



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.



Rapport

R90:1980

**Kombinerad
sol/vindvärmecentral
med årstidslagring**

Förstudie

Peter Margen

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	80-1348
Plac	Ser

V.
01/2

Byggeforskningsrådet

Ser

R90:1980

KOMBINERAD SOL/VINDVÄRMECENTRAL
MED ÅRSTIDSLAGRING

Förstudie

Peter Margen

Denna rapport hänför sig till forsknings-
anslag 790012-8 från Statens råd för bygg-
nadsforskning till Studsvik Energiteknik AB.

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

R90:1980

ISBN 91-540-3283-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

LiberTryck Stockholm 1980 054668

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

SAMMANFATTNING	5
1. PRINCIPFÖRSLAGET	7
1.1 Solvärmecentral	7
1.2 Vindkraftdriven central värmepump	7
1.3 Kombination sol/vindvärmecentral	13
2. BERÄKNAD KOSTNAD	15
3. MÅLSÄTTNING FÖR FORTSATT STUDIER	18
4. TEKNISKA PROBLEM	19
5. METOD ATT FÅ FRAM DATA	20
5.1 Vindkraftverk	20
5.2 Värmepumpar	20
5.3 Solvärmecentraler, magasin m m	20
5.4 Korrelation mellan energi från vind och sol under olika år, årstider m m	20
5.5 Kostnadsbesparing på elöverförings-systemet	20
6. INSATSPLAN	21
7. SLUTORD	22
REFERENSER	23
<u>BILAGA 1</u>	
Beräkningsexempel för en vindkraftdriven central värmepump för ett bostadsområde med 1 000 hus	24



SAMMANFATTNING

Enligt de utredningar som Nämnden för Energi-
produktionsforskning tidigare har presenterat
lovat framtida vindkraftaggregat på 2 ä 4 MW
storlek att producera el till kostnader som ej
skiljer sig i hög grad från dagens produktions-
alternativ, om man exkluderar de för vind-
kraften tillkommande kostnaderna för elöver-
föring och lagring. Denna förstudie värderar
ekonomin i ett förslag där ett vindkraftverk på
nära 2 MW(el) producerar ca 10 MW värme med
hjälp av en värmepump och försörjer ett bostads-
område med 1 000 hus med all värme. Värmen
lagras i ett varmvattenmagasin som på grund av
att vindenergin och värmebehovet varierar
någorlunda i fas årsvis kan ha relativt liten
volym - ca 15% av årsproduktionen jämfört med
60% för motsvarande solvärmecentral. Som det
enda nytillkommande problemet identifieras
metoden att reglera kombinationen vindkraft-
verk/värmepump. Två metoder att angripa
problemet föreslås. Förslaget beräknas ge
värme till priser som är konkurrenskraftiga
med konventionella uppvärmningssystem. Jäm-
fört med förslag där vindkraften producerar
el för nätet och en värmepump förlagd på annan
ort försörjer ett bostadsområde med värme eli-
mineras bl a kostnaderna för elöverföring till
högspänningsnätet samt elförsörjningsled-
ningarna för värmepumpen.

De kombinationsvinster som kan åstadkommas genom
att man kombinerar denna typ av värmecentral med
en mera konventionell typ av solvärmecentral, där
dock båda produktionsenheterna utnyttjar ett gemen-
samt värmemagasin redovisas. Kombinationsvinsterna
härstammar bl a från diversitet i tillgången på

vind- och solenergi, och från utnyttjandet av samma mark för två skilda ändamål.

Förstudien utmynnar i ett förslag till en mera utförlig studie där det ovannämnda tekniska problemet studeras och ekonomin värderas mera noggrant som funktion av bostadsområdets storlek, medianvindhastighet vid förläggningsplatsen, förhållandet mellan dimensionerande solenergi och vindenergi m m.

1. PRINCIPFÖRSLAGET

1.1 Solvärmecentral

Inom ramen för BFRs program pågår en aktiv bearbetning av solvärmecentraler, dvs värmeproduktionskällor som på en central plats producerar värme från solen, lagrar den i varmvatten och fördelar varmvattnet till ett bostadsområde.

Ytan mellan kurva 1 och 2 i Fig 1 visar att ca 60% av årsproduktionen av solvärmemåste lagras (exklusive lagringsförluster) om ett bostadsområde helt skall försörjas genom solvärme på detta sätt. Ändå visar beräkningar (se bl a Ref /1/) att systemet torde kunna bli konkurrenskraftigt med konventionella värmeformer omkring 1985 vid en fortsatt hård satsning. En demonstrationsanläggning har byggts i Studsvik och två håller på att färdigställas i Växjö och Linköping.

1.2 Vindkraftdriven central värmepump

En annan metod att förse ett bostadsområde med värme från förnyelsebara energikällor är att bygga ett vindkraftverk, låta detta driva en värmepump som exempelvis tar värme från saltsjön eller annat vattendrag och lagra värme i erforderlig utsträckning i ett varmvattenmagasin. Även i detta fall fördelas varmvattnet genom ett kulvertnät. Principen, som föreslogs av undertecknad sommaren 1978 (se Ref /2/), illustreras av de heldragna linjerna i kretsen, Fig 3. En genomsnittlig värmefaktor på ca 5.0 kan uppnås under året vid val av ett lågtemperatur-uppvärmningssystem, varför vindenergin utnyttjas effektivt. Ytan mellan kurva 1 och 2 i Fig 2 visar dessutom att i detta fall endast ca 12% av årsenergin behöver lagras (exklusive lagringsförluster) mot 60% i fallet med solvärmecentraler om vindenergin konverteras direkt till värme.

Månadsvärde
genomsnitt

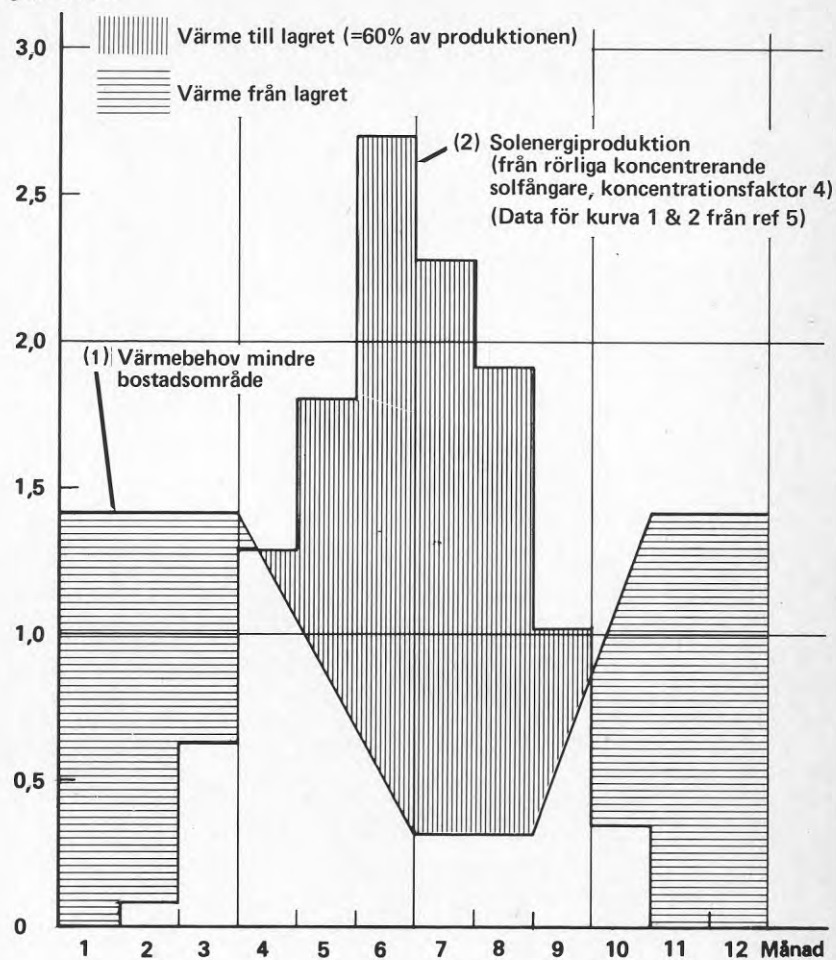


FIG 1. Erforderlig årstidslagring vid solvärmecentral.

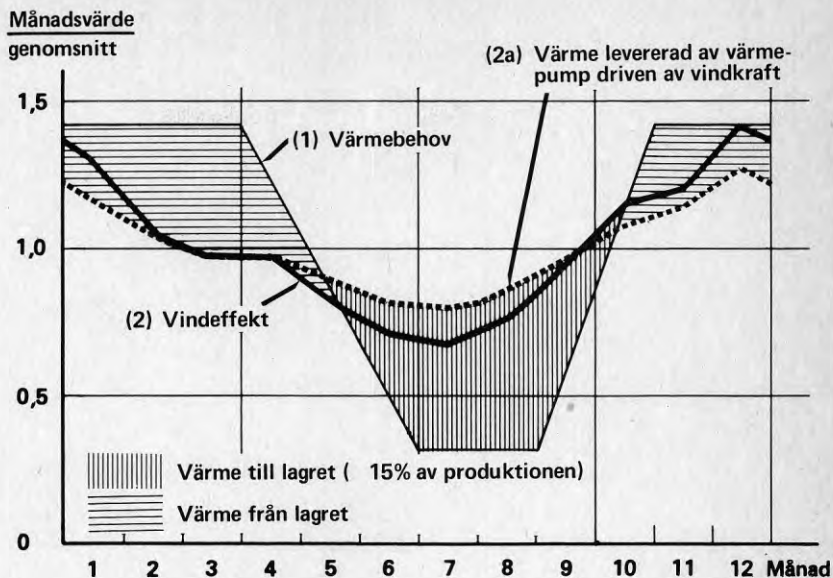


FIG 2. Erforderlig årstidslagring vid vindkraftvärmecentral (vindeffekt på 10 m höjd, Visby flygplats).

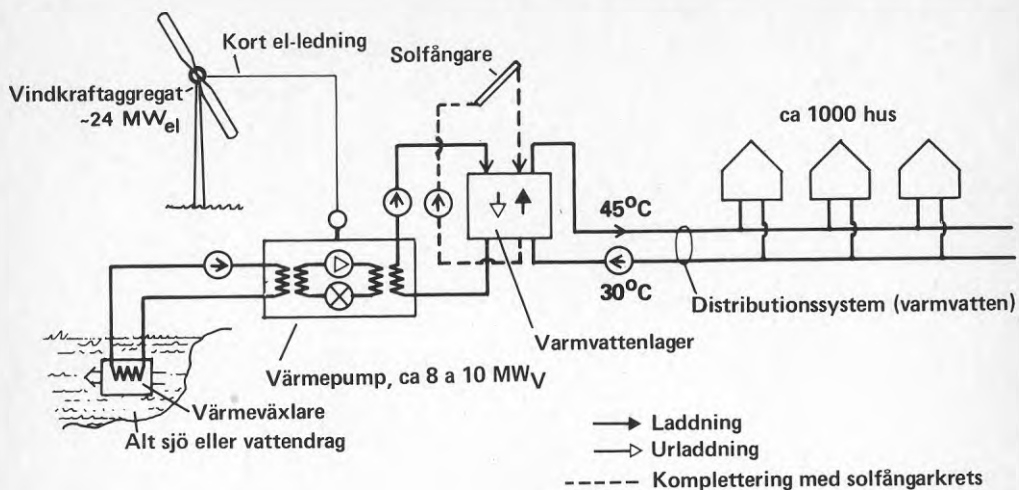


FIG 3. Exempel på vindkraftdriven värmepump för bostadsområde.

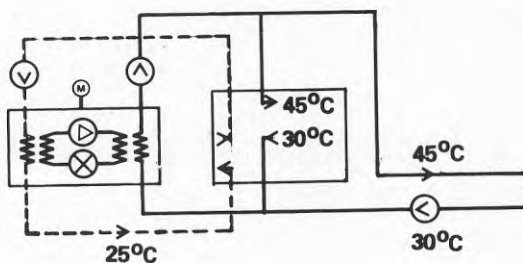


FIG 3a. Omkoppling av värmepumpen för att vid behov höja värmefaktorn och kyla värmelagret.

Skälet till detta är att det blåser hårdast under vintern när värmebehovet är störst. Korrigeras kurvan för skillnaden i värmefaktorn vinter respektive sommar, stiger lagringsbehovet till ca 15% - fortfarande ett lågt tal.

Även behov av dygns- och veckolagring föreligger, se Fig 4 och 5. Dock klaras dessa behov med mycket måttliga magasinstorlekar - sammanlagt ca 3% av årsenergin. Ett magasin som lagrar 15% av årsenergin kan klara samtliga dessa behov.

Den ovan angivna storleken på energilagret är baserad på mätningar av vindenergin på 10 m höjd vid Visbys flygplats. Det är troligt att årsvariationerna i vindhastigheten blir något mindre på högre höjder, vilket i så fall skulle öka den erforderliga magasinstorleken. En korrektion härför kommer att inarbetas i den föreslagna utförligare studien.

Den storlek på vindkraftverk som erfordras för denna typ av värmecentral ligger relativt nära den som studeras för kraftproduktion. För ett område med 1 000 bostadsenheter fordras t ex ett vindkraftverk på ca 2 MW(el) som kan producera 8 MW värme vintertid och ca 12 MW under sommaren (vid max driftvindhastighet).

Ur ekonomisk synpunkt kan denna anläggning jämföras med summan av två anläggningar, nämligen

- 1) Ett vindkraftverk för elproduktion, samt
- 2) En eldriven värmepump på annan plats som levererar värme till ett bostadsområde.

Denna kombination fordrar dock

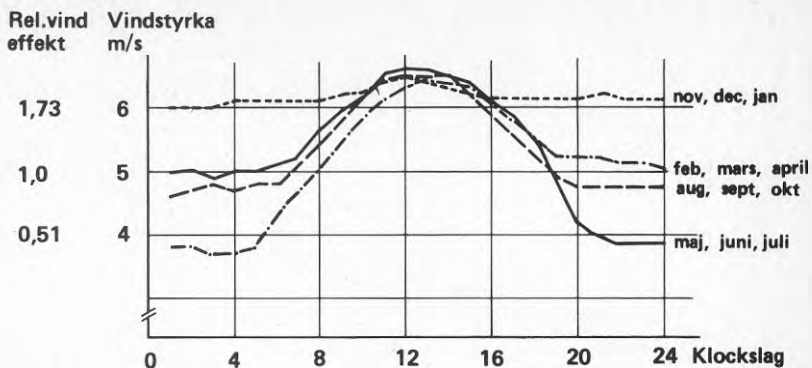


FIG 4. Vindstyrkans dygnsvariation som medelvärde för olika perioder (Visby flygplats, 10 m höjd).

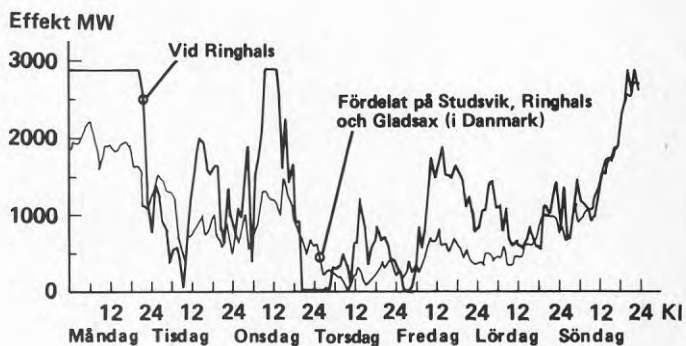


FIG 5. Veckovariationer i vindeffekt (under en oktobervecka).

- a) Transformator- och elöverföringsledningar från vindkraftverket till stamnät dimensionerade för en låg utnyttjningstid
- b) Elöverförings- och distributionsledningar som försörjer värmepumpen, även dessa dimensionerade för en låg utnyttjningstid.

Dessa merkostnader bortfaller när man istället låter vindkraftaggregatet driva värmepumpen direkt via en kort elkabel eller ledning. Dessa besparingar kan vara mer än tillräckliga för att kompensera vissa nackdelar med det direktkopplade förslaget - t ex det faktum att man måste lokalisera vindkraftverket och bostadsområdet nära varandra i en vindrik trakt - t ex i kustbandet. Förslaget är tydligen tillräckligt intressant för att motivera en noggrann studie. Detta framgår även av de överlagsberäkningar som redovisas i Bilaga 1 och även diskuteras i avsnitt 2.

1.3 Kombination sol/vindvärmecentral

Förslaget kan ytterligare kompletteras på flera sätt. De streckade linjerna i Fig 2 visar hur man även kan koppla solfångare till samma anläggning varigenom samma värmemagasin utnyttjas för båda produktionskällorna. Såsom redan påpekats i Ref /2/ ger detta vissa fördelar jämfört med separata anläggningar pga diversitet i tillgången på vindenergi och solvärme. Exempelvis torde solfattiga och vindstilla somrar eller år sällan sammanfalla, så att den kombinerade anläggningen behöver mindre magasinvolym än två separata anläggningar för sammanlagt samma energiproduktion. Dessutom kan samma mark användas för två ändamål.

Fig 3a visar hur värmepumpen vid behov även kan hämta värme från magasinet mot slutet av vintern för att öka energiproduktionen ytterligare (magasinet ligger då vid ca 30°C mot ca 4°C för salt-

sjön) genom ökad värmefaktor, och på detta sätt ökar magasinets energilagringensförmåga per m³.

I denna rapport redogörs för ett utredningsförslag som syftar till att belysa ekonomin för de möjligheter som skisserats där och i rapporten utreds även vissa tekniska problem - främst beträffande regleringen. Utredningen skall belysa inverkan av olika faktorer på ekonomin och val av variant - t ex storleken på bostadsområdet, genomsnittlig vindstyrka, typ av bostadsuppvärmningssystem - men även inkludera en känslighetsanalys angående inverkan av variationer i de uppskattade kostnaderna för väsentliga komponenter.

2. BERÄKNAD KOSTNAD

För att pröva förslaget ekonomiska potential har en beräkning genomförts (se Bilaga 1) för en vindkraftdriven central värmepump för ett bostadsområde med 1 000 småhus. Prestanda av vindkraftaggregat har interpolerats mellan de värden som framräknats i NES lägesrapport, Ref /3/, för aggregat på 1 respektive 4 MW(el). Kostnaden har dock justerats uppåt jämfört med Ref 3, dels för kostnadsökningar som har ägt rum sedan 1977 (20%), dels för en "större grad av konservatism" i beräkningen (+25%). Även vissa andra justeringar har gjorts. Kalkylen tyder på att investeringen i hela systemet inklusive distribution skulle kosta 30 000 kr/hus, vilket med Energikommisionens sätt att räkna skulle ge en kostnad per kWh levererad värme till småhusen på 13.4 öre/kWh - ett pris som torde vara väl konkurrenskraftigt med konventionella alternativ - elvärme, individuella pannor och fjärrvärme.

Magasinet skulle kunna förses med solfångare på taket som används för att höja temperaturen under sommaren från 47°C vid enbart vindkraft till ca 85°C vid kombinerad vindkraft och solvärme. Därigenom kunde antalet hus som kan försörjas med värme ytterligare ökas. Denna kombination har dock inte hunnit kostnadsberäknas i denna förstudie.

Om man väljer en placering där medianvindhastigheten på 100 m höjd är 6.5 m/s (som kan erhållas på större delen av den svenska kusten, se Fig 6) ökar kostnaden med endast ca 1.3 öre/kWh värme = 10%.

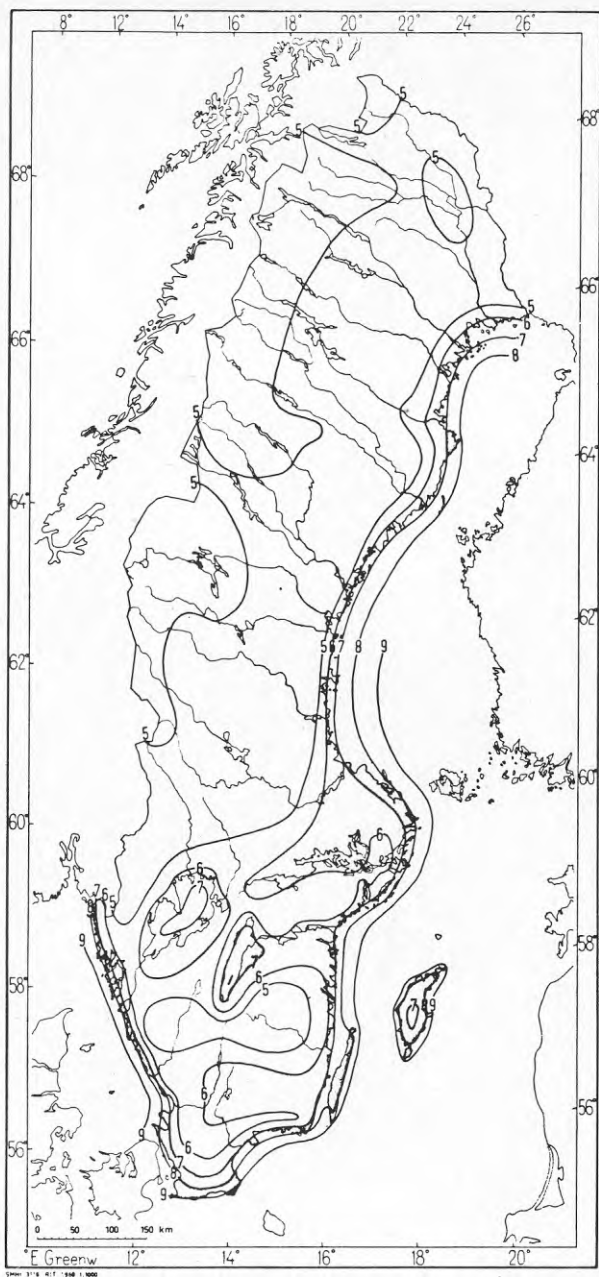


FIG 6. Geografisk variation av årsmedelvindar på 100 m höjd.

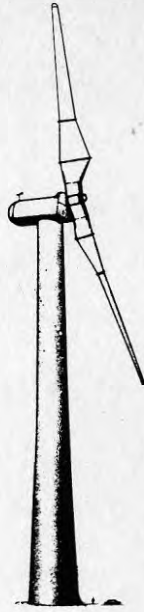


FIG 7. Vindkraftaggregat av antagen typ
(men ca dubbelt antagen effekt).

3. MÅLSÄTTNING FÖR FORTSATTA STUDIER

Den föreslagna studien skall belysa de ekonomiska förutsättningarna för små fjärrvärmenät som får sin värme från

- a) vindkraftdrivna värmepumpar, eller
- b) solvärmecentraler, eller
- c) en kombination av dessa

och belyser under vilka omständigheter a) respektive b), respektive c) ger den bästa beräknade ekonomin. Studien bör utföras som en parameterstudie, där bl a följande parametrar varieras:

- 1) Storlek på bostadsområdet (400, 1 000 och 2 500 hus)
- 2) Medianvindhastigheten (t ex 5.5, 6.5 och 7.5 m/s vid 100 m höjd)
- 3) Förhållandet mellan energin från vinden och energin från solen i fall c) (0.5, 1.0 och 2.0)
- 4) Kostnadsnivån för de viktigaste komponenterna, dvs vindkraftaggregaten, stora värmepumpar och solfångare. Likaså avståndet till vattendraget
- 5) Vissa variationer i schemat för variant c) undersöks.

Övriga parametrar - t ex värmesystemet i bostäderna, vattentemperaturen m m - bestäms mot bakgrunden av erfarenheterna från de optimeringsstudier som Studsvik har genomfört på liknande system, t ex genom ett gemensamt värmepumpförsett fjärrvärmesystem, solvärmecentraler m m.

4. TEKNISKA PROBLEM

Målsättningen bör vara att så långt som möjligt använda standardkomponenter från stora vindkraftverk för elproduktion (vars utveckling är en förutsättning för ett ekonomiskt genomslag av även den föreslagna typen av värmecentral) och stora värmepumpar. Den föreslagna spännvidden för parameterstudien passar väl in i de planer som nu finns för svenska vindkraftprototyper och för stora värmepumpar.

Ett nytt problem är dock regleringen av aggregaten. För att få en maximal besparing på elnätet är det önskvärt att driva systemet frikopplat från det allmänna elnätet. Därigenom slipper man även en låsning av varvtalet. Enligt den expertis som vi har konsulterat är en viss variationsmöjlighet beträffande varvtalet en fördel för aggregatet genom att man då kan absorbera plötsliga vindstötter genom ökningen i varvtalet. Reglersystemet för kompressorer i värmepumpar har dock en viss tröghet, varför samspelet i den totala regleringen måste studeras. Ett svänghjul kan erfordras för att ge erforderlig tröghet. Visar det sig omöjligt att komma fram med ett system med variabelt varvtal kan ett system som är kopplat till elnätet och som exporterar temporära övereffekter till elnätet vara erforderligt. Detta medför dock extra kostnader på elsidan, mätutrustning m m.

Vad beträffar varmvattenlager, solkollektorer m m, kan de komponenter som nu studeras för stora solvärmecentraler användas. Även beträffande värmeabsorption från havs- och sjövattnen finns numera förslag till komponenter som förväntas klara problemen med isbildning.

5. METOD ATT FÅ FRAM DATA

5.1 Vindkraftverk

Prestanda, säkerhetsavstånd m m för vindkraftverk av standardkonstruktion tas fram från Ref /3/. Kostnadsdata baseras på Ref /3/ och i viss mån Ref /4/ justerat för kommentarer som erhålls av den expertis som har bearbetat kostnadssidan på senare tid inom NEs vindkraftprogram för att korrigera för senare information. Ett uppdrag läggs ut på en industri som konstruerar stora vindkraftverk som skall värdera inverkan av ändrade regleringskrav på kostnaden. Även möjligheten att i övrigt använda standardkomponenter från elproducerande vindkraftverk värderas.

5.2 Värmepumpar

Data och riktpriiser insamlas från leverantörer och kompletteras med information från Studsviks data-program m m.

5.3 Solvärmecentraler, magasin m m

Beräkningarna baseras på erfarenheter från Studsviks studier i dessa frågor.

5.4 Korrelation mellan energi från vind och sol under olika år, årstider m m

Meteorologiska data och tillämpade prestandadata undersöks.

5.5 Kostnadsbesparing på elöverföringssystemet

De kostnadsbesparingar som elimineringen av elöverföringskapaciteten mellan vindkraftaggregatet och landets höga spänningssystem samt mellan det allmänna eldistributionssystemet och en stor värmepump medför undersöks i samråd med berörd expertis.

6. INSATSPLAN

	<u>Mantimmar</u>
Anskaffande av basdata för vindkraftverk. Bedömning av inverkan av konstruktiva förändringar	300*
Meteorologiska data och deras analys	50
Tillämpade beräkningar och optimeringar	250
Sammanställning av rapporter	<u>50</u>
Totalt	650

* Inklusivt 220 mantimmar för externa konsulter.

7. SLUTORD

Såsom framgår av kostnadsberäkningen i denna förstudie förefaller redan ett vindkraftverk som driver en central värmepump utgöra en ekonomiskt intressant metod att försörja bostadsområden i det svenska kustbandet med värme under förutsättning att de kostnadsdata för vindkraftverk som presenteras i NES lägesrapport ej överskrides med alltför stora belopp. Därför har vi lagt större vikt vid presentation av en projektplan för en utredning av denna variant om en brett upplagd parameterstudie än det vi har antytt i den ursprungliga ansökan. Därutöver lovar dock kombinationen med solvärmecentralen att ge ytterligare fördelar som kommer att utredas kvantitativt i den föreslagna studien.

I Ref /6/ och /7/, som vi har fått fram efter det att huvuddelen av arbetena med förstudien har genomförts, ges mer detaljerade uppgifter om kostnaderna för vindkraft och synpunkter på förläggningsen. I huvudsak stämmer uppgifterna med dem från Ref /3/ som vi har använt i denna förstudie. Därför föranleder dessa referenser ingen ändring i slutsatsen. Däremot borde det mera detaljerade materialet från dessa referenser användas vid den mera detaljerade analysen i de fortsatta arbetena.

REFERENSER

1. MARGEN P, ROSEEN R
"Kommunal energiförsörjning: Storskaliga solvärmesystem och deras anpassning till olika slags bebyggelse".
ELMIA-ENERGI 79, Jönköping, 19-22 mars 1979.
2. MARGEN P
"Sol/vindvärmecentral med årstidslagring av värme".
NE-ansökan dnr 78-2160, 1978-06-21.
3. "Vindenergi i Sverige. Resultatrapport juni 1977".
Nämnden för Energitransportforskning, NE 1977:2.
4. "Små vindkraftaggregat - teknik, ekonomi, marknad. Projektresultat".
Nämnden för Energitransportforskning. NE:1978:4.
5. MARGEN P et al
"Swedish central solar heating plant for 2000 dwellings".
Swedish Council for Building Research. Document D16:1978.
6. "Lokalisering av vindkraft".
Statens Vattenfallsverk, El- och värmeteknik, på uppdrag av Nämnden för Energitransportforskning. 1977.
7. KVICK T, KARLSTRÖM C
"Del I Sammanställning av vindstatistik för projektet Vindenergitransportforskning". Utgåva 2. Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut, Klimatbyrån, Norrköping, augusti 1977.

BILAGA 1.

Beräkningsexempel för en vindkraftdriven central
värmepump för ett bostadsområde med 1 000 hus

Tabell 1 visar ett beräkningsexempel för ett område med 1 000 hus. Erforderlig effekt för vindkraft-aggregatet är 1.7 MW(el). Prestanda och kostnader har erhållits genom att interpolera mellan värdena A för ett 1 MW-aggregat och värdena B för ett 4 MW-aggregat i Ref /3/, enligt formeln $A^{0.6} B^{0.4}$.

Prestanda har baserats på en medelvindhastighet av 7.5 m/s. Såsom framgår av Fig 6 är vindhastigheten vid ca 40% av den svenska kusten 7.5 m/s eller mer, varför det borde finnas många lämpliga förläggningsplatser som motsvarar dessa prestanda. Även en variationsberäkning för 6.5 m/s har genomförts.

Investeringskostnaden i kostnadsläget 1979 kan av flera anledningar förväntas vara högre än den som antages i Ref /3/ som utkom 1977. Dessa skäl är:

	Uppskattat värde-----
Prisökningar sedan 1977	+18%
Inverkan av möjlig optimism i Ref /3/	+25%
Sammanlagd inverkan: $1.18 \times 1.25 = 1.47$	<u>+47%</u>

Å andra sidan räknade man i Ref /3/ med en ränta på 10% per år och en livstid av 25 år motsvarande 11% per år kapitalkostnader plus 4% underhåll. Energikommissionen rekommenderade att man skulle räkna med endast 4% realränta och en reel öknings-takt i oljepriset av 2% per år. Med dessa värden och 25 års livslängd erhålls en ekvivalent annuitet av 5.1% per år, dvs knappt hälften av det värde som antogs i Ref /3/. Sålunda kan man förvänta sig att den ovan redovisade merkostnaden i investering mot-

verkas av den lägre realräntan, så att kostnaden per kWh framräknad i Ref /3/ kan förväntas gälla i dagens prisläge för den aktuella tillämpningen. För eleffekten 1.73 MW blir denna kostnad 23.9 öre per kWh(el). Med ett tillägg på 1.4% per år för underhåll (det kan inte bli lika rationellt som för en större serie vindkraftverk för elproduktion) blir den totala årskostnaden $5.1 + 1.4 = 6.5\%$, motsvarande $1.47 \times 6.5/11.4 = 0.84$ ggr kWh-priset i Ref /3/, dvs $0.84 \times 23.9 = \underline{20}$ öre/kWh(el). Observera då att detta värde representerar en mera försiktig uppskattning av investeringskostnaden än värdet enligt Ref /3/. Med den genomsnittliga värmefaktorn 5.0 bidrar vindkraftaggregatet med endast $20/5 = 4$ öre/kWh till värmeproduktionskostnaden, motsvarande 4.5 öre per kWh värme levererad till husen. Övriga kostnader redovisas i Tabell 2.

För så stora värmepumpar (nära 10 MW) bör investeringskostnaden kunna hållas till 600 kr/kW total värmeeffekt. Distributionsnätet till ett radhusområde borde med rör av nyare teknik kunna hållas vid ca 1 000 kr/kW.

Värmemagasinet dimensioneras för en låg maximal temperatur, -50°C , varigenom relativt billiga material och en tunn isolering kan användas. För ett $60\,000\text{ m}^3$ grävt lågtemperaturmagasin bör kostnaden kunna hållas till ca 70 kr/m^3 - ca 30 kr/m^3 för grävningen och dränage och 40 kr/m^3 för isolering och tätning.

Som synes blir den totala beräknade kostnaden för värmen levererad till husen 13.4 öre/kWh och investeringen ca 30 000 kr/hus. Detta bör bli konkurrenskraftigt med t ex elvärme eller egna pannor.

TABELL 1. Beräkningsexempel

1.	Antal hus	1 000
2.	Värmebehov per hus	15 000 kWh/år
3.	Värmebehov, totalt	15 000 MWh/år
4.	Förluster i distribution och värmelager	2 000 MWh/år
5.	Brutto energibehov	17 000 MWh/år
6.	Utgående varmvattentemperatur, värmepump	47°C
7.	Kondensortemperatur = 47 + 3 =	50°C
8.	Ingående kallvattentemperatur, värmepump (effektivt medelvärde under året)	Medel: 10°C Vinter: 5°C
9.	Evaporatortemperatur = 10 - 3 =	Medel: 7°C Vinter: 2°C
10.	Värmefaktor = $0.67(273+50)^{\circ}\text{C}/(50-7)^{\circ}\text{C} =$	Medel: 5.0 Vinter: 4.4
11.	Elbehov = (5)/(10) =	3 400 MWh _e /år
12.	Utnyttjningstid för värmebehovet	2 000 h/år
13.	Max värmeeffekt för distributionssystemet = (3)/(12) =	8.5 MW
14.	Median vindhastighet	7.5 m/s
15.	Utnyttjningstid för vindkraftverket	1 960 h/år
16.	Eleffektbehovet = (11)/(15) =	1.73 MW
17.	Energipriset för vindkraftverket enligt interpolation Ref /3/*	23.9 öre/kWh _e
18.	Korrektionsfaktor**	0.84
19.	Korrigerad vindenergi kostnad	
	a) öre/kWh(el)	20.0
	b) öre/kWh producerad värme, 20/5.0 =	4.0
	c) öre/kWh levererad värme, 4.0 x 17/15 =	<u>4.5</u>
20.	Dimensionerande effekt av värmepumpen vid värmefaktorn 5.6 sommartid, 1.73 x 5.6 =	9.7 MW _v
21.	Lagrad värmeenergi = 0.15 x 17 000 =	2 540 MWh/år
22.	Lagrets volym vid 45 kWh/m ³	56 000 m ³
23.	Lagrets kostnad å 70 kr/m ³ (låg isoleringstjocklek)	3.9 Mkr

* (se nästa sida)

Forts Tabell 1.

* Effekt och energi från Ref /3/ vid 7.5 m/s:

	Bas-	Bas-	Interpolerat
	projekt 2	projekt 3	(2) ^{0.6} (3) ^{0.4}
	∅ 50 m	∅ 100 m	
Generatoreffekt, MW	1	4	1.74
Utnyttjningstid, h/år	1 740	2 340	1 960
Energipris, öre/kWh	28.4	18.3	29.3
Energiutbyte, GWh/år	1.74	9.38	3.43

** Interpolation vid 6.5 m/s

För detta fall ger Ref /3/ lägre generatoreffekt (0.5 MW) för basalternativ 2, vilket torde vara lägre än optimalt. Om man ändå väljer dessa värden och interpolerar beträffande producerad elenergi erhålls följande värden:

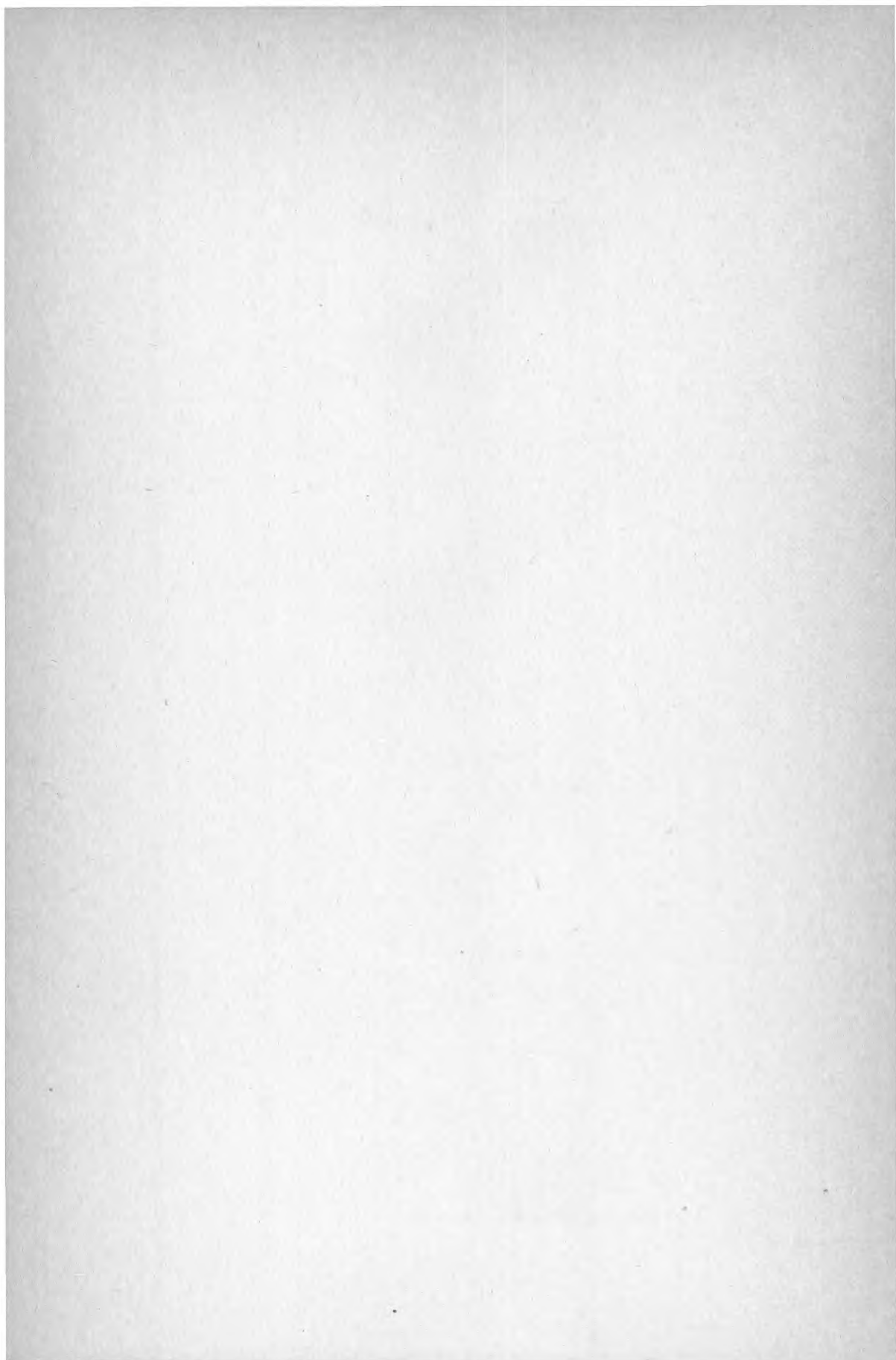
	Bas-	Bas-	Interpolerat
	projekt 2	projekt 3	(2) ^{0.4} (3) ^{0.6}
	∅ 50 m	∅ 100 m	
Generatoreffekt, MW	0.5	4.0	1.72
Utnyttjningstid, h/år	2 120	1 836	(ca 2 000)
Energipris, öre/kWh	47.3	23.3	30.9
Energiutbyte, GWh/år	1.06	7.34	3.43

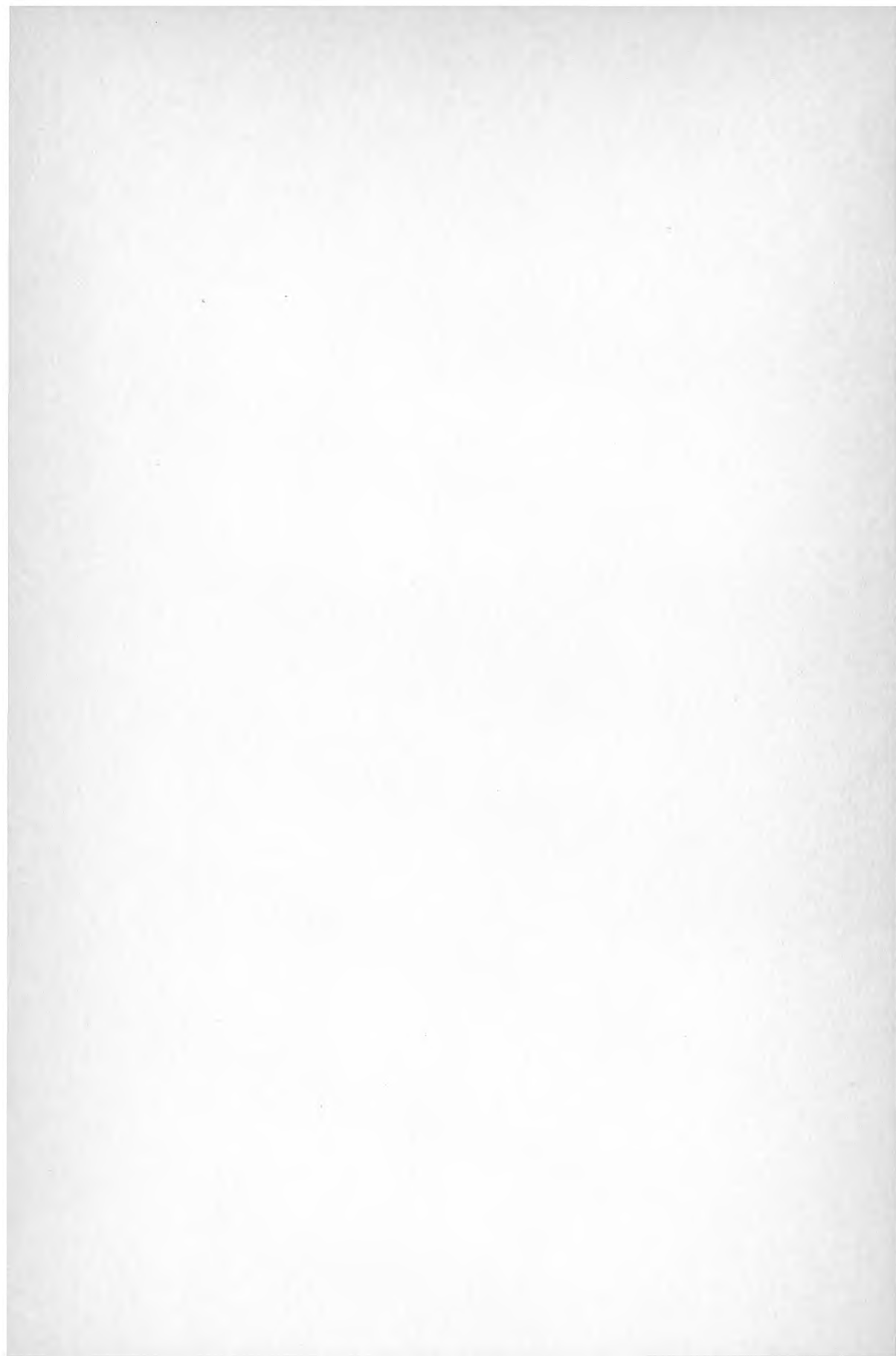
Energipriset 30.9 öre/kWh ligger 29% högre än priset vid 7.5 m/s. Sålunda ökar vindkraftaggregatets andel av kostnaden för värme levererad till konsumenten från 4.5 öre/kWh (Tabell 1, pkt 19c) till $1.29 \times 4.5 = 5.8$ öre/kWh. Ökningen är 1.3 öre/kWh eller ca 10% av den totala kostnaden, 13.4 öre/kWh.

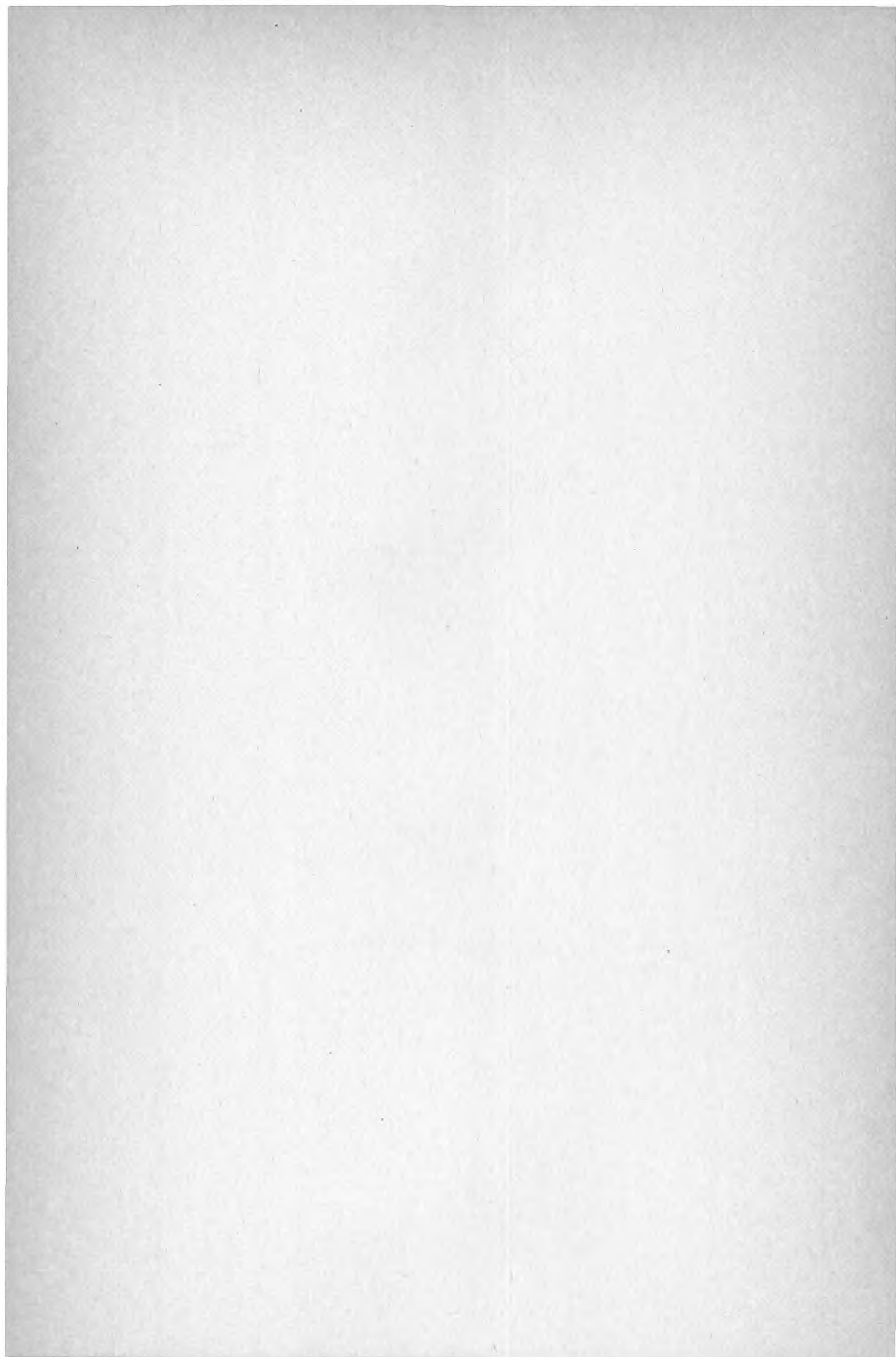
TABELL 2. Sammanfattning av kostnader

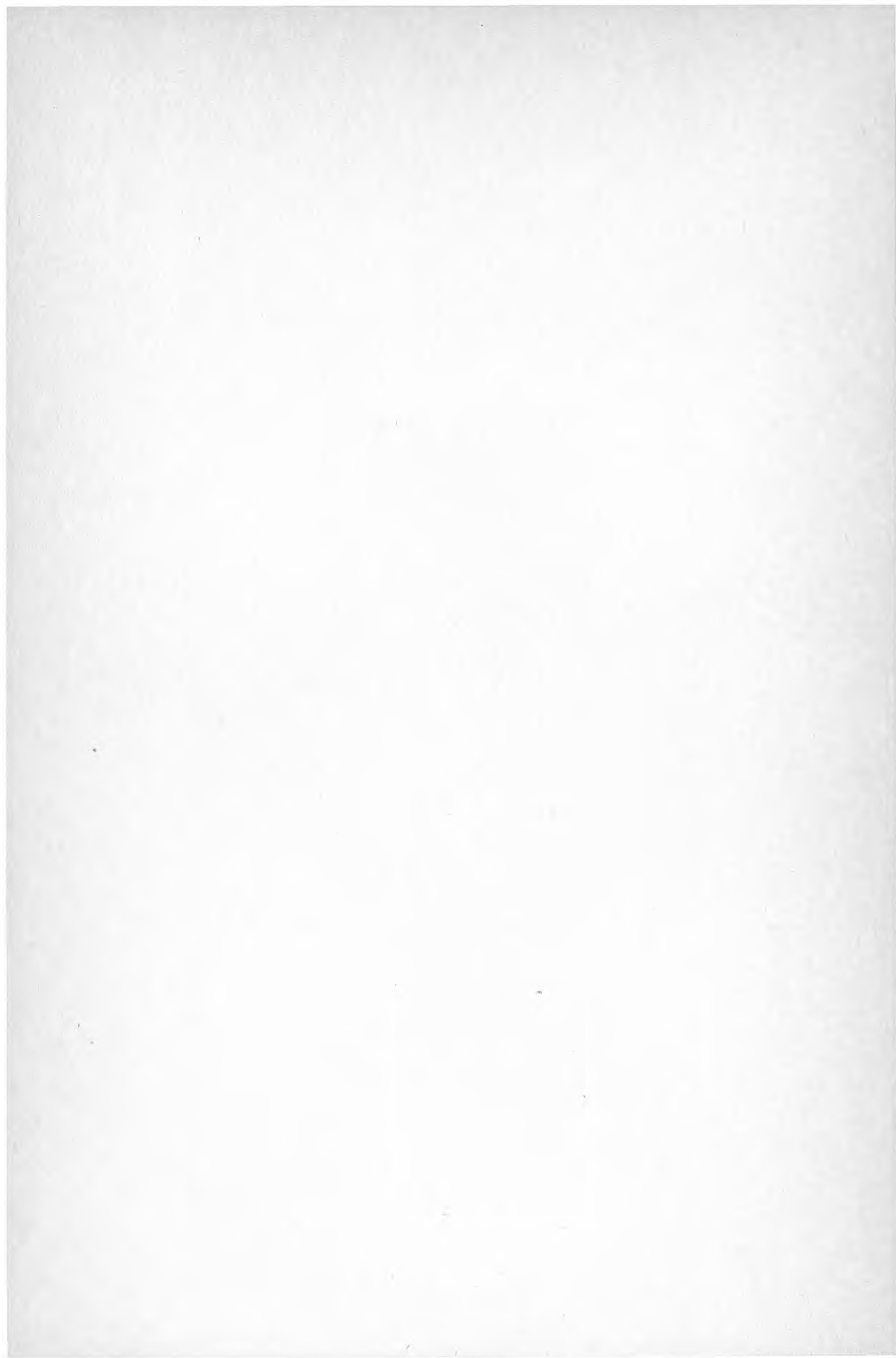
	Effekt	Investering	Kapital-	Underhåll	Totalt	Totalt	Totalt
		Specifik	kostnad	%/år	%/år	kkkr/år	öre/kWh*
	MW	Mkr	%/år	%/år	%/år		
Vindkraftverk	1.74	10.4	5.1	1.4	6.5	180	4.5
	$\frac{\text{kr}}{\text{kWh}}$						
	6 000						
Värmepump	9.7	5.8	5.1	1.4	6.5	375	2.5
Ledning från sjön	9.7	0.5	5.1	1.4	6.5	33	0.2
Värmedistribution	8.0	8.0	5.1	1.4	6.5	584	3.9
Värmelager		3.9	5.1	1.4	6.5	254	1.7
Reservcentral	2.0	0.4	5.1	1.4	6.5	26	0.2
Mark, pumpar, projektering		1.0	5.1	0.9	6.0	60	0.4
	8.0	30.0 =				2 012	13.4
		30 kkr					
		per hus					

* per kWh värme levererad till husen.









**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
790012-8 från Statens råd för byggnadsforskning
till Studsvik Energiteknik AB.**

R90: 1980

ISBN 91-540-3283-0

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6700190

**Abonnemangsgrupp:
W. Installationer**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 15 kr exkl moms