletteras med eventuella typiska egenskaper för var och en av tillämpningarna:

- | | | |
|---|--------------------------------|---|
| - | Personbil | |
| - | Tyngre fordon | |
| - | Stadsbuss | De i avsnitt 6 givna egenskaperna gör denna tillämpning speciellt attraktiv. |
| - | Rälsfordon | För snabbtåg och banor utan elförsörjning kan bli aktuella. |
| - | Arbetsfordon | Med värmebatteri kan gruvfordon etc göras helt fria från avgasutsläpp. |
| - | Flygpian | Mycket god start- och stigprestanda
Mycket goda höghöjdsegenskaper. |
| - | Småskalig EI- / kraftvärmeverk | Med värmebatteri möjliggörs rationellt utnyttjande av solenergi för både I- och U-länder. |
| - | Fritidsbåtar | Med värmebatteri skulle extremt hög funktionstrygghet erhållas - varje värmekälla kan användas. |
| - | U-båtar | Mycket värdefulla taktiska egenskaper. |
| - | Stridsvagnar | Mycket värdefulla taktiska egenskaper. |

Till detta kan läggas spinn-off -tillämpningar av RAN-teknik, av typen:

- Kompakta värmeväxlare
- Kompakt ångteknik
- "Bottoming cycles" för de konventionella motorena



8. Projektets status

Projektet befinner sig i ett initialskede i den bemärkelsen att mycket återstår av arbetet med att föra upp tekniken till den mognad som krävs för att få en definitiv bekräftelse på teknikens bärighet och innan anpassning till de olika tillämpningarna har skett. Dock är projektet redan osedvanligt väl underbyggt. Det är verifierat att det finns framkomliga vägar för de helt nya tekniska lösningar och teknikområden som valts för att möjliggöra den höga ambitionsnivån. Denna ambitionsnivå måste ses som nödvändig för att ge projektet de exklusiva egenskaper som kan motivera en förändring av en så etablerad produkt som drivsystem.

9. FoU-områden (nya teknikområden)

- * Termodynamisk analys i avancerad datorsimuleringsmodell (för komponenter och system) för kunskapsuppbyggnad och rationalisering av konstruktions- och utprovningsarbete. Även för problemställningar i samband med styr- och reglerstrategier är denna simulering nödvändig.
- * Tribologi för oljefri ångmotor
- * Hermetiska tätningar
- * Den nya tekniken för axialkolvmaskiners konstruktion
- * Kartläggning av RAN-typisk förbränning ur emission- och konstruktionsynpunkt
- * Den nya tekniken för ånggenerator / ångbuffert
- * Den nya tekniken för värmebatteri
- * Den nya tekniken för kondensor / kondensorbuffert
- * Tillverkningsteknik för RAN-komponenter

10. Referenser

- 1 Examensarbete av Peter Platell; Termisk energiteknologi, KTH 1983
- 2 RAN-Ångdrivsystem av Ove B. Platell; Rapport till STU 1984

Beskrivning av energisystemet LOTES

INNEHÅLLSFÖRTECKNING	sid
1 INLEDNING	2
2 BAKGRUND	2
3 GRUNDPRINCIP	2
3.1 Energiresurs typ 1	2
3.2 Energiresurs typ 2	3
4 LOTES MED ENERGIRESURS TYP 1 (SOLENERGI)	4
4.1 LOTES's temperaturnivåer	4
4.2 DS-funktion	5
4.3 Marklager ML	7
4.4 Solfångare SF	11
5 VENTILATION I LOTES	12
6 VARMVATTEN-PRODUKTION I LOTES	13
7 EKONOMI FÖR LOTES	14
8 REFERENS	14

SAMMANFATTNING:

LOTES är ett varm- och svalhållningssystem för byggnader. Det är i första hand baserat på solenergi. I systemet ingår bla sk DS-funktion och C-rörsfunktion, vilka utgör helt nya teknikområden som gör det möjligt att radikalt sänka temperaturnivån hos hela systemet. Detta resulterar i väsentliga förenklingar i uppbyggnad av ingående komponenter och avsevärda förbättringar av prestanda. Sammantaget ger detta att användning av enbart solenergi för uppvärmningsändamål inte bara börjar bli ekonomiskt rimligt utan mycket tyder på att det skulle kunna bli det absolut billigaste sättet att hålla våra byggnader både varma och svala. Systemet kan göras totalt energiautonomt och får mycket låg sårbarhet samt är helt utan miljöpåverkan.

Det är dock inte bara solenergi som är intressant i samband med LOTES, utan vid tex elgenerering och utnyttjande av rökgaskondensation kan intressanta synergieffekter erhållas genom att dessa system kan kylas ner till 5 -> 10 °C , samtidigt som den bortkylda energin kan användas i LOTES för att hålla rumstemperatur i byggnader, även i detta fall utan att värmepump behövs.

Beskrivning av energisystemet LOTES

1. INLEDNING

Denna beskrivning utgör väsentligen en sammanfattning av rapport till STEV 1988, (ref 1) beträffande det då benämnda Future Energy-projektet, som numera i mera genomarbetat skick har fått arbetsnamnet LOTES (Low Temperature Energy System).

2. BAKGRUND

Oberoende av kärnkraftavveckling, eller ej, så är det angeläget att få fram energisystem som är utan miljöpåverkan, enkla och billiga — kort sagt system som har möjlighet att bli bestående genom att helt motsvara alla de krav som ställs från samhället och enskilda beträffande miljö, ekonomi och trygghet. LOTES – systemet har stora möjligheter att helt uppfylla dessa krav.

3. GRUNDPRINCIP

Systemet baserar sig på bla en ny form av värmeavgivare. Denna nya komponent som alltså ersätter de konventionella värmeelementen, innehåller en sk DS – funktion och kan utföras som fönster eller som någon av de övriga rumsomslutande ytor.

DS – funktionen innebär att rummet kan hållas varmt vintertid och svalt sommartid med ett framledningstemperatur som avviker från rumstemperatur med endast någon grad. Därmed erhålles, med en och samma anläggning, både en varmhållnings- och en svalhållningsfunktion, vilka motsvarar det konventionella uppvärmningssystemet resp ett "aircondition"-system.

LOTES – systemet kan för sin varmhållningsfunktion använda sig av två olika typer av energiresurs, nämligen:

Typ1 Helt och hållet med solenergi inkluderat i LOTES-systemet.

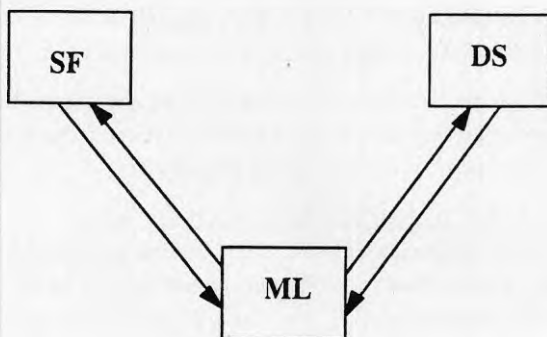
Typ2 Utnyttjande av värmeenergi från extern värmekälla exvis elproduktionsanläggningars kylsystem eller spillvärme.

3.1 Energiresurs typ 1

Denna energityp innebär att DS-funktionen samarbetar med ett marklager och solfångare. Systemet utgör i detta fall ett helt autonomt energisystem i överensstämmelse med Figur 1 (systemet har inget behov av värmepump).

Ett sådant system består av de tre huvudkomponenterna:

DS	DS-enheter för lokal som skall hållas vid rumstemperatur
ML	Marklager
SF	Solfångare

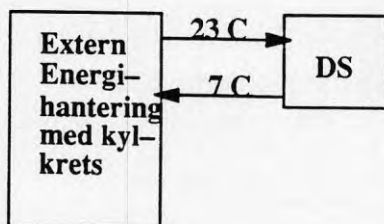


Figur 1 LOTES med energiresurs typ 1

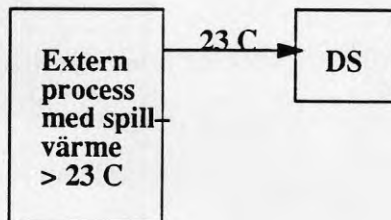
3.2 Energiresurs typ 2

Denna energityp innebär att en extern energikälla utnyttjas och där framledningstemperaturen är åtminstone 23 °C. Detta kan erhållas från:

- Typ 2A Sådan extern anläggning som genom samverkan med LOTES drar nytta av den låga temperatur som LOTES erbjuder energiresursens kylsystem.
- Typ 2B Spillvärme i egentlig mening, dvs värmeenergi som saknar värde för konventionella uppvärmningssystem men vars temperatur överstiger 23 °C. Någon ömsesidig nytta av varandra föreligger ej i detta fall mellan energiresursen och LOTES. Enbart LOTES får nytta av spillvärmern.



Figur 2 Energiresurs typ 2A



Figur 3 Energiresurs typ 2B

I båda fallen blir LOTES ej ett autonomt system utan beroende av den externa resursens långsiktiga existens och eventuella prissättning. Problem kan även uppstå med denna energiresurs typ 2 om dess effekt ej följer och är samtidig med LOTES effekt-behov.

Typ 2A kan i vissa fall (exvis vid utnyttjande av elproduktionsanläggningars kylsystem eller rökgaskondensation i samband med biomassaförbränning) ge starka synergieffekter med LOTES genom LOTES' s förmåga att kyla ner till c:a 5-10 °C ,

samtidigt som LOTES kan tillgodogöra sig den energi som behövs för funktionen att hålla rumstemperatur i lokaler, utan att värmepump är nödvändig.

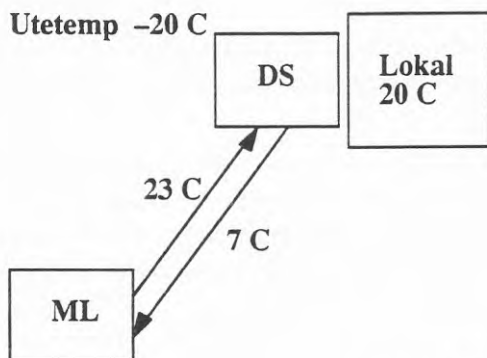
Internationellt sett där elförsörjningen i samhället ej har god tillgång till vattenkraft, kan LOTES-system med energiresurs typ 2A bli av mycket stor betydelse. Även en kombination av typ 1 och typ 2A kan få stor betydelse.

4. LOTES MED ENERGIRESURS TYP 1 (SOLENERGI)

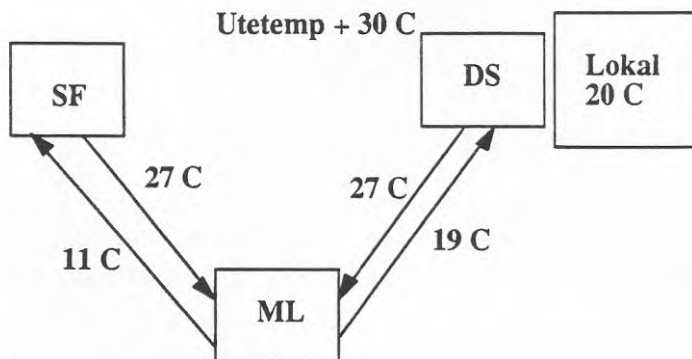
Då system som enbart utnyttjar energiresurs typ 1 (eller kombinerat med typ 2A) utgör ett intressant koncept, gives i det följande en mer utförlig beskrivning av detta LOTES-system. Ett sådant system blir förutom totalt ofarligt för miljön även mycket ekonomiskt och har naturligtvis en extremt låg sårbarhet.

4.1 LOTES's temperaturnivåer

I Figur 4 och 5 är systemets temperatur illustrerad vid typiska (för DS dimensionerande) vinter- resp sommarförhållanden.



Figur 4 Typiska temperaturer under extrema vinterförhållanden



Figur 5 Typiska temperaturer under extrema sommarförhållanden

Av dessa figurer framgår det, som så helt karakteriserar LOTES, nämligen de genomgående mycket låga temperaturerna. Detta lägger grunden för de radikalt förbättrade prestanda för LOTES i jämförelse med andra solenergisystem. Det som möjliggör LOTES mycket låga temperaturnivå är den sk DS-funktionen.

4.2 DS-funktion

Hitintills har värmeavgivare, motsvarande begreppen radiatorer, värmeelement etc, varit något som placeras i en lokal för att där med hjälp av strålning och konvektion överföra värme via lokalen till de ytor som har transmissionsförluster. En på detta sätt varmhållen lokal kan upplevas okomfortabel med stora olikheter i temperatur i olika riktningar och på olika platser i lokalen. LOTES-systemet ger en i det närmaste homogen temperatur i lokalen som också medför en väsentlig förbättring av komforten t.o.m. framme vid fönster vintertid.

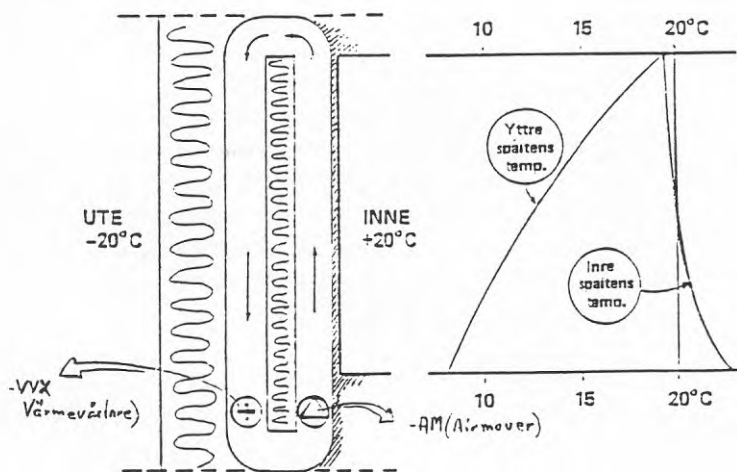
I ett LOTES-system är de konventionella värmeelementen ersatta av sk DS-fönster eller DS-väggar. Dessa karakteriseras av att de innehåller DS-funktion.

I Figur 6 framgår den principiella utförandet av en DS-funktion. DS-funktionen i en klimatskärm (lokalomslutande yta med transmissionsförluster) innebär att en sluten luftcirkulation är anordnad i två spalter dvs dubbelspalt (därav beteckningen DS). Det måste betonas att DS's luftcirkulation är helt sluten och har ingenting med innanförliggande lokals ventilation att göra. Den verkliga ventilationsfunktionen beskrivs senare i kap 5.

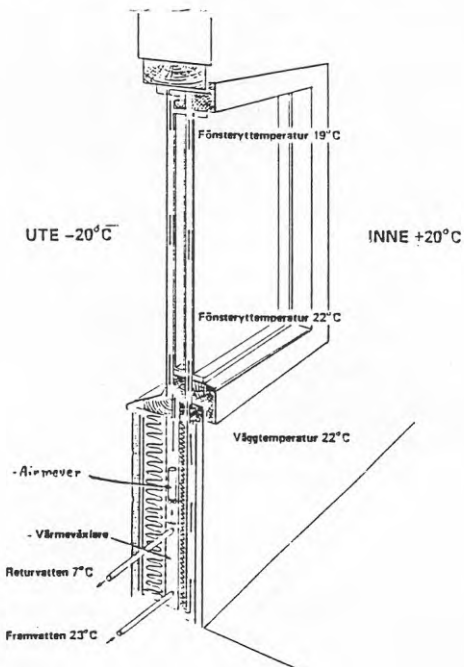
DS måste vara diffusionstätt mot rum så att cirkulationsluften i DS ej blir uppfuktad av rumsluften. För att säkerställa en låg daggpunkt på cirkulationsluften är DS i kontakt med ytterluften via ett mycket litet hål (kapillärör).

Typisk temperaturprofil för cirkulationsluften i DS framgår av Figur 6. Från en temperatur några grader över rumstemperaturen vid inträdet i underkant på den inre spalten, faller temperaturen till ungefär rumstemperatur i överkant då luften vänder och börjar strömma ner i den yttre spalten. I den yttre spalten faller temperaturen betydligt snabbare än i den inre. Vid utträdet ur den yttre spaltens nederkant flyter luften in i den mycket speciella DS-värmeväxlaren (motströms VVX med extremt hög effektivitet) och värms till DS's nominella inloppstemperaturen. Fram till VVX är värmen **vattenburen**, men i själva DS-funktionen är värmen luftburen dock utan att ha något att göra med rumsluften.

I Figur 6 är DS's dimensioner starkt överdrivna. De verkliga proportionerna framgår av Figur 7 där en verklig (ETRI-fönster) fönsterkonstruktion med DS-funktion illustreras. Denna konstruktion är en av ett flertal verkliga DS-konstruktioner, som framtagits i samarbete med byggnadsindustrin och utprovats vid KTH. Från dessa prov har det helt verifierats att dels en DS-funktion kan byggas in i ett fönster utan att det utseendemässigt blir avvikande från ett konventionellt fönster dels att DS-funktion har den förväntade prestandan.



Figur 6 Principiell DS-funktion med typiska temperaturförhållanden



Figur 7 Verkligt DS-fönster (ETRI-fönster) med typiska temperaturer

4.3 Marklager ML

För ett LOTES-system som använder sig av solenergi (energiresurs typ 1) som insamlas under sommarhalvåret lagras energin i marken med hjälp av ett sk borrhålslager (marklager=ML). Ett sådant innebär att i en markkropp har borrats en stor mängd hål med specificerad delning. Genom att i dessa borrhål arrangera kretsar för cirkulationsvatten är det möjligt att till- och bortföra värme till/från marken.

I princip går vilken mark som helst att använda för denna värmelagringsmetod. Således kan rör neddrivas i lera eller andra lösa jordarter och på så sätt skapa ett värmelager. Vilken mark som kommer till användning i aktuellt fall blir beroende av tillgång och kostnad för att åstadkomma cirkulationskretsarna i marken.

Uppladdning av marken till temperaturer, som ligger över markens normala temperatur (Stockholmstrakten c:a 8 °C) innebär givetvis energiförlust genom värmebortledning. Därför är det ytterst väsentligt att marklagret kan hållas vid låg temperatur. Detta gäller speciellt för ML's nedre del, som tredimensionellt förlorar värme ut i en halvrymd under ML.

ML's arbetstemperatur bestäms naturligtvis av temperaturkravet hos värmeavgivaren, som i LOTES-fallet är exceptionellt låga. Även sättet att arrangera kretsarna för cirkulationsvattnet i borrhål har i hög grad inverkan på marklagrets temperaturnivå.

Det finns i princip två sätt att arrangera dessa kretsar, dels efter den sk U-rörsprincipen och dels den sk C-rörsprincipen i överensstämmelse med Figur 8. I båda fallen är cirkulationskretsarna hydrauliskt täta mot grundvattnet, vilket är mycket viktigt för att undvika problem med vattenkemi. Det blir också möjligt att trycksätta cirkulationsvattnet till högre tryck än grundvattnet. På så sätt kan undertryck undvikas i cirkulationsvattnets övre delar (byggnadens övre delar och solfångarna).

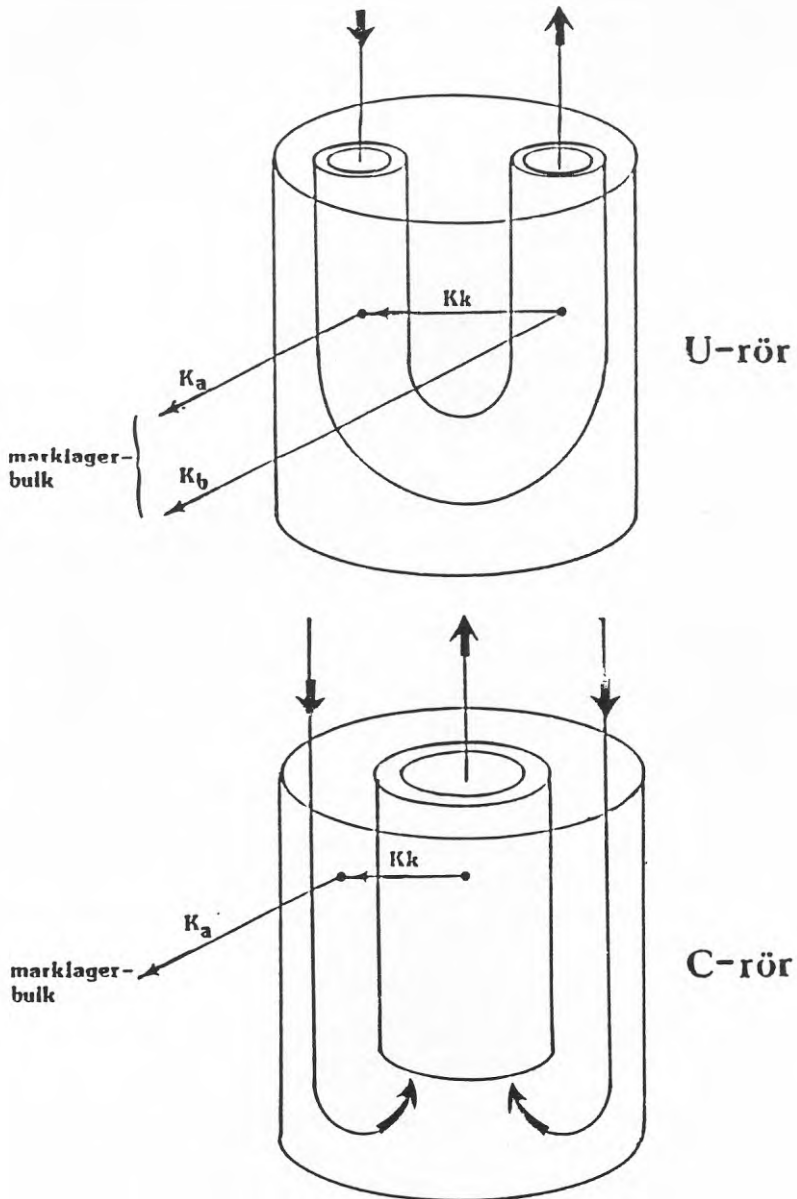
Den stora skillnaden mellan U- och C-rörsfunktion har att göra med att vid C-rörsfunktion är endast den ena cirkulationsskänkeln i direkt termisk kontakt med omgivande mark, medan vid U-rörsfunktion båda cirkulationsskänklarna har sådan direkt termisk kontakt.

Vid C-rörsfunktion sker laddning med nedåtgående cirkulation i den yttre skänkeln och vid urladdning med uppåtgående cirkulation i denna yttre skänkel. För U-rörsfunktion är cirkulationsriktningen likgiltig.

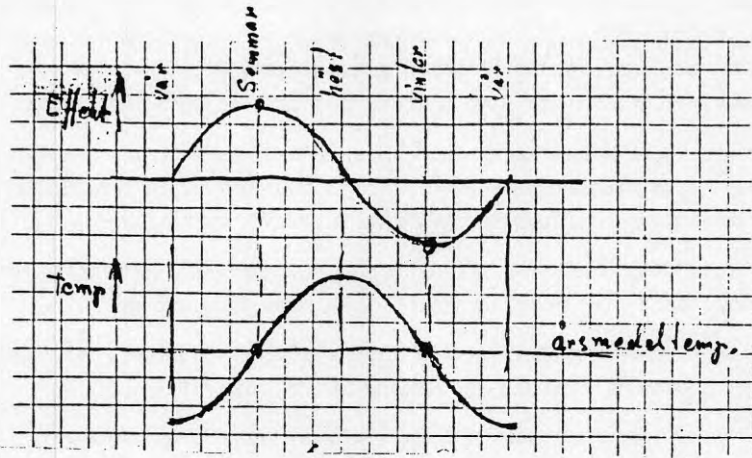
C-rörets yttre skänkel (som har termisk kontakt med marken) har alltså högre temperatur upptill vid såväl laddning som urladdning, vilket resulterar i att lagret får högre medeltemperatur upptill än i botten (se Figur 10).

För att få en bild av temperaturförhållandena i systemet speciellt vid maximal i- och urladdning hänvisas till Figur 9, där det generella sambanden åskådliggörs:

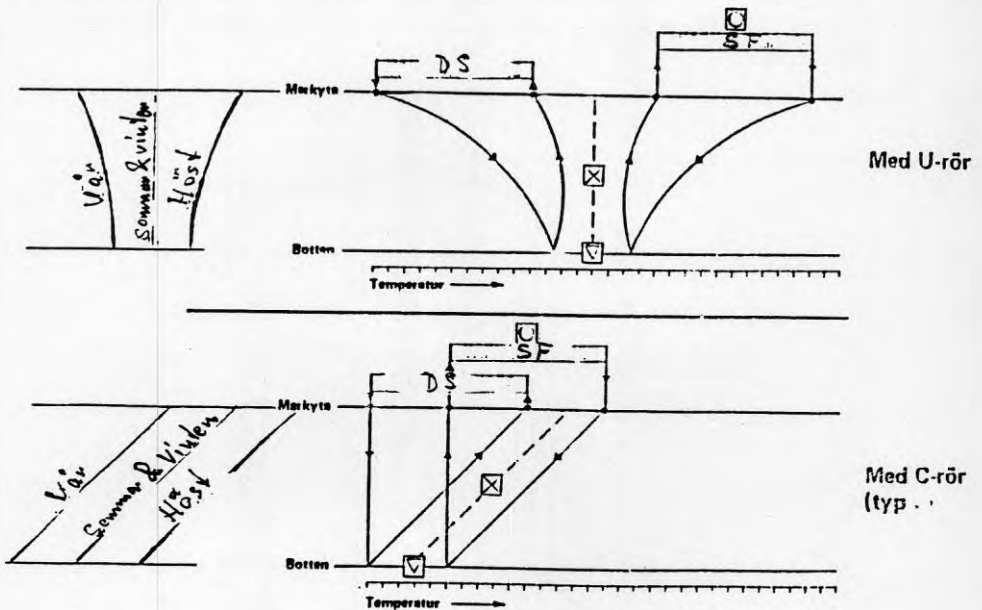
Såväl den maximala laddnings- som urladdningseffekten sker mot ett lager, som har en temperatur som är tidsmedelvärdet för lagret. Dvs ej mot ett lager, som har sina maxi resp mini-temperaturer.



Figur 8 Principiell uppbyggnad av U- resp C-rörsfunktion



Figur 9 ML's temperatur under året



Markbulkens temperaturprofil vid 4 olika tidpunkter under året

Cirkulationsvattnets temperaturprofil vid maximal i- resp urladdning. Bulkens temperaturprofil sammanfaller vid dessa båda tillfällen.

Figur 10 Temperaturprofiler vid U- resp C-rör

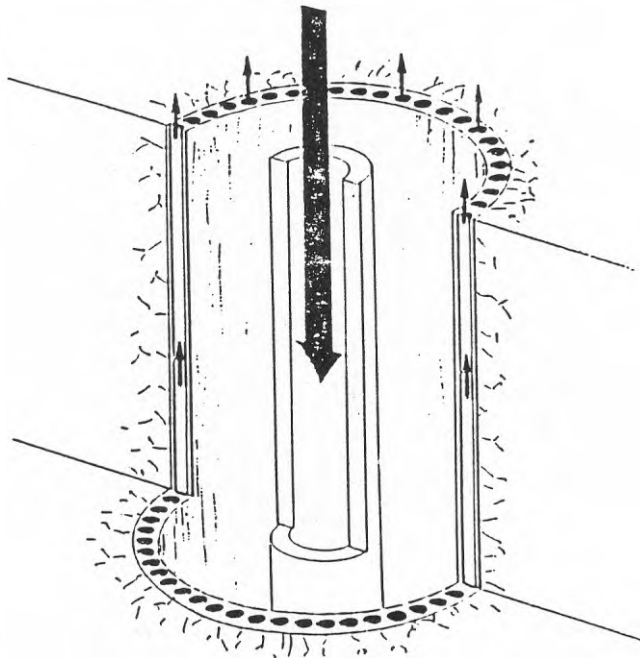
Därför kan den betraktelsen och analys göras som resulterar i Figur 10 och där man konstaterar att för en given urladdningstemperatur (framvattentemperatur till DS) rycker temperaturområdet för laddning ner till betydligt lägre värden om C-rör används i stället för U-rör Även botten temperaturen för lagret blir drastiskt sänkt.

Den sänkta laddningstemperaturen har en synnerligen gynnsam inverkan på solfångarnas prestanda och möjlighet att göras enkla och billiga. Den sänkta marklagertemperaturen ger mycket små värmeförluster för marklagret.

En omfattande analys av hålinfodringens påverkan på systemegenskaperna har gjorts (Ref 1) och denna har givit följande rekommendationer:

- Systemet skall drivas (vid både laddning på sommaren och urladdning på vintern) med så lågt cirkulationsflöde som möjligt ! !.
- Konstruktivt skall infodringen vara utförd med C-rörsfunktion och de båda skänklarna skall vara termiskt isolerade från varandra. Den yttre skänkeln skall ha bästa tänkbara termiska kontakt med borrhålsväggen.

De ovan konstruktiva synpunkterna blir väl tillgodosedda i konstruktionen enligt Figur 11. Konstruktionen som utvecklats i samarbete med VIRSBO, har den yttre cirkulationsskänkeln utförd som ett stort antal klena kanaler i en flexibel "plastmat-ta", som kan forma sig efter hålväggen och komma i intim termisk kontakt med den. Den inre skänkeln är försedd med god termisk isolering, möjligen utförd som en termosflaska.



Figur 11 Exempel på borrhålsinfodring med C-rörsfunktion

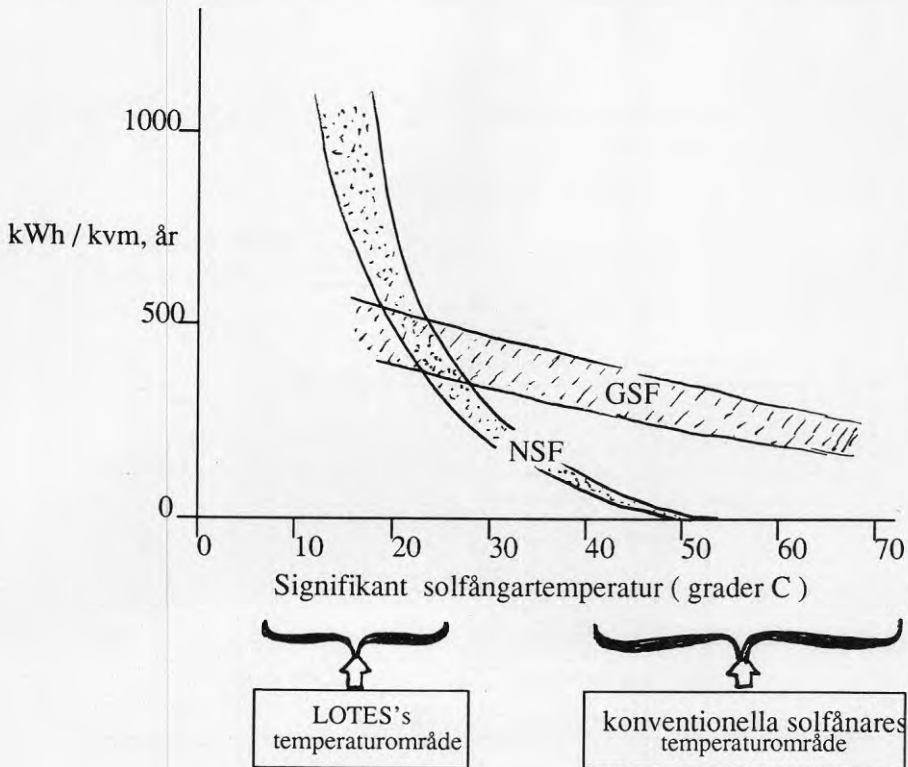
4.4 Solfångaren SF

Då de hitintills berörda komponenterna i LOTES-systemet lagt grund för en mycket låg temperatur på cirkulationsvattnet under laddning skall naturligtvis solfångarna SF's konstruktion vara inriktad på att väl utnyttja detta förhållande.

I Figur 12 är illustrerat den generella karaktärestiken för två olika solfångartyper. Figuren visar insamlingsförmågan för solenergi vid olika temperaturnivåer. Två grundläggande typer av solfångare är inlagda. De är dels den glasade (GSF) dels den helt oglasade – nakna – solenergiabsorbatorn NSF.

Markant är hur mycket bättre prestandan blir när arbetstemperaturen sänks. För de temperaturer som är aktuella för LOTES är det den enkla solfångaren NSF som har t.o.m. bättre prestanda än den betydligt dyrare GSF.

En enkel, billig "naken" solfångare av typen tjärpapp eller trapetskorrugerad plåt, som försetts med genomströmningsmöjligheter för cirkulationsvatten kommer alltså i ett LOTES-system få en för andra system helt ouppnåelig energiinsamlingskapacitet per m². Detta underlättar väsentligt införandet av tekniken i bebyggelse utan stora iögonfallande och arkitektoniskt omöjliga konstruktioner.



Figur 12 Prestanda-karaktärestik för olika solfångare

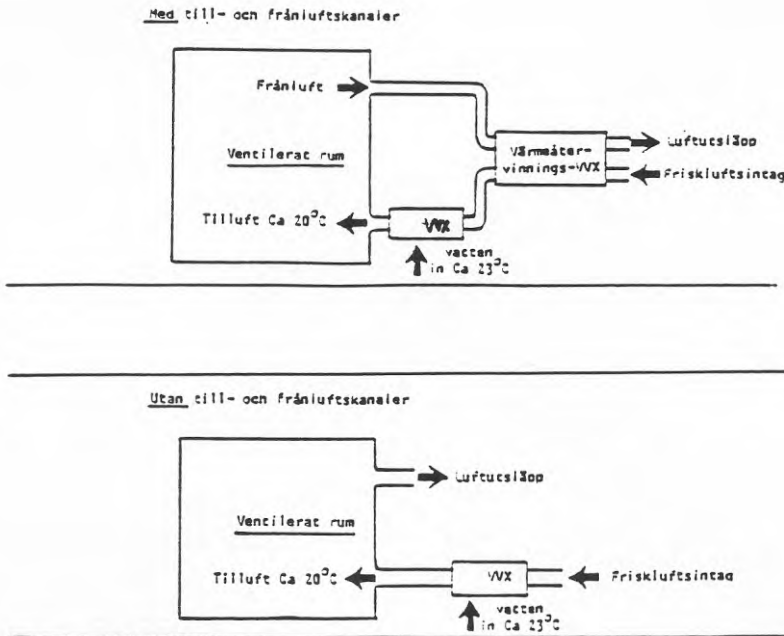
5. VENTILATION I LOTES

Då LOTES-systemet är till för att helt täcka en lokals transmissionsförluster finns inget behov att tillföra värme med ventilationsluften. Dvs ventilationsflödet behöver endast vara så stort som krävs för god luftkvalitet och inblåsningstemperaturen skall vara lika med rumstemperaturen.

I lokaler med installerade till- och frånluftsledningar kan motsröms värmväxlare för luft - luft användas för att värma den utifrån kommande friskluften till i det närmaste rumstemperatur. Den återstående temperaturhöjningen sker då i en motströmsvärmväxlare av samma typ, som i LOTES's DS-funktioner. Det i ett LOTES-systemet alltid tillgängliga c:a 25 °C - cirkulationsvattnet kan i detta fall med lätthet värma luften till rumstemperatur.

I lokaler som ej har installerade till- och frånluftsledningar kan en LOTES-värmväxlare användas för hela uppvärmningen, som i föregående fall för slutuppvärmningen. I ett sådant fall blir energiåtgången större, men ändå relativt liten på grund av att luftflödet är litet (endast nödvändigt friskluftsflöde). Dessutom är kostnaden för energi i ett LOTES-system mycket låg.

I båda ventilationssystemen är det möjligt att både upp- och avfukta ventilationsluften utan annan energi än den extremt billiga som står till förfogande inom LOTES.



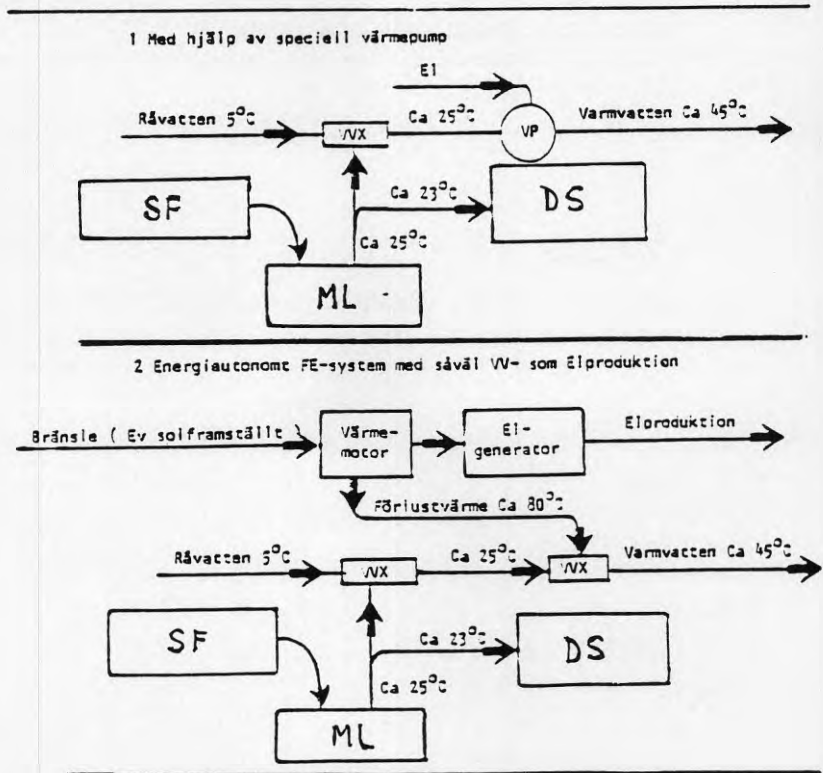
Figur 13 Två olika alternativ för ventilationssystem i LOTES

6 VARMVATTEN-PRODUKTION I LOTES

I ett LOTES-system finns alltid tillgång till c:a 25 °C - cirkulationsvatten . Med en motströmsvärmväxlare av LOTES-typ är det således möjligt att värma råvattnet till i närheten av 25 °C. Om den önskade varmvattentemperaturen är 45 °C måste ungefär lika mycket ytterligare energi tillföras.

Detta kan göras med en värmepump som speciellt konstruerats för att lyfta temperaturen endast 20 °C. En sådan VP kan få en mycket hög värmefaktor, i storleksordningen 6-8. Det vill säga den för varmvattenproduktionen nödvändiga elkonsumtionen är c:a 7 % (dvs 14 % av energin som VP levererar) resten c:a 93 % kommer från LOTES billiga energi.

Vid strävan att skapa det helt energiautonoma huset, grupper av hus och små samhällen, har man någon form av värmemotor för elproduktion. I detta fall sker den övre delen av varmvattenuppvärmningen med hjälp av värmemotorns förlustenergi.



Figur 14 Två olika sätt för varmvattenproduktion i LOTES

7. EKONOMI FÖR LOTES

I samarbete med tillverkande industri och VVS-konsulter har god bild kunnat skapats av systemets ekonomi. Denna analys indikerar en osedvanligt hög konkurrenskraft hos konceptet. Mycket tyder på att investeringskostnaden för en LOTES-anläggning (exklusive energitillförsel delen) ligger i samma storleksordning som motsvarande för ett konventionellt uppvärmningssystem med standardventilation och varmvattenproduktion.

För LOTES-investeringen får man dock både ett varmhållnings- och svalhållningssystem och ett mycket överlägset inomhusklimat. Ett LOTES-system med solenergi är dessutom i det närmaste helt i avsaknad av direkta driftskostnader. Driftskostnaderna kan i detta fall möjligen sägas utgöra en rimlig annuitet på den extra investeringskostnad som energitillförsel delen kräver. Denna "driftskostnad" blir lägre än för något annat energisystem.

Hitintills har kostnaden för solenergisystem helt dominerats av solfångarna. För LOTES har denna reducerats på ett mycket dramatiskt sätt. Beroende på att både energiinsamlingsprestandan per ytenhet har höjts och att kostnaden (särskilt kostnaden för solfångarfunktionen) per ytenhet har kunnat reducerats, blir kostnaden för energiinsamlingen drastiskt reducerad. Denna kostnadsreduktion räknas ej i några 10-tal % utan snarare som en sänkning till en nivå som är ett antal tiopotenser lägre.

8. REFERENS

- Ref 1 ANALYS AV LÅGTEMPERATURSYSTEMET FUTURE ENERGY, rapport till STEV 1988.

BYGGFORSKNINGSRÅDET BYGGFORSKNINGSRÅDET BYGGFORSKNINGSRÅDET

R45:1993

ISBN 91-540-5592-X

Byggforskningsrådet, Stockholm

Art.nr: 6813045

Abonnementsgrupp:

W. Installationer

Distribution:

Svensk Byggtjänst

171 88 Solna

 **BYGGFORSKNINGSRÅDET**

Cirka pris: 87 kr inkl moms

BYGGFORSKNINGSRÅDET