



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

R127:1984

**Konvertering av gruppcentraler
för produktion av både värme
och mekanisk energi till värme-
pumpar**

Jan Nordling



Bygghforskningsrådet

TEKNISKA HOGSKOLAN I LUND
SEKTIONEN FOR YXG- OCH VATTEN
BIBLIOTEKET

R127:1984

KONVERTERING AV GRUPPCENTRALER FÖR PRODUKTION
AV BÅDE VÄRME OCH MEKANISK ENERGI TILL VÄRME-
PUMPAR

Jan Nordling

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 830590-4
från Statens råd för byggnadsforskning till AF-Energi-
konsult, Stockholm

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

R127:1984

ISBN 91-540-4248-8
Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm
Liber Tryck Stockholm 1984

1. SAMMANFATTNING
2. INLEDNING
 - 2.1 Gruppcentraler och oljeersättning
 - 2.2 Konvertering av gruppcentraler för produktion av både värme och mekanisk energi till värmepumpar
3. TEKNISK EKONOMISK JÄMFÖRELSE
 - 3.1 Ekonomiska förutsättningar
 - 3.2 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump
 - 3.2.1 Förutsättningar
 - 3.2.2 Årskostnader
 - 3.3 Fastbränsleeldad hetvattencentral
 - 3.3.1 Förutsättningar
 - 3.3.2 Årskostnader
 - 3.4 Eldriven värmepump
 - 3.4.1 Förutsättningar
 - 3.4.2 Årskostnad
 - 3.5 Kostnadssammanställning
4. NUVÄRDESKALKYL
 - 4.1 Förutsättningar
 - 4.2 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump - fastbränsleeldad hetvattenpanna
 - 4.3 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump - eldriven värmepump
5. FORTSATT ARBETE

1. SAMMANFATTNING

I studien görs en översiktlig ekonomisk jämförelse mellan olika teknisksystem för täckande av baslast i ett värmebelastnings-system.

System med fastbränsleeldad ångpanna och turbindriven värmepump jämförs med fastbränsleeldade hetvattenpannor med och utan eldriven värmepump.

Jämförelsen görs på två sätt dels som en annuitetsberäkning som uttrycker ett totalt energipris för värmeenergin som funktion av det tillförda energipriset för el och fastbränsle.

I det andra fallet genomförs en nuvärdesberäkning som anger, förutom lönsamhet för det nya systemet en möjlig specifik inventeringskostnad för tillvaratagande av spillvärme som värmekälla till en värmepumpanläggning.

Beräkningarna genomförs med en kalkylränta av 4 %.

Med de använda förutsättningarna och idag rådande energiprisrelationer är det lönsammare att installera en turbindriven värmepumpanläggning jämfört med en eldriven dito. Detta gäller så länge fastbränslepriset är ca 10 öre/kWh lägre än elpriset.

Vid ett fastbränslepris som är mindre än ca 8 öre/kWh är det billigare att installera fastbränsleeldade hetvattencentraler istället för det nya systemet med turbindriven värmepump.

Med tanke på lönsamheten med det turbindrivna värmepumpsystemet är det lämpligt att en mer detaljerande studie genomförs i form av en förprojektering av en anläggning.

Genom att utnyttja datamodellen i SOL-85 borde potentialen av denna typ av teknisksystem kunna studeras. På detta vis kan systemets betydelse för den framtida energiförsörjningen simuleras.

2. INLEDNING

En alltför ensidig satsning på enbart hetvattenpannor vid fastbränsleeldning motverkar målet att underlätta kärnkraftavvecklingen. Detta beroende på att spillvärmeutnyttjande med eldrivna värmepumpar troligtvis blir olönsamt.

Konvertering till fastbränsleeldade ångpannor i kombination med ångturbindrift av värmepumpar medför att

- de energipolitiska målen om samtidig oljeersättning och förberedelse för mottrycksproduktion uppfylls
- vid höjda elpriser blir värmepumpen konkurrenskraftigare jämfört med motsvarande eldrivna dito.
- en god bränsleflexibilitet uppnås genom att vilket fastbränsle som helst kan användas
- värmepumpen arbetar mot en lägre temperatur (jämfört med en konventionell värmepump) beroende på seriekoppling av värmepumpens kondensator och turbinkondensator. Detta medför en högre värmefaktor och en bättre ekonomi
- stora startströmmar undviks med turbindrift vilket ställer lägre krav på elnätet
- en enklare reglering av pannan eftersom en ångpanna är bättre än en hetvattenpanna i detta avseende

Den tänkta installationen enligt figur 1 kan även förbättras genom att en motor/generator kopplas in mellan turbin och kompressor. Denna variant innebär en lägre investeringskostnad. Fördelen blir bl a att

- vid höga elpriser säljs värmeproducerad el
- vid låga elpriser köps el till värmepumpen
- värmeeffekt i turbin och kondensator blir oberoende av varandra.

Den största nackdelen med en ångpanna i kombination med en turbindriven värmepump är att om pannan faller ur stoppar även värmepumpen. Detta gäller dock inte om en motor/generator installeras.

2.1 Gruppcentraler och oljeersättning

Gruppcentraler kan definieras som en panncentral med en årlig oljeförbrukning som överstiger 100 m³.

Antalet gruppcentraler i landet beräknas till ca 6 000 st. Deras totala oljeförbrukning uppskattas till 2,2 Mm³/år motsvarande 10% av Sveriges totala oljeförbrukning. Fjärrvärme, militära installationer och industrin är dock undantagna. I tabellen nedan redovisas antal gruppcentraler på sektor och oljeförbrukning.

Sektor(Huvudmannskap)	Uppskattat antal gruppcentraler	Uppskattad oljeförbrukning m ³ /år	Medelförbrukning m ³ /år
Flerfamiljshus	3 000	1,1	330
Gruppbyggda småhus	500	0,1	200
Kommuner	2 000	0,5	250
Statliga sjukhus o dyl	500	0,5	1 000
Totalt	6 000	2,1	350

Prognoser över fjärrvärmeutbyggnaden under 80-talet visar att ca 50 % av alla gruppcentraler kommer att anslutas till fjärrvärme. Detta medför att ca 1 Mm³ eldningsolja kommer att förbrukas i de gruppcentralerna som kommer att finnas kvar i framtiden. Troligen blir den framtida förbrukningen 1,5 Mm³ p g a att enskilda panncentraler ansluts till befintliga gruppcentraler och att mindre enskilda panncentraler går samman till en gruppcentral. Ca 1 Mm³ av den återstående förbrukningen bör kunna ersättas med fasta bränslen och/eller värmepumpar. Dvs en avsevärd mängd olja antas komma att ersättas med alternativa energislag.

2.2 Konvertering av gruppcentraler för produktion av både värme och mekanisk energi till värmepumpar

Fastbränslekonvertering sker idag till största delen i form av fastbränsleeldade hetvattenpannor. Vad gäller värmepumpen är dessa nästan uteslutande installerade med elmotordrift. Detta är till nackdel när kärnkraftavvecklingen skall påbörjas p g a att

- Fastbränsleeldade hetvattenpannor inte kan användas för mottrycksproduktion.
- Värmepumparna måste eventuellt ställas av, när elpriset stiger och alternativet är då fastbränsle. Spillvärmekällan kan då inte längre utnyttjas.

Fastbränslekonvertering i gruppcentraler medför således att det blir svårt att ekonomiskt motivera utnyttjandet av spillvärme med eldrivna värmepumpar. Detta får till följd att tillvaratagande av spillvärme ersätts med kolimport eller inhemska fasta bränslen i konkurrens med massa- och pappersindustrin.

En tekniskt möjlig lösning kan vara att oljeeldade hetvattenpannor i gruppcentraler konverteras till fastbränsleeldade ångpannor med turbindrift. Turbinen kan då beroende på förutsättningarna få olika uppgifter

- Producera mekanisk energi till värmepumpen i gruppcentralen.
- Producera elenergi till befintligt stamnät.

Detta koncept visar på hur gruppcentraler kan konverteras för produktion av både värme och elenergi. En förenklad kostnadsjämförelse görs mellan följande energisystem för gruppcentraler med en maximal effekt av 7 MW

- * Fastbränsleeldad hetvattenpanna
- * Eldriven värmepump
- * Fastbränsleeldad ångpanna i kombination med ångturbindriven värmepump
- * Oljeeldad hetvattencentral

3. TEKNISK - EKONOMISK JÄMFÖRELSE

För att översiktligt kunna studera de tekniska och ekonomiska möjligheterna att utnyttja fastbränsleeldade ångpannor med ångturbin som drivkälla till värmepumpen används följande förutsättningar.

Energibehovet för värmesänkan åskådliggörs av belastningsdiagrammet nedan, fig 1, dvs ett max effektbehov av 7 MW och ett energibehov av ca 21 000 MWh.

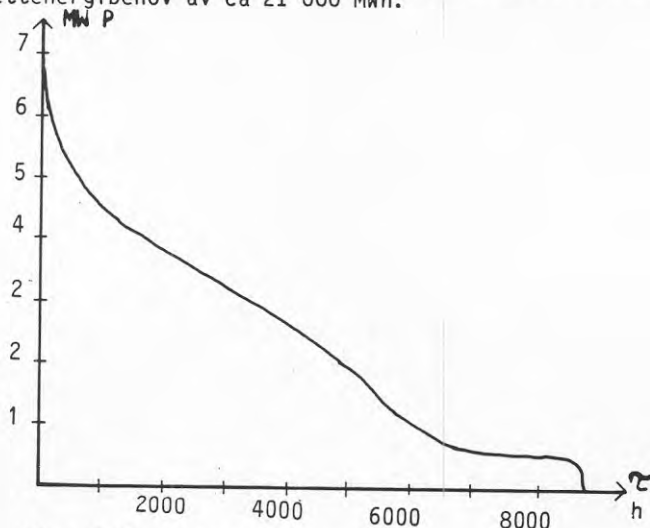


Fig: 1 Varaktighetskurva

Energibehovet som funktion av effekt vid olika effektbehov framgår av fig 2 nedan, där kan således utnyttjningstiden vid olika installerad effekt studeras.

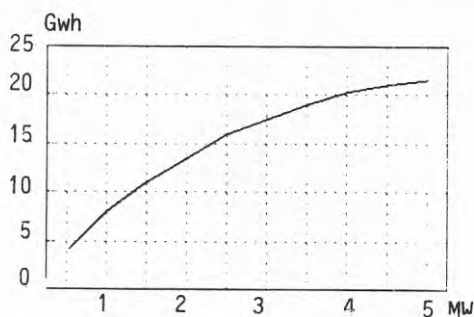


Fig: 2 Energibehov som funktion av effekt.

Samtliga alternativ "dimensioneras" för 2,5 MW. Detta medför, enligt föregående diagram, att energibehovet blir 15 800 MWh/år, dvs ca 75 % av energibehovet kan täckas med baslastutrustningen. De här studerade systemen ska således endast vara för baslasten i ett system. Vilket energislag som står för topplasten behandlas inte i denna studie. Beräkningarna görs dock per effektenhet så att betydelsen av dimensionerad effekt framgår.

Vid jämförelsen antas att baslastsystemen installeras i en befintlig oljeeldad gruppcentral.

Någon investeringskostnad för den befintliga oljeeldade enheten har således inte tagits med.

3.1 Ekonomiska förutsättningar

Kalkylerna genomförs med följande generella förutsättningar

Kalkylränta	4 %	} ⇒ annuitet 0,0899 %
Avskrivningstid	15 år	

Övriga förutsättningar anges under respektive alternativ.

3.2 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump

Detta system kan enklast åskådliggöras med följande schematiska skiss över en tänkt installation, fig 3.

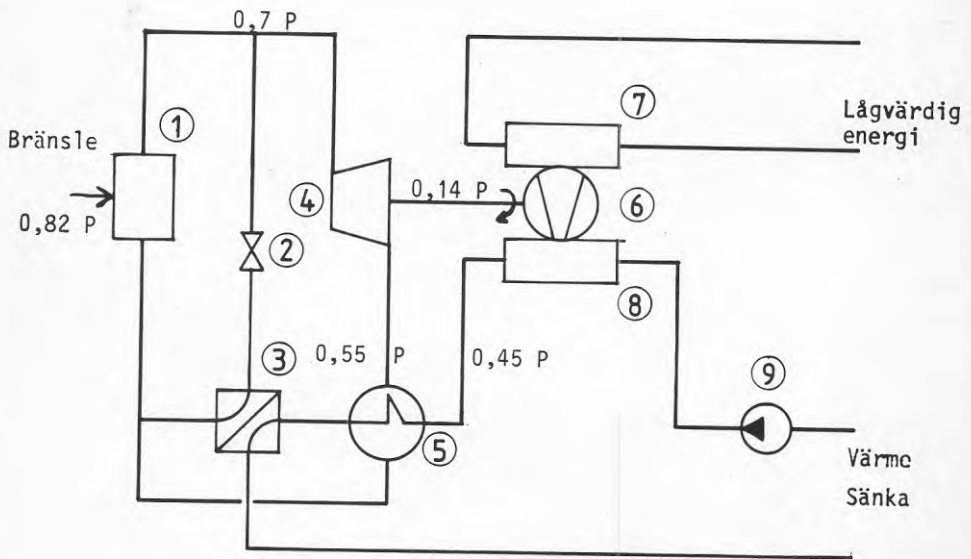


Fig: 3 Principskiss

Principkopplingsschema för ångturbindriven värmepump

1. Fastbränsleeldad ångpanna
2. Tryckreduceringsventil
3. Fjärrvärmekondensator
4. Ångturbin för värmepumpskompressor
5. Fjärrvärmekondensator
6. Värmepumpskompressor
7. Spillvärmeförångare
8. Värmepumpskondensator

Med normala data på värmepump (värmefaktor $\varnothing = 3$) och turbin blir effekterna från respektive enhet enligt skissen ovan. För att anläggningen ska avge P MW måste $0,82 \cdot P$ stoppas in i form av fastbränsle, inklusive 85 % årsmedelverkningsgrad.

3.2.1 Förutsättningar

Ångpanna

För drift av turbinen erfordras överhetad ånga av 30 bar och ca 400 C. Kostnaden för en komplett pannustrustning exklusive byggnad men inklusive panna, matarvattenpumpar, matarvattenbehandling, rökgasrening skorsten (30 m), elmontage, plattform och fastbränsleutrustning uppskattas i detta effektintervall till 2 000 kr/kW.

Turbin

För en turbin i denna storleksklass uppskattas kostnaden, inklusive kondensor, men utan generator, till 750 kkr.

Kostnaden för turbinen varierar inte med effekten i det avsedda effektintervallet.

Värmepump

För värmepumpen har vi räknat med en relativt hög specifik investeringskostnad eftersom vi inte har tagit ställning till vilken typ av värmekälla som utnyttjas. Kostnad exklusive elmotor 4 000 kr/kW

I detta pris ingår all erforderlig utrustning för inkoppling och samkörning med övrig utrustning.

Investeringskostnaden uttryckt i effektenhet utifrån anläggningen är således

Ångpanna	2 000 kr/kW
Turbin	750 kkr
Värmepump	4 000 kr/kW

vilket ger investeringskostnaden 8 750 kkr med effekten 2 500 kW.

Underhållskostnaden beräknas med följande procentsats på investeringskostnaden.

Ångpanna	2 %	på	investeringen
Turbin	2 %	"	"
Värmepump	3 %	"	"

Driftkostnaden beräknas med följande förutsättningar.

Årsmedelverkningsgrad	85 %
Bränslepris	FB (öre/kWh)

3.2.2 Årskostnader

För att en lämplig storlek på anläggningen ska kunna studeras görs beräkningarna per levererad energimängd i öre per kWh.

Ångpanna	2 000	. 0,7	. P = 1,4 P (kkr)
Turbin			750 "
Värmepump	4 000	. 0,45	. P = 1,8 P "

Fast energikostnad $(0,37 \cdot P + 82,4) \cdot \frac{10^5}{W}$ (öre/kWh)

Rörlig energikostnad $0,82 \cdot FB$ (öre/kWh)

Den fasta energikostnaden som funktion av avgiven effekt, i belastningsdiagrammet, som tidigare presenterats, framgår av figur 4 nedan.

Med en installerad effekt av 2,5 MW blir energikostnaderna följande:

Fast energikostnad		6,4 (öre/kWh)
Rörlig " "	0,82	. FB (öre/kWh)

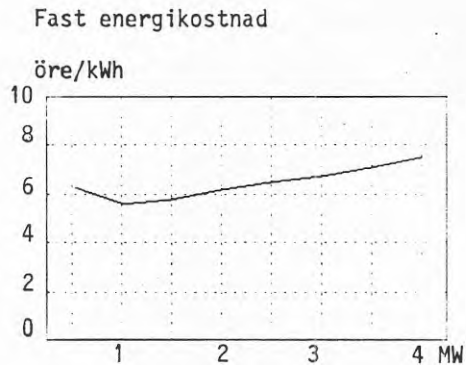


Fig: 4 Fast energikostnad som funktion av avgiven effekt

3.3 Fastbränsleeldad hetvattencentral

Detta alternativ kan åskådliggöras med följande skiss, figur 5.

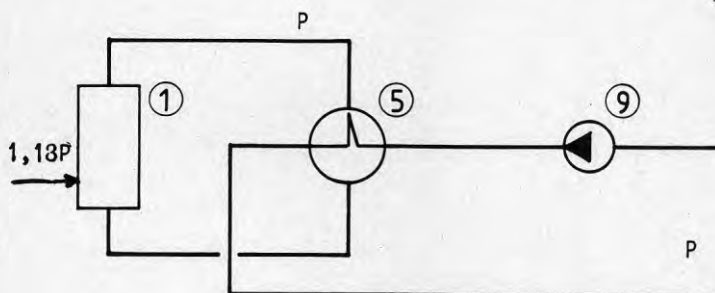


Fig: 5
Principschema för fastbränsleeldad hetvattencentral
(samma beteckning som i figur 3)

3.3.1 Förutsättningar

Investeringskostnaden för en komplett anläggning inklusive panna, kedjerost, styrsystem, mottagningsficka, lager m m, rökgasrening, askhantering, skorsten

uppskattas till 1 500 kr/kW exklusive byggnad.

Drift- och underhållskostnad beräknas som 2 % på investeringskostnaden.

Driftkostnaden beräknas med följande förutsättningar

Årsverkningsgrad 85 %
Bränslepris FB (öre/kWh)

3.3.2 Årskostnader

Investeringskostnad $1,5 \cdot P = 3\,750$ (kkr)

Fast energikostnad $0,165 \cdot P \frac{10^5}{W} = 2,6$ (öre/kWh)

Rörlig " $1,2 \cdot FB$ (öre/kWh)

3.4 Eldriven värmepump

En eldriven värmepump med samma förutsättningar som i alternativ 1 men inklusive elmotor och därmed erforderlig utrustning, figur 6. Kostnad 4 200 kr/kW.

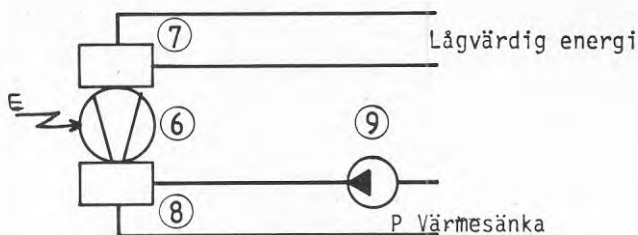


Fig. 6

Principskiss för eldriven värmepump
(samma beteckningar som figur 3)

3.4.1 Förutsättningar

Investeringskostnaden för en komplett anläggning inklusive all erforderlig utrustning för inkoppling och samkörning med övrig utrustning.

Även i detta fall har värmefaktorn uppskattats till 3.

Drift- och underhållskostnad beräknas som 2 % på investeringskostnaden.

Driftkostnaden beräknas med följande förutsättningar.

Elpris E (öre/kWh)

3.4.2 Årskostnad

Investeringskostnad 4,2 P (kkr)

Driftskostnad $\frac{E}{\varnothing} = \frac{E}{3}$ (öre/kWh)

Fast energikostnad $\frac{0,50 \cdot P \cdot 10^3}{W} = 8$ (öre/kWh)

Rörlig " $\frac{E}{3} =$ (öre/kWh)

3.5 Kostnadssammanställning

I tabellen nedan redovisas en sammanställning över de olika alternativens kostnader.

	Fast energi- kostnad öre/kWh	Rörlig energi- kostnad öre/kWh	Inv kkr	
Ångpanna Turbindriven värmepump	6,4	0,8 · FB	8 750	
Fastbr het- vattenpanna	2,6	1,2 · FB	3 750	
Eldriven värmepump	8	$\frac{1}{3}$ · E	10 500	
Befintlig oljepanna	OL	$\frac{OL}{0,83}$	-	

I diagrammet nedan framgår energikostnaden för respektive energisystem ut från anläggningen. Som tidigare påpekats utan hänsyn till topplast systemet.

Energipris från anläggningen som funktion om respektive energislags energipris visar i figur 7.

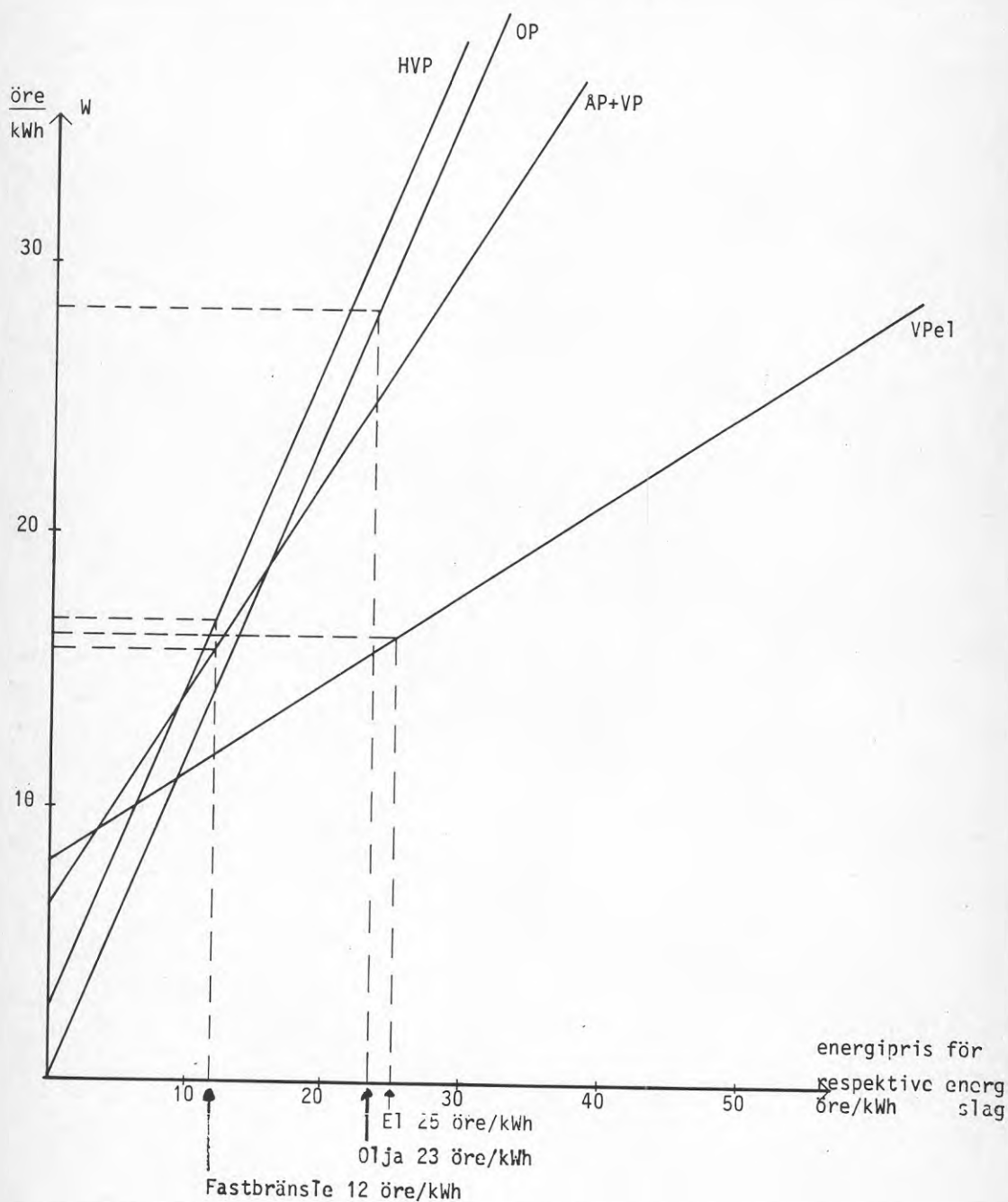


Fig: 7 Energipris från anläggningen som funktion av respektive energipris

Av diagrammet framgår att en anläggning med ångpanna och turbindriven värmepump alltid är billigare än motsvarande anläggning med fastbränsleeldad panna.

På samma sätt framgår att den turbindrivna värmepumpanläggningen är billigare än den eldrivna anläggningen om elpriset är ca 10 öre dyrare än fastbränslepriset.

4. NUVÄRDESKALKYL

För att ytterligare belysa lönsamheten genomförs även en beräkning med nuvärdesmetoden. I detta fall studeras endast en anläggning på 2 MW.

Jämförelserna görs mellan följande system:

Fastbränsleeldad ångpanna med direkt driven värmepump - (ÅP+VPÅ)
fastbränsleeldad hetvattenpanna (HVP).

Fastbränsleeldad ångpanna med direkt driven värmepump - (ÅP+VPÅ)
fastbränsleeldad hetvattenpanna och eldriven värmepump (HVP+EVP)

4.1 Förutsättningar

Fastbränslepris	450 kr/ton (60 kr/MWh)
Årsmedelverkningsgrad	90 %
Utnyttjningsgrad	5 000 h
Elpris	273 kr/MWh

Kalkylränta 4 %
Avskrivningstid 15 år

Övriga förutsättningar är samma som i den övriga delen av studien.

4.2 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump (ÅP+VPÅ)
fastbränsleeldad hetvattenpana (HVP).

<u>Effekt MW</u>	<u>ÅP+VPÅ</u>		<u>HVP</u>
Panneffekt	1,4		2,0
Värmepump	0,9		-
Spillvärme	0,6		-
Motor/turbineffekt	1,0		-
kondensor	1,1		
<u>Investering (kkkr)</u>			
Pannanläggning	2 800		3 000
Turbin	750		-
Värmepump(4 000 kr/kW)	3 600		-
S:a	<u>7 150</u>		<u>3 000</u>
Marginalinvest (kkkr)	4 150		
<u>Prod årsenergi GWh</u>			
	10,0		10,0
varav fast bränsle	7,0	1,4 · 5000	10,0
spillvärme	3,0		-
el	-		-
Bränslekostnad kkr	467		667
Bränslebesp kkr	200		
Nuvärde (15 år, 4%)	2 224		
Netto nuvärde (totalt) kkr 2 224 - 4 150 = <u>- 1 926 kkr</u>			

Slutsatsen blir således att systemet med ångpanna och turbindriven värmepump inte är lönsamt i jämförelse med en fastbränsleeldad hetvattencentral.

I de fall värmepumpen är avsedd för t ex spillvatten blir specifika investeringskostnaden lägre. 1 250 kr/kW vilket ger en investeringskostnad av 2 125 kkr. Marginalinvesteringen blir då 4 675 - 3 000 = 1 675 kkr.

Nettonuvärde 2 224 - 1 675 = 549 kkr.

Detta ger en möjlig specifik investering för spillvärmeomhändertagande av $\frac{549}{600} = 0,9$ kkr/kW

4.3 Fastbränsleeldad ångpanna med turbindriven värmepump (ÅP+VPÅ)
fastbränsleeldad hetvattenpanna (HVP+EVP).

<u>Effekt MW</u>	<u>ÅP+VPÅ</u>	<u>HVP+EVP</u>
Panneffekt	1,4	1,1
Värmepump	0,9	0,9
Spillvärme	0,6	0,6
Motor/turbineffekt	0,3	0,3

Investering (kk)

Pannanläggning	2 800	1 650
Turbin	750	-
Värmepump (4 000 kr/kW)	3 600	3 780
S:a	<u>7 150</u>	<u>5 430</u>

Marginalinvest (kk) 1 720

<u>Prod årsenergi GWh</u>	10,0	10,0
varav fast bränsle	7,0	5,5
spillvärme	3,0	3,0
el	-	1,5

Bränslekostnad fastbr	467	367
el	-	410
	<u>467</u>	<u>777</u>

Bränslebesp kkr 310
Nuvärde (15 år, 4%) 3 447

Netto nuvärde (totalt) kkr 3 447 - 1 720 = 1 727 kkr

Här blir möjlig specifik investering för spillvärme
 $\frac{1\ 727}{600} = 2,9$ kkr/kW, dvs det är sannolikt ekonomiskt

fördelaktigt med ett turbindrivet värmepumpsystem.

5. FORTSATT ARBETE

Med hänsyn till de ovan redovisade resultaten är det önskvärt med en utökad studie över lönsamheten i att komplettera gruppcentraler med ångpannor för drift av värmepumpar via turbiner.

En sådan studie bör utföras i form av en förprojektering så att problematiken kan studeras på ett mer ingående sätt. Speciellt gäller det kostnaderna för de olika ingående komponenter.

Genom att utnyttja datamodellen i SOL -85 borde potentialen av denna typ av teknisksystem kunna studeras. På detta vis kan systemets betydelse för den framtida energiförsörjningen simuleras.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag
830590-4 från Statens råd för byggnadsforskning
till ÅF-Energikonsult, Stockholm.**

R127: 1984

ISBN 91-540-4248-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6704127

**Abonnemangsgrupp:
Ingår ej i abonnemang**

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

Cirka pris: 25 kr exkl moms