



EESTI ERINEVATE PIIRKONDADE EELUURING KOOSTOOTMISJAAMADE EHTAMISEKS

Eimar Jõgisu

ÅF-Estivo AS

Tallinn 2006

ESTIVO

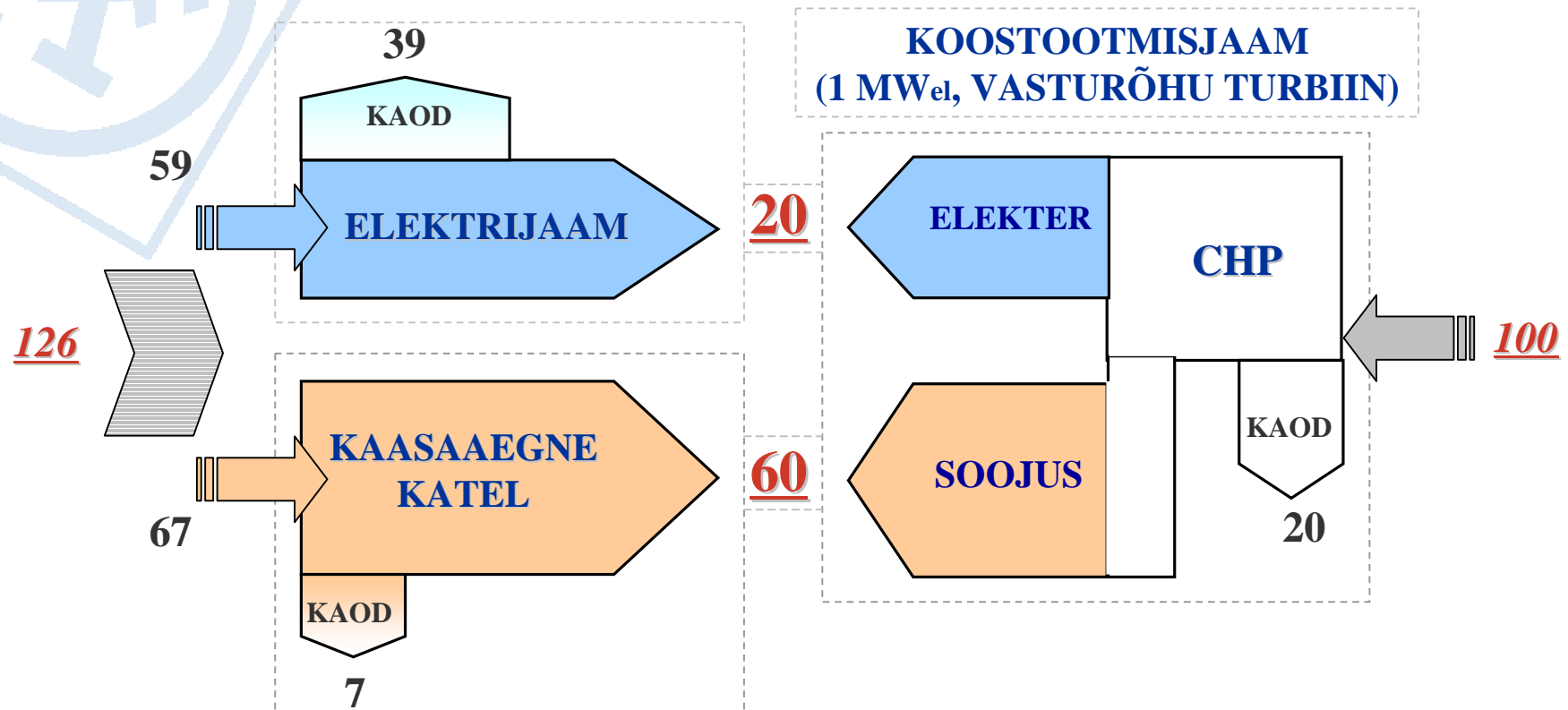
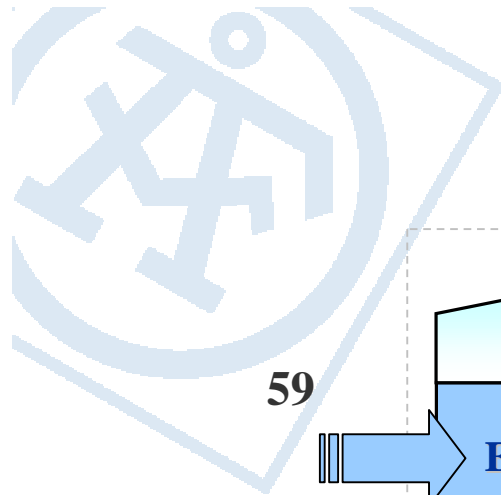
Meie oskused on teie edu

Innovation by experience



KOOSTOOTMISE EELISED

- Energia muundamise kõrgem kasutegur (15-40% kõrgem kui elektri ja soojuse tootmise puhul eraldi);
- Väiksem keskkonna saastamine, eriti CO₂, põhilise kasvuhoonegaasi osas;
- Kulude kokkuhoid, luues lisanduva konkurentsivõimaluse tööstuslikele ja äritarbijaile, ja pakkudes vastuvõetava hinnaga sooja kodutarbijaile;
- Elektritootmise detsentraliseerimine, mis vähendab ülekandekadusid ja suurendab süsteemi paindlikkust;
- Paraneb varustuskindlus - kohalik koostootmine vähendab riski, et tarbijad võiksid jääda ilma elektrita;
- Vähenev kütuse kulu vähendab riigi sõltuvust kütuste impordist;
- Suurendab tööhõivet, genereerib uusi töökohti, seda eriti maapiirkondades, kus tööhõivega on suurimad probleemid.



	Elektriline kasutegur	Soojuslik kasutegur	Kogu kasutegur	Kütuse suhteline kogus
Elektrijaam	34		34	59
Kaasaaegne katel		90	90	67
Koostootmisjaam	20	60	80	100



KOOSTOOTMISJAAMADE TEHNOLOOGIAD

Suur huvi biomassist elektritootmise vastu on turule toonud uusi soojuse ja elektri koostootmise tehnoloogiaid. Puidukütusel SEK jaamade tehnoloogiaid võib jagada kolme gruppi:

- Otsese põletamise tehnoloogia
- Gaasistamise tehnoloogia
- Tuleviku tehnoloogiad.



Otsene põletamine

Keevkihtkoldega katlad

- Kasutatakse tavaliselt katla soojuslikel võimsustel üle 10MW;
- Võimalik põletada laia valikuga (tüki suurus, niiskus, kütteväärtus) kütuseid;
- Lisaks puidule saab põletada ka turvast, tööstuslikke- ja olmejäätmeid;
- Kütuseid saab põletada nii eraldi kui segatuna omavahel.

Restkoldega katlad

- Võimaldavad põletada ka kõrge niiskusega (kuni 65%) kütuseid;
- Nõuded kütuse kvaliteedile on piiratud, vajavad täpsustamise enne katla projekteerimist;
- Kütuste segamisel (puit/turvas) on piirangud;

Katelde töötavaks keskkonnaks, mis paneb tööle elektri tootmisseadmed, on 2 võimalust: aur või termoõli + orgaaniline soojuskandja.

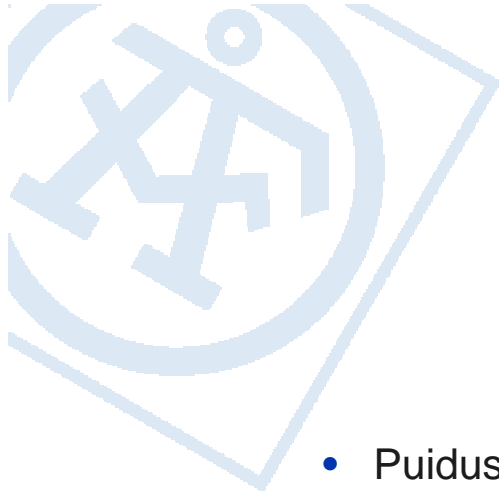




Otsene põletamine

Töötav tehnoloogia	Turuvalmis tehnoloogia	Piloot projektid	Katsetused
Auruturbiin 0.5 - ... MW	Stirling mootor 0.0005 – 0.1 MW	Kruvi- aurumasin 0.02 - 2 MW	
Aurumasin 0.2 – 2 MW	Kuuma õhu turbiin 0.4 - ... MW		
ORC seade 0.3 – 1.5 MW			





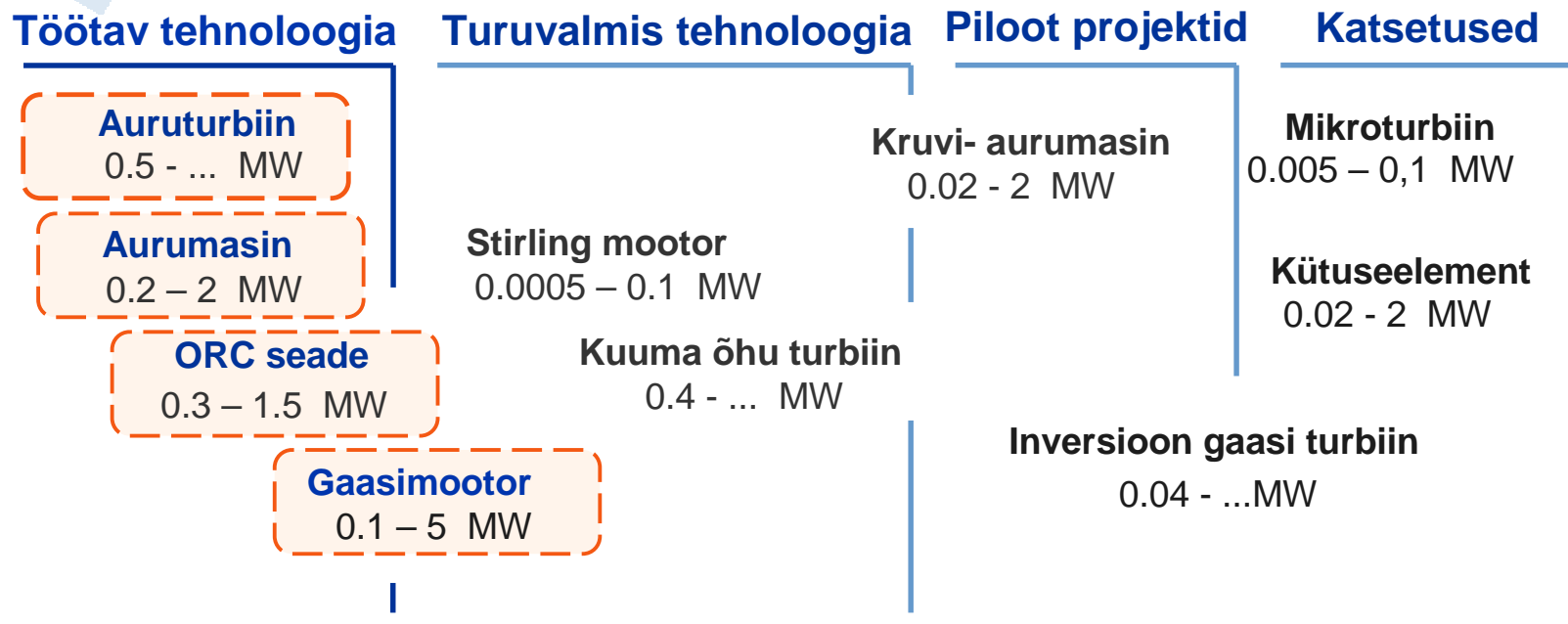
Gaasistamine

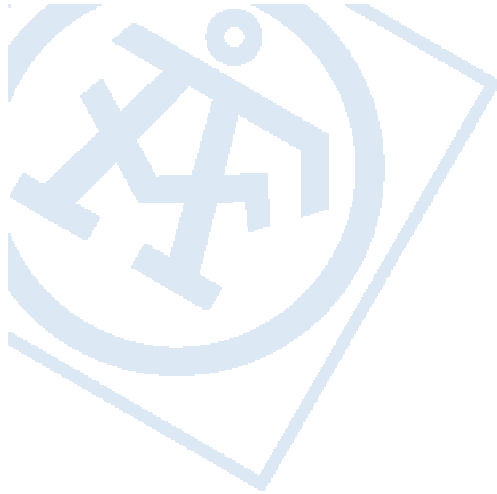
- Puidust gaasi tootmine on tuntud vähemalt 150 aastat. Gaasigeneraatorite masstootmine toimus II maailmasõja ajal, kus sõjatandril liikus üle 1 miljoni gaasimootoriga auto. Kuid see tehnoloogia soikus sama kiiresti kui sündiski. Soojuse ja elektri koostootmine taastuvaist biokütustest on andnud puidu gaasistamise uuringuile uut hoogu.
- Puidu energiast vabaneb kuni 85% gaasi kujul.
- Keevkiht gaasistajas toimub gaasistamine vähese õhu osavõtul, tulemuseks saadakse gaas, mille kütteväärtus läheneb maagaasile.
- Toodetud gaasi saab kasutada koostootmisel nii vahetult kütusena gaasiturbiinides ja gaasimootorites kui ka katlas auru tootmiseks.





Gaasistamine

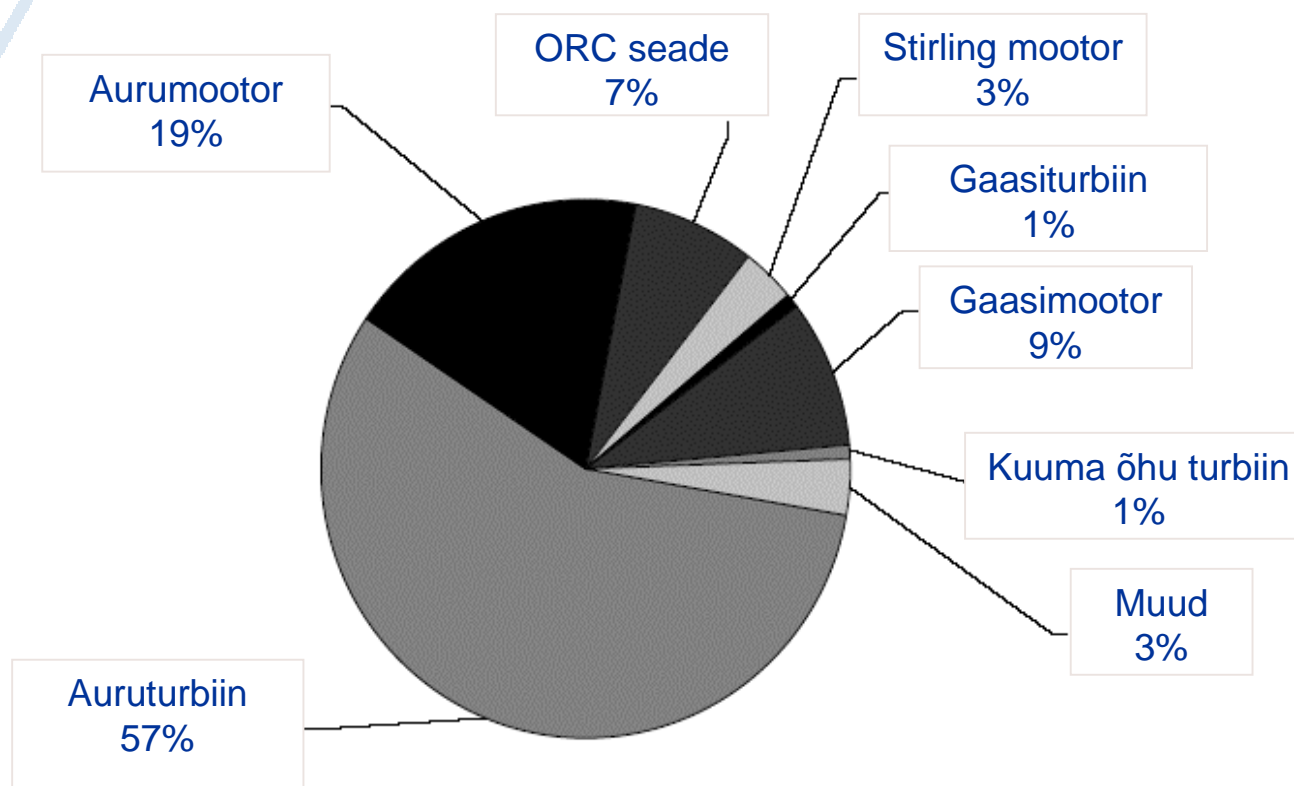




Vaadeldavad tehnoloogiad

- Auruturbiin;
- Aurumasin;
- Orgaanilise soojuskandjaga (ORC) seade;
- Gaasimootor.

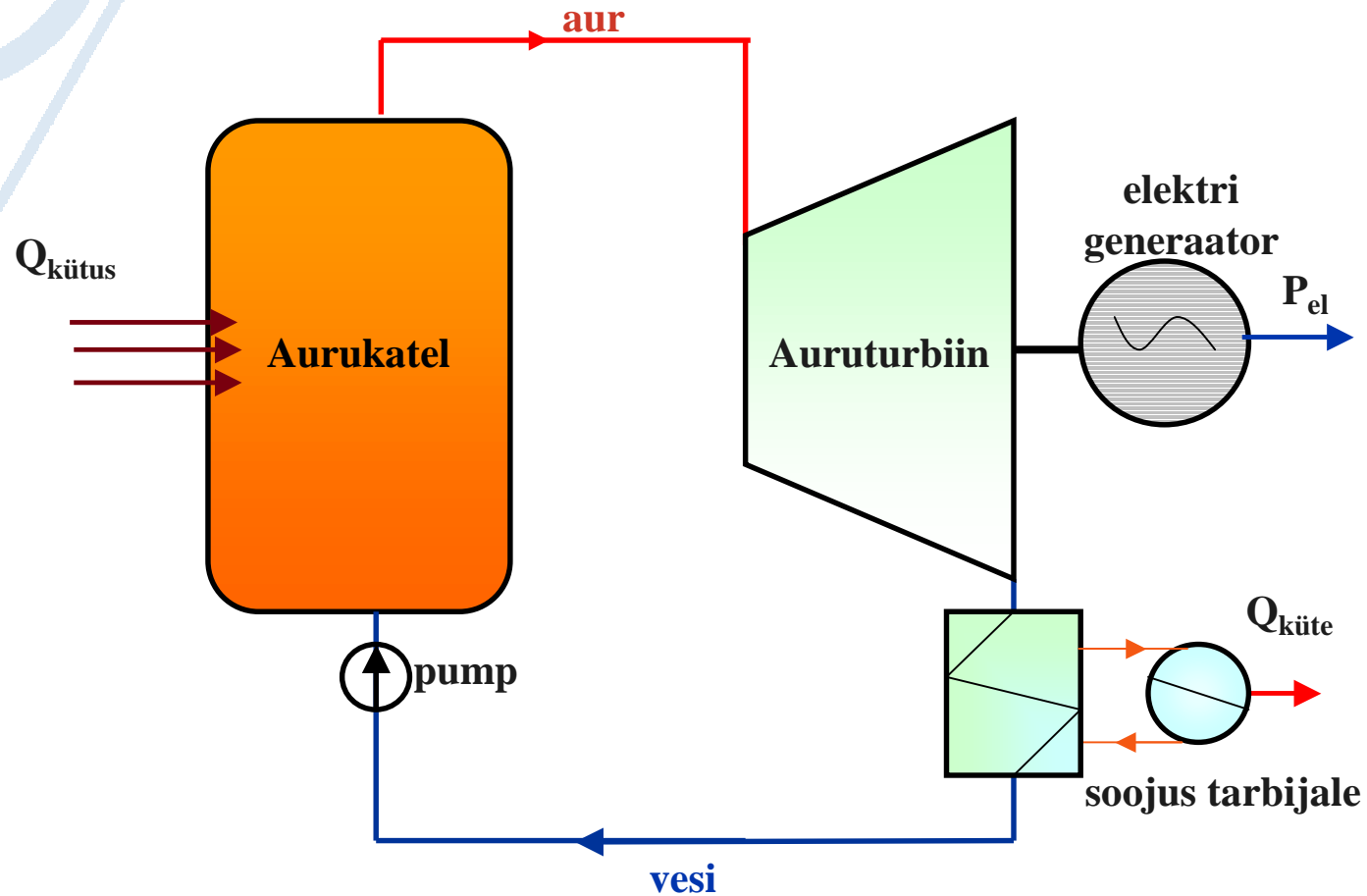




Koostoomisjaamades kasutatavad tehnoloogiad



AURUTURBIIN





Auruturbiin

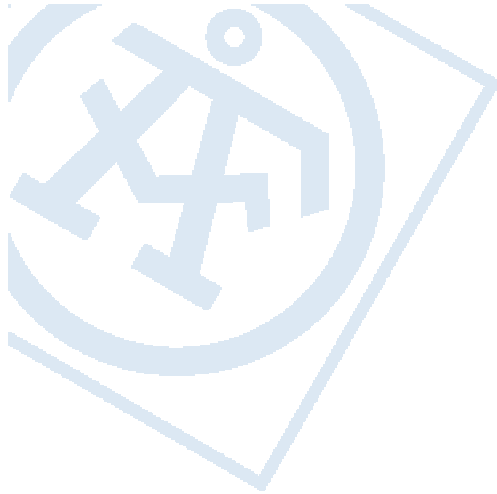
EELISED

- Kaua kasutusel, töökindlus on kõrge
- Erinevate võimsuste lai valik
- Koostootmisjaamade levinum tehnoloogia
- Enimsobivad suurtele ühtlastele koormustele

PUUDUSED

- Madalate koormuste halb taluvus
- Hoolduskulud on kõrged ja vajavad spetsialiste
- Vajalik toitevee hea ettevalmistus
- Väikesel võimsusel ~ 1 MW ja alla selle on madal elektriline kasutegur. Kõrgem kasutegur on seotud auru kõrgemate parameetritega, mida väikese tootlikkusega katlas ja niiske puidukütuse puhul on raske või ebaotstarbekas saavutada.
- Koostootmisjaama erimaksumus väikse võimsusega turbiini kasutamisel on kõrge





VÄIKESTE AURUTURBIINIDE TOOTJAJD

- Dresser Rand (Nadrowski, Coppus, Murray) ,*USA*
- TMS (Turbomaschinenservice GmbH), *Saksamaa*
- Shinko, *Jaapan*
- General Turbo S.A., *Rumeenia*
- Hangzhou Steam Turbine Co, *Hiina*
- Kaluga turbiinitehas, *Venemaa*



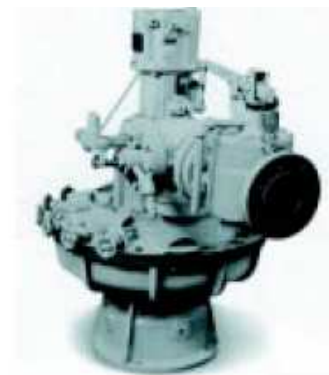


Dresser Rand
USA firma, toodab ka Euroopas



RLA-Horizontal

- Up to 1,000 HP (746 KW)
- Up to 4,000 RPM
- Inlet pressure to 670 PSIG (46.2)
- Inlet temperature to 825° F (440° C)



RLVA-Vertical

- Up to 1,000 HP (746 KW)
- Up to 4,000 RPM
- Inlet pressure to 670 psig (46.2)
- Inlet temperature to 825° F (440° C)

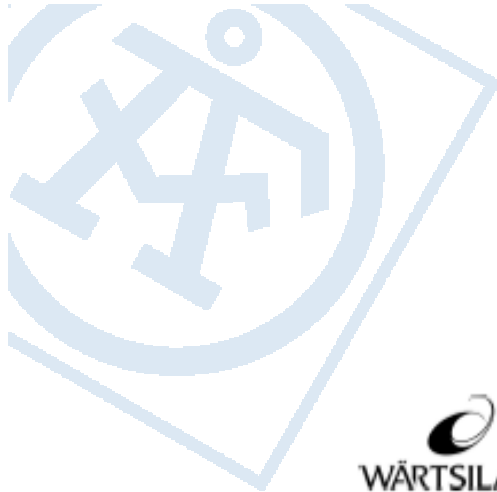
**Võimsusega 1-3 MW turbogeneraatorite hinnad on vahemikus 0,6 – 1,5 Milj.€/MWel
Hinnad sõltuvad auru parameetritest ja suuremas osas kompleksusest.**



Auruturbiinidega koostootmisjaamad

SEK	El. Võimsus MW	Soojuslik võimsus MW	Ehitatud	Hind	
				Milj.€	Milj.€/MWel
Reuthe Voralberg, Austria	1,3	6,3	1996	4,5	3,5
Enns, Austria	3	15	1984	7	2,3
Schijndel, Holland	1	2,5	1995	2,6	2,6
Hjordkaer, Taani	0,6	2,7	1997	2	3,3
Rudkobing, Taani	3	7,5	1990	8,7	2,9
Haslev, Taani	5	13	1989	13,7	2,7
Herning, Taani	5	10,8	1995	19,6	3,9
Kuhmo Soome, Soome	5	13	1992	12,3	2,5
Kuusamo, Soome	6	17,6	1998	25	4,2
Biopower Wärtsila, Soome	2,1	8,6	2006	8	3,8

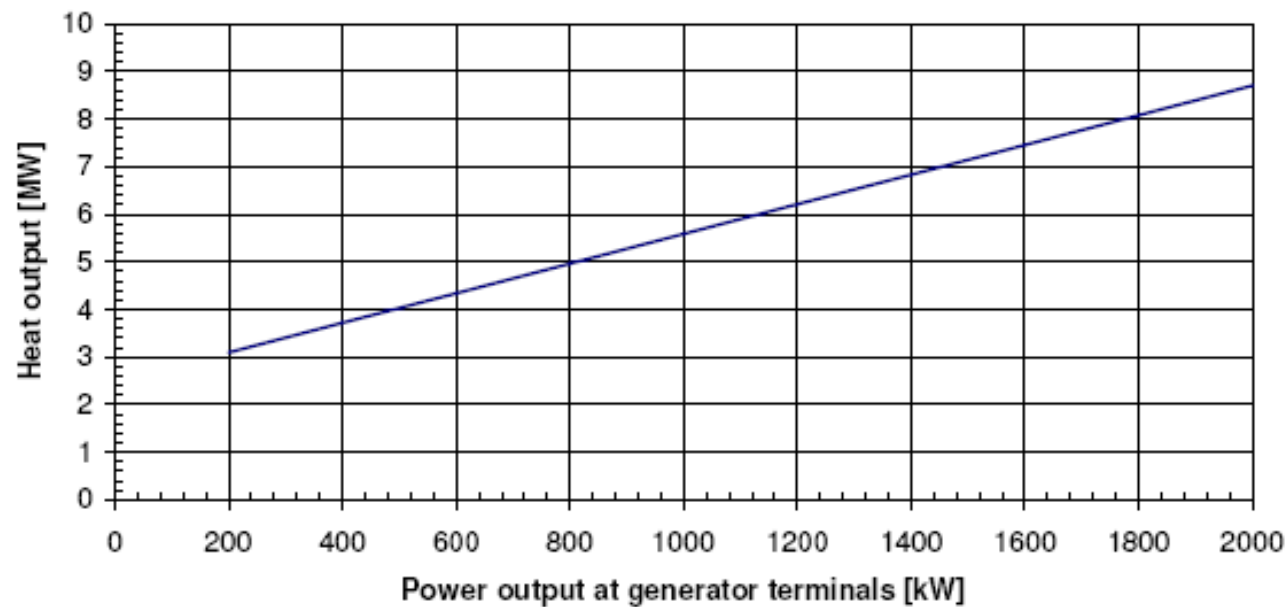




Näide: Wärtsilä Biopower 2 Elektri ja soojuse suhe



BioPower2-DH
Plant characteristics
13 t/h, 480 °C, 26 bara, T_{dh}=90/50 °C,





Kokkuvõtteks auruturbiinidega koostootmisjaamade kohta:

Maailma levinum ja töökindel SEK tehnoloogia.

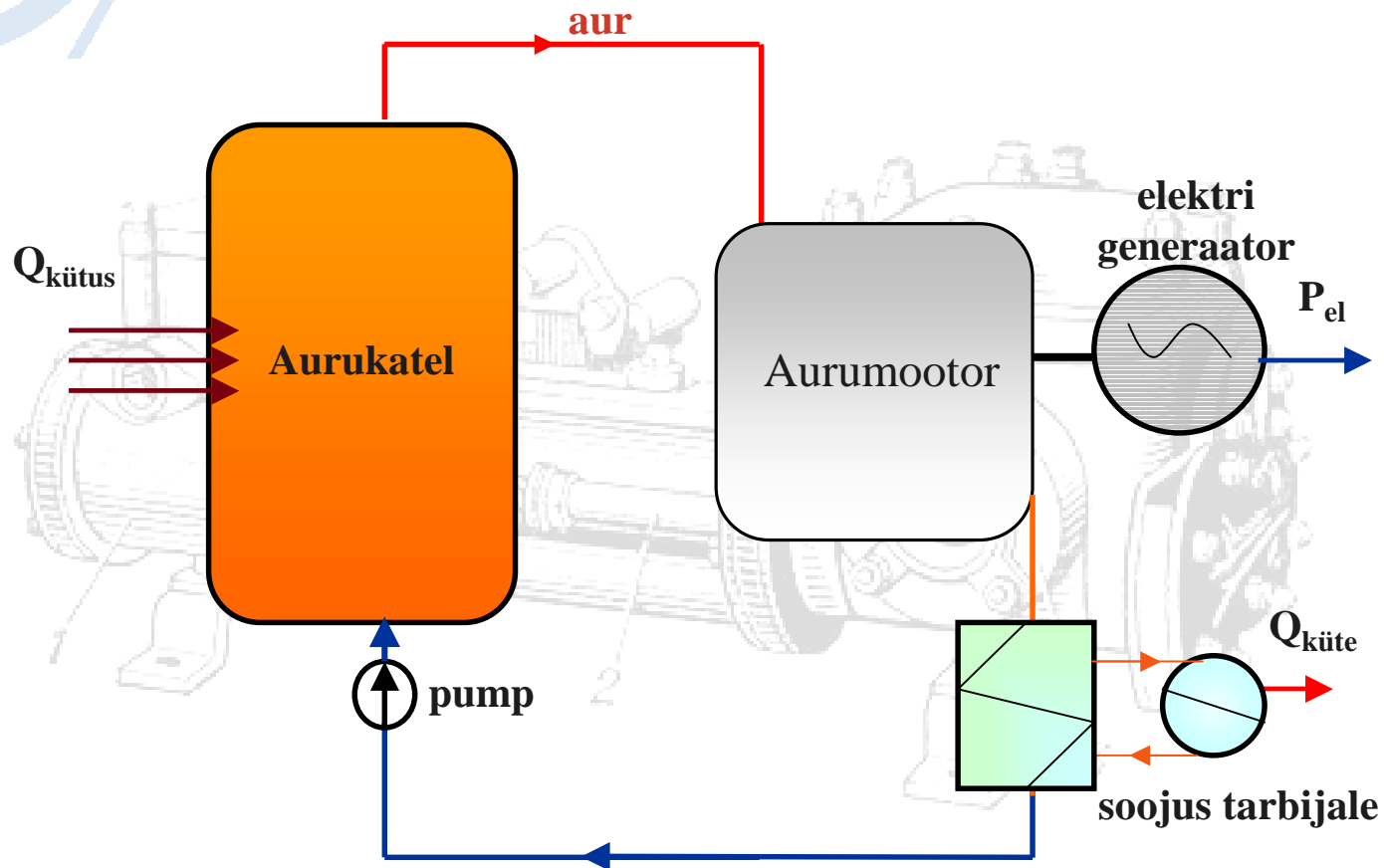
Tavaliselt auruturbiiniga koostootmisjaamade võimsus on alates 2 MW_{el}.

Võimsustel alla 2 MW_{el} suurenevad oluliselt ehituskulud ja langeb seadme elektriline kasutegur.

Väikse võimsusega auruturbiinide ja eriti energeetiliste aurukatelde tootjaid on vähe.



AURUMOOTOR





Aurumootor

EELISED

- Paindlik tööks madalatel koormustel. Elektriline kasutegur (osalisel koormustel) võrreldes auruturbiinidega on kõrgem
- Võrreldes auruturbiiniga on aurumootor vähem tundlik auru kvaliteedi suhtes. See annab võimaluse kasutada lihtsamat toitevee ettevalmistust
- Aurumootor võib töötada nii ülekuumendatud, küllastatud kui ka niiske auruga.

PUUDUSED

- Võrreldes turbiiniga on aurumootori hoolduskulud suuremad.
- Kõrge müra tase, vajab akustilist isolatsiooni.
- Õli sattumine kondensaati, ja sellega seotud täiendav veepuhastus; alates aastast 1999 on kasutusel õlivabad keraamiliste tööpindadega aurumootorid.
- Õlivabade aurumootorite konstruktsioon ei ole veel piisavalt töökindel
- Tootjate piiratud kogus.





AURUMOOTORITE TOOTJAD

- Spilling
- Ronator (uuring ja arendus)





Aurumootoritega koostootmisjaamad

SEK	El. Võimsus MW	Soojuslik võimsus MW	Ehitatud	Hind Milj.€	Erimaksumus Milj.€/MW
Harboore; Taani - Demo	2	2,8	1993	7,5	3,75
Kiuruvesi; Soome	0,9	8	1999	2,67	3
Karstula; Soome	1	10	2000		-

Aurumootor vahetatud auruturbiini vastu

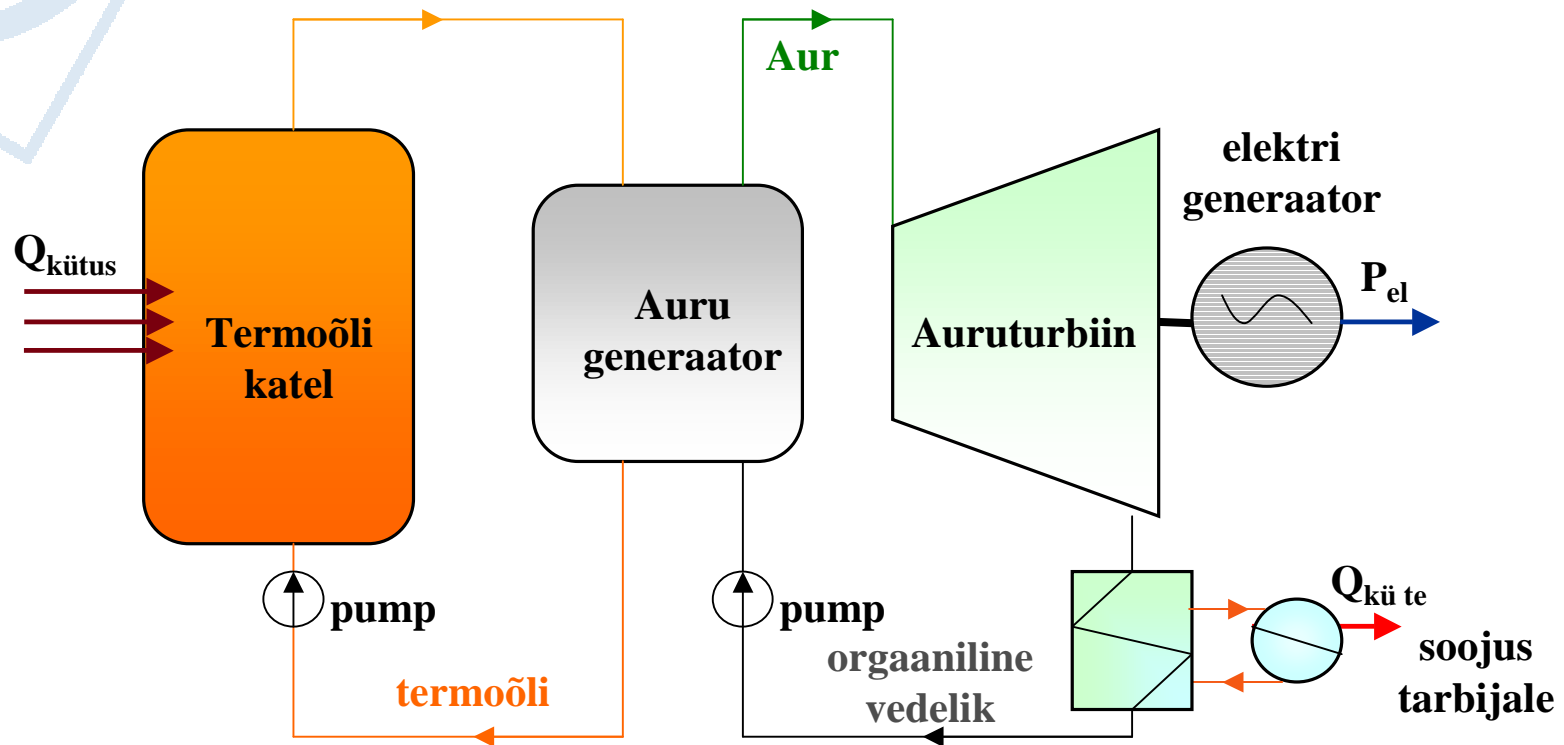
Kokkuvõtteks:

Õlivaba aurumootori kasutamine koostootmisjaamades alla 2 MWel on teoreetiliselt efektiivsem ja odavam kui sama võimsusega auruturbiinide kasutamine.

Antud hetkel õlivaba aurumootorite konstruktsioon ei ole veel piisavalt arenenud (madal töökindlus). Töökindla lahenduse olemasolul on aurumootori kasutamine koostootmisjaamas perspektiivne.

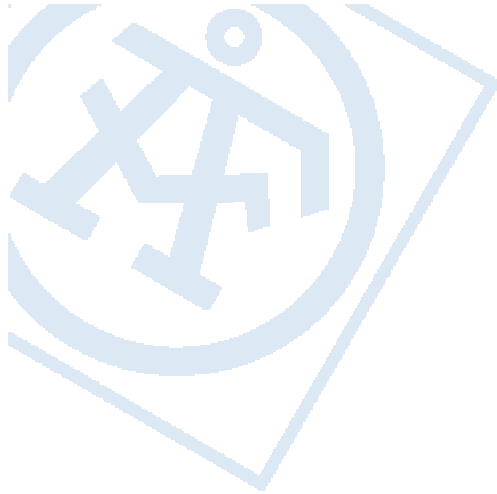


ORC tehnoloogia



Orgaaniline soojuskandja:

CFC ühendid, freon , isopentaan, Genetron 245fa, erinevad silikoonvedelikud.



Orgaanilise soojuskandjaga (ORC) tehnoloogia

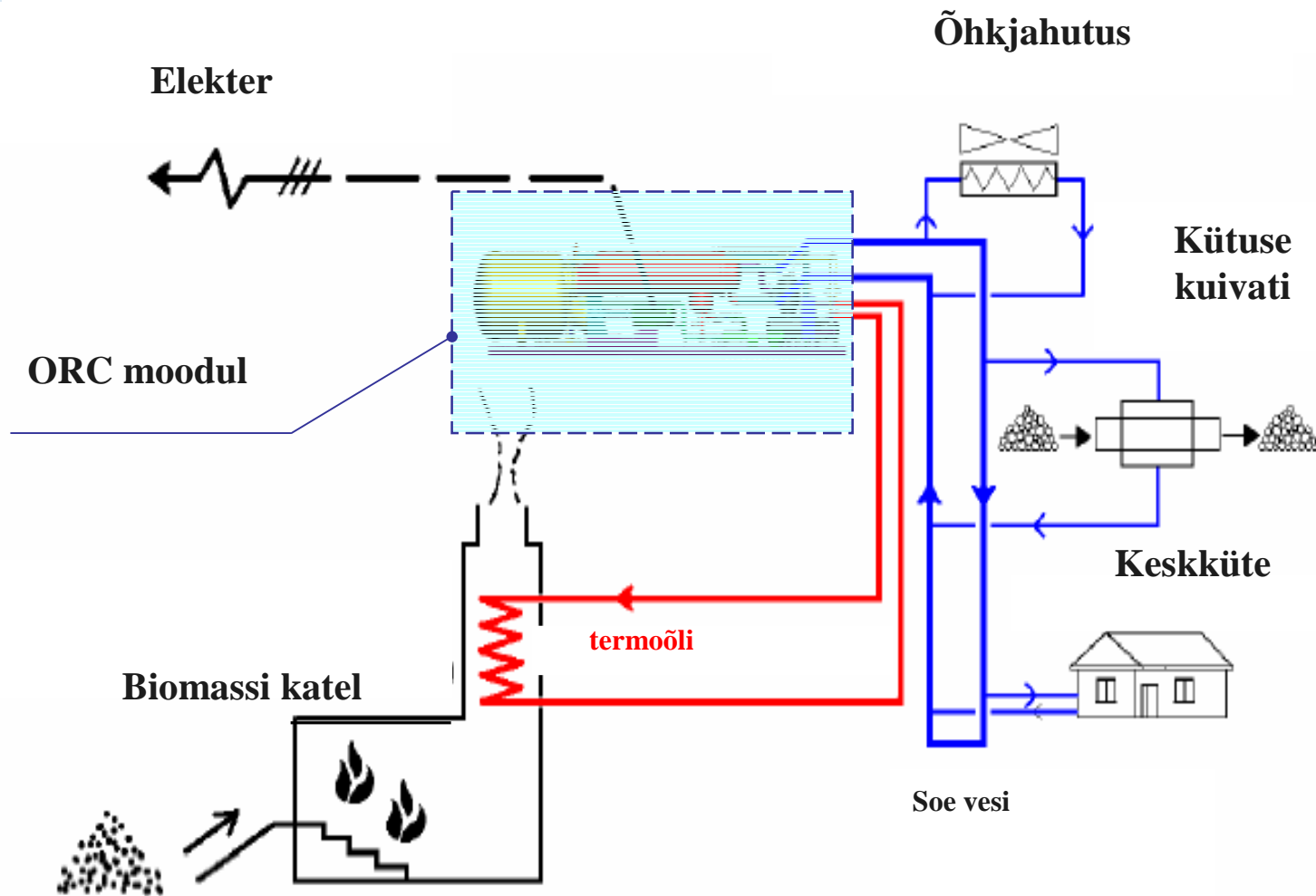
EELISED

- Termoõli töötab madalama rõhu ja temperatuuriga
- Võrreldes veeauruga orgaaniline vedelik pole korrodeeriv ja kulutab vähem turbiini
- Hoolduskulud on väiksemad kui auruseadme puhul
- Puudub vee ettevalmistus
- Lai koormusdiapasoon (10 - 100 %) ja kõrgem kasutegur töötamisel osalise koormusega

PUUDUSED

- On vajalik kallis termoõli tsükkel.
- Suhteliselt uus tehnoloogia, arendustöö jätkub.
- Suhteliselt suured investeeringut (madal konkurents, vähe tootjaid)
- Orgaaniline termoõli on kergelt süttiv

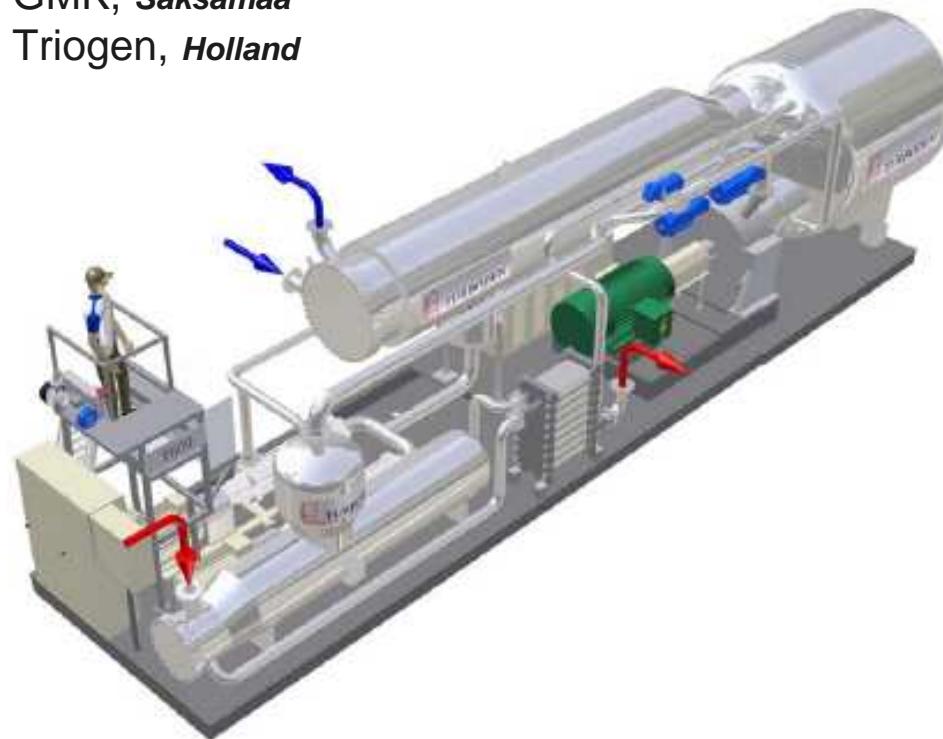


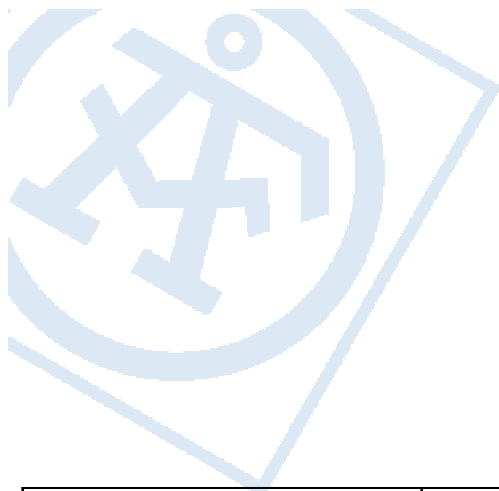




ORC MOODULITE TOOTJAD

- Turboden, *Itaalia*
- GMK, *Saksamaa*
- Triogen, *Holland*

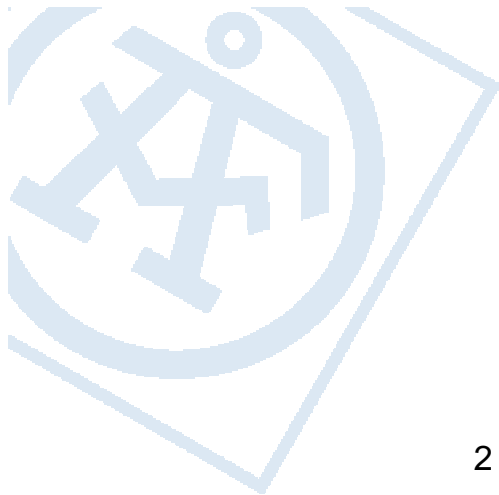




Turboden ORC moodulid

	T500-CHP	T600-CHP	T800-CHP	T1100-CHP	T1500-CHP	T2000-CHP
Termoõli nominaalne temperatuur	300 / 250 °C	300 / 250 °C	300 / 250 °C	300 / 250 °C	300 / 250 °C	300 / 250 °C
Soojusvõimsus termoõlist	2800 kW	3500 kW	4500 kW	6200 kW	9000 kW	12000 kW
Sooja vee temperatuur (sisse/välja)	60 / 80 °C	60 / 80 °C	60 / 80 °C	60 / 80 °C	60 / 90 °C	65 / 95 °C
Sooja veele ülekantav võimsus	2245 kW	2814 kW	3621 kW	4930 kW	7347 kW	9793 kW
Elektriline võimsus	500 kW	623 kW	800kW	1100 kW	1500 kW	2000 kW
Hind	0,94 Milj.€	0,99 Milj.€	1,116 Milj.€	1,280 Milj.€	,675 Milj.€	1,880 Milj.€
Erimaksumus	1,9 Milj.€/MWe	1,6 Milj.€/MWe	1,4 Milj.€/MWe	1,16 Milj.€/MWe	1,05 Milj.€/MWe	0,94Milj.€/MWe

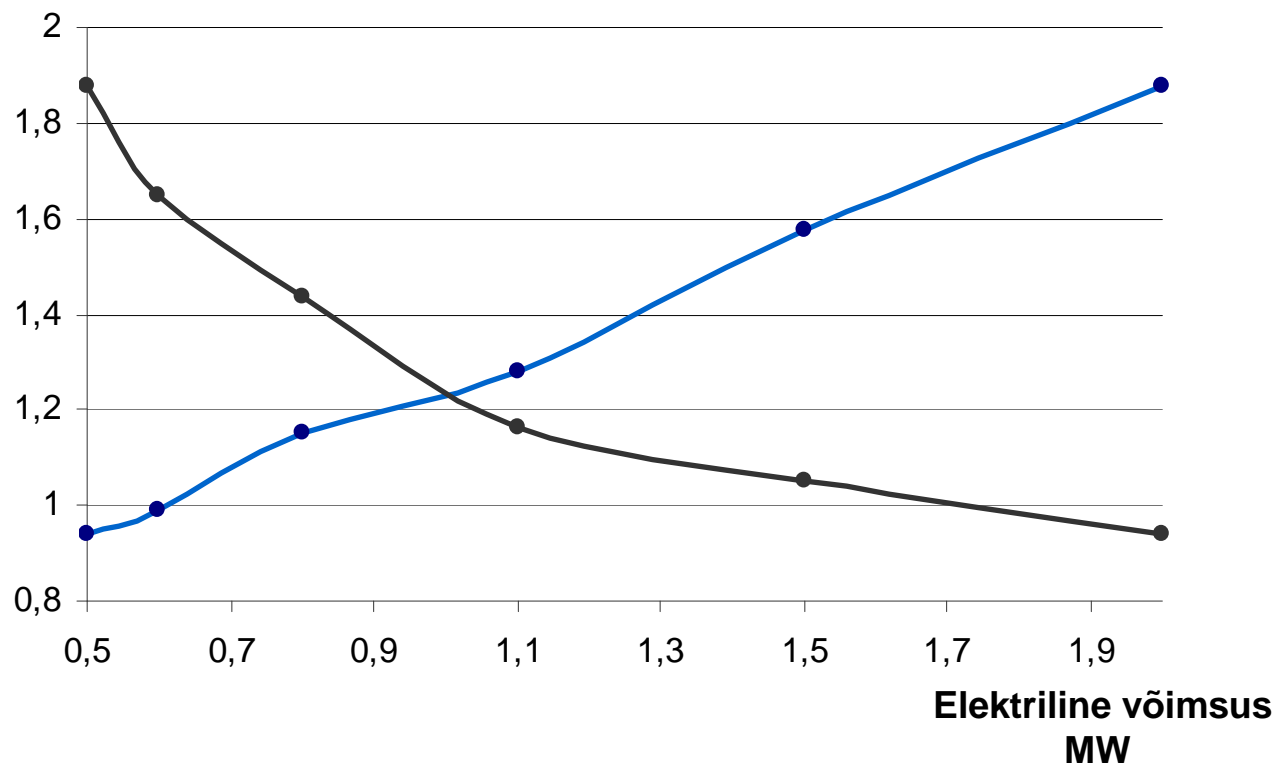
ORC mooduli maksumus on ca 25% koostootmisjaama maksumusest



ORC moodulite elektrilise ühiku maksumus sõltuvalt mooduli võimsusest

Hind
Milj.€/MWel

Ühikhind
Milj.€/MWel





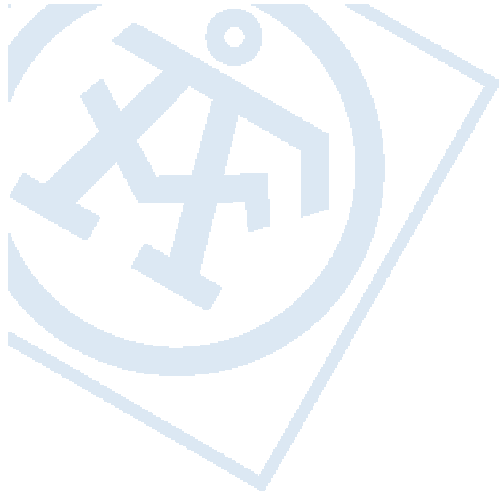
Töötavad ORC koostootmisjaamad

Euroopas töötab üle 50 ORC moodulit, neist 39 Turboden.

SEK	El. Võimsus MW	Soojuslik võimsus MW	Ehitatud	Hind Milj.€	Ühik hind Milj.€/MW
ORC Power Plant(demo)	0,6	3,7	2005	2,5	4,2
Vorarlberg(Austria)	1,1	6,2	2002	6,14	5,6
Lienz(Austria, demo)	1	6,5 + 7,5(veekatel)	2001	7,7	7,7
Admont(Austria, demo)	0,4	2,25+ 4(veekatel)	1998	3,2	8

Märkus:1)(Allikas: Bioenergy2005, International Bioenergy in Wood Industry Conference and Exhibition.
12-15 September 2005. Jyväskylä, Finland)





EESTI ERINEVATE PIIRKONDADE EELUURING
KOOSTOOTMISJAAMADE EHTAMISEKS

KOOSTOOTMISJAAMADE TEHNOLOOGIAD
ORGAANILISE SOOJUSKANDJAGA (ORC)
TEHNOLOOGIA

Kokkuvõtteks:

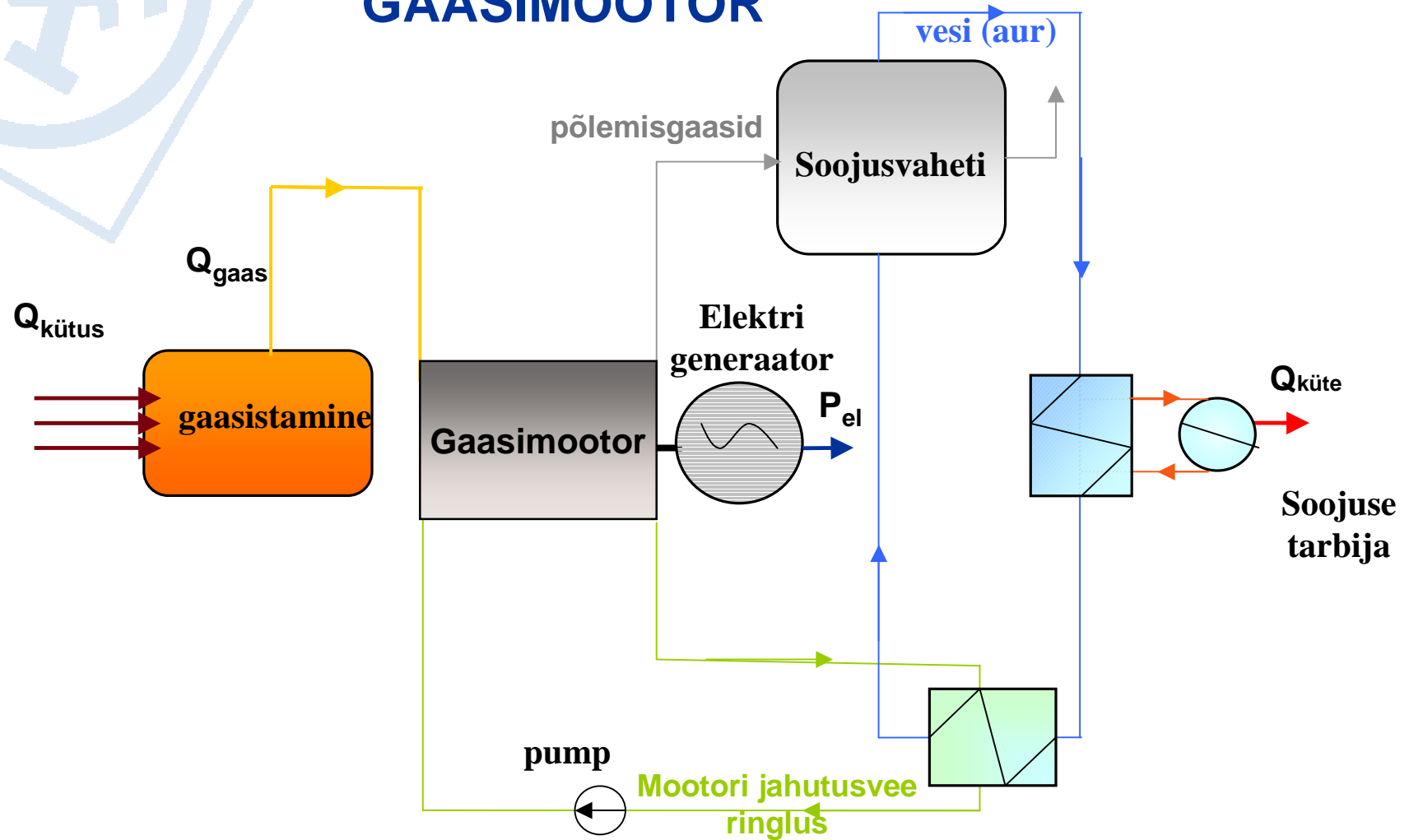
ORC tehnoloogia teoreetilised eelised võrreldes veeauru tsükliga ja moodulite töökindlus on võimaldanud, et praegu töötab maailmas üle 50 ORC mooduli.

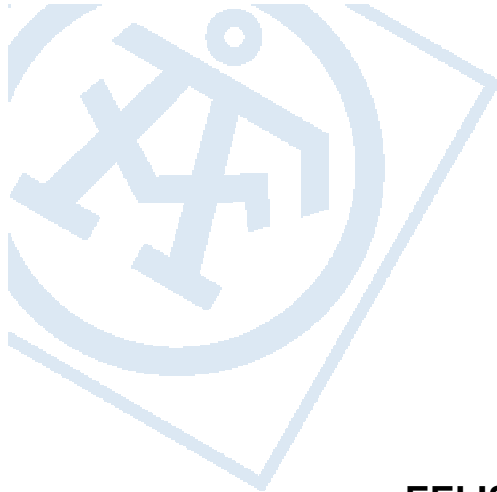
ORC koostootmisjaamade ehitamine on esialgu kallim võrreldes auruturbiinidega koostootmisjaamadega.

ORC tehnoloogia on arenev ja järjest rohkem kasutatav koostootmise tehnoloogia



GAASIMOOTOR





Gaasimootor

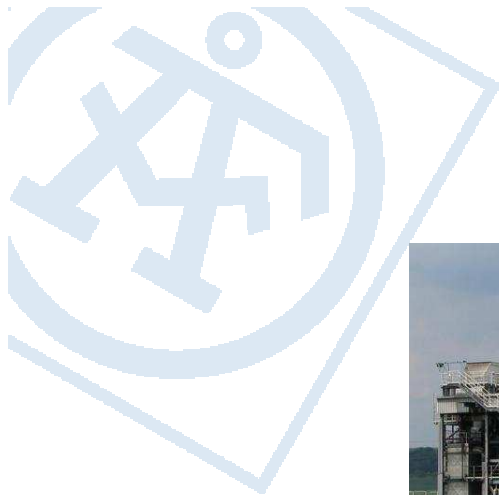
EELISED

- Gaasimootori kogu kasutegur on üle 85%
- Kõrge elektriline kasutegur (30 – 45 %)
- Suhteliselt väike gaasimootori hind
- Tehnoloogia on kaua kasutusel

PUUDUSED

- Kõrge müratase
- Gaasimootorite eluiga sõltub otseselt gaasi kvaliteedist
- Iseloomulik silindrite, rõngaste, kepsu- ja raamlaagrite kulumine
- Efektivse generaatorgaasi puhastustehnoloogiate ebapiisav areng
- Puhastusseadmete kõrge hind





EESTI ERINEVATE PIIRKONDADE EELUURING
KOOSTOOTMISJAAMADE EHITAMISEKS

KOOSTOOTMISJAAMADE TEHNOLOOGIAD
GAASIMOOTORID



Güssing

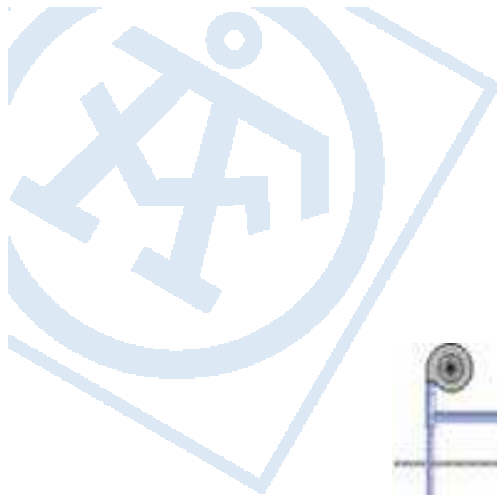


Harboere

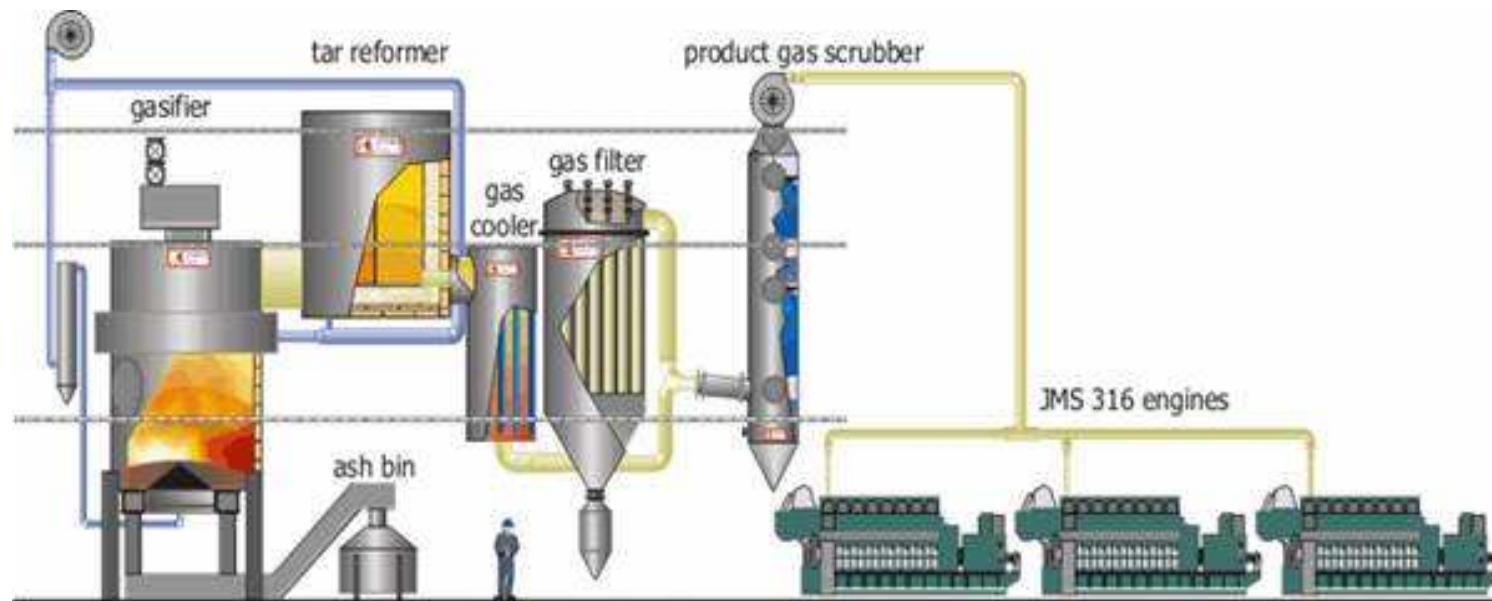
SEK	El. Võimsus	Soojuslik võimsus	Käiku lastud	Hind	Ühikmaksumus
	Mwe	MWs		Milj.€	Milj.€/MW
Güssing(Austria, Pilot)	2	4,5	2001	10,7	5,35
Harboere(Taani)	1,52	2,8	2000	5,1	3,35
Kokemäki(Soome)	1,8	3,5	2005	6	3,3

Teised pilootprojektid: Boizenburg, Choren (Freiberg), Blauer Turm (Herten), UMSICHT (Oberhausen)...





Condens OY Korkemäki SEK skeem Jenbacher gaasimootorid



Kütuse võimsus	Kütuse kuivati võimsus	Kütte võimsus	Elektriline võimsus	Hind	
kW	kW	kW _{soojus}	kW _{el}	MEURO	MEURO/MW _{el}
6200	429	3100	1836	6	3,3

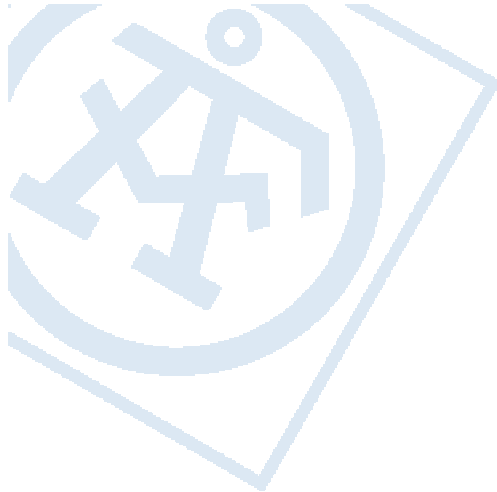


Kokkuvõtteks:

Euroopas töötavad erinevad gasifikaatorite ja gaasimootorite kombinatsioonid. Samal ajal puuduvad turul töökindlad tehnoloogiad ja lahendused, mis oleksid laialt kasutusel ja oleksid müüdnud suurtes kogustes.

Gasifikaatorite suuremaks probleemiks on gaasi puhastusseadmed. Tema täiuslikkus, stabiilne ja efektiivne töö määrab gaasi kvaliteedi, mis omakorda otseselt mõjutab gaasimootori eluiga.

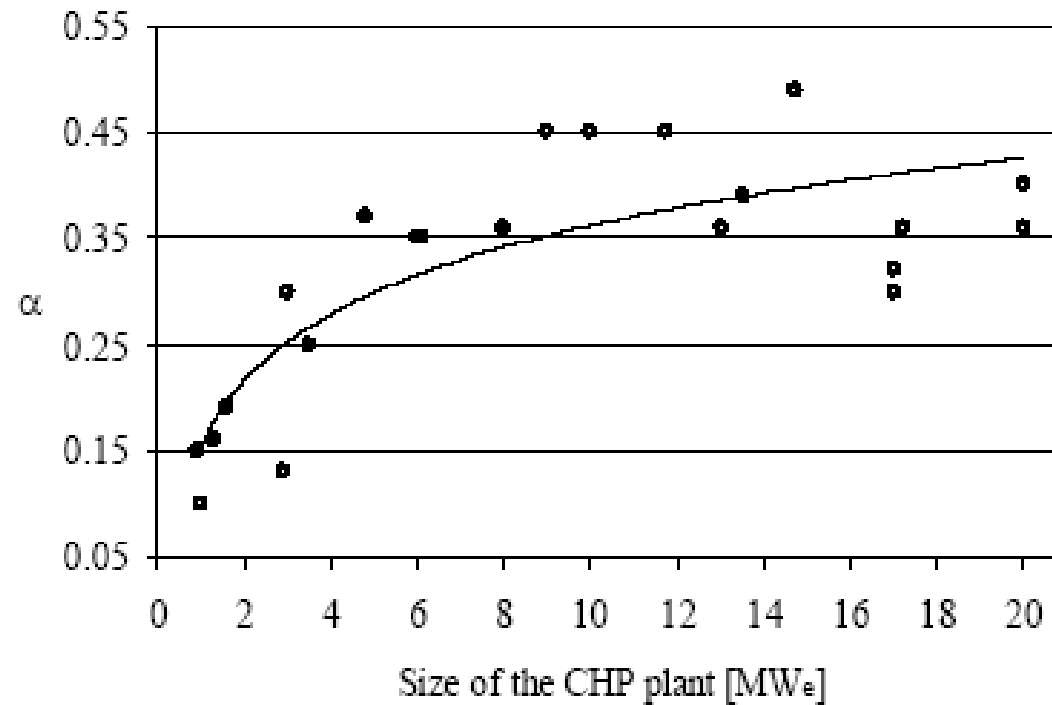
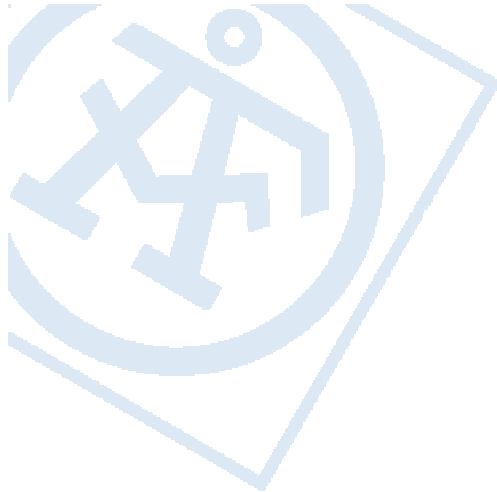




TEHNOLOOGIATE RAKENDAMINE

$N_s > 10 \text{ MW}_s$	<ul style="list-style-type: none">• Olemasolev tehnoloogia.• Palju tootjaid, baaslahendused.• Auruturbiiniga $N_e \geq 2 \text{ MW SEK}$.
$10 - 5 \text{ MW}_s$	<ul style="list-style-type: none">• Kommerts lahendused on olemas.• Tootjate piiratud kogus.• Põhiline tehnoloogia – auruturbiin $1 \leq N_e \leq 2 \text{ MW}_e$.
$4 - 2 \text{ MW}_s$	<ul style="list-style-type: none">• Auruturbiinide kasutamise alumine piirkond $N_e < 1 \text{ MW}_e$• Baaslahendused puuduvad.• Eri tellimus.• ORC tehnoloogia.
$2 \text{ MW}_s > N_s$	<ul style="list-style-type: none">• ORC tehnoloogia.• muud tuleviku tehnoloogiad.

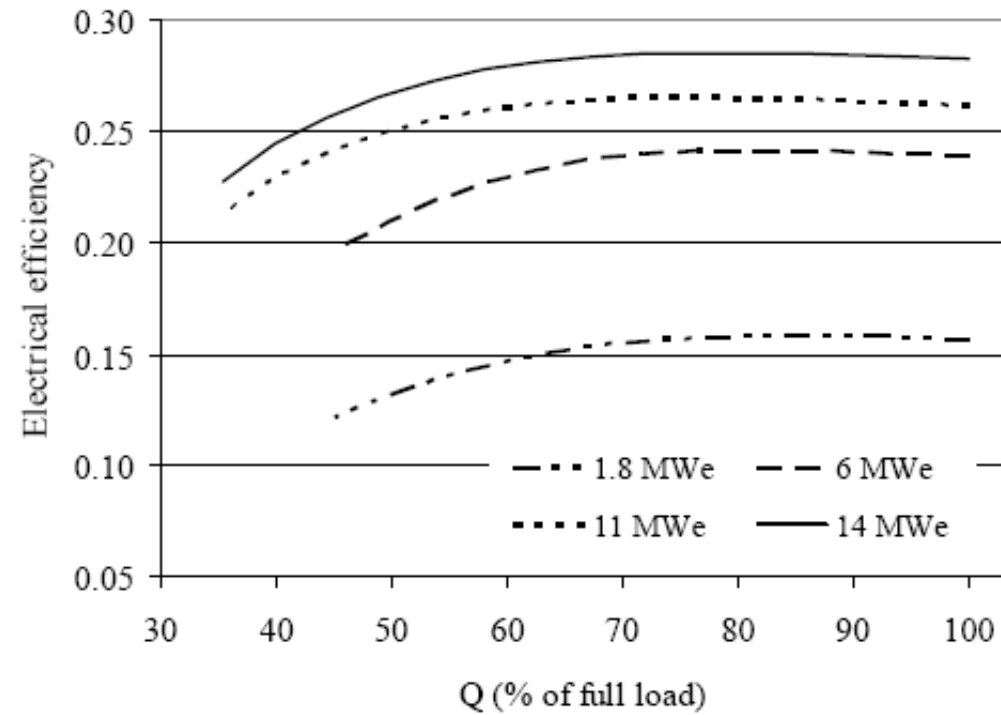
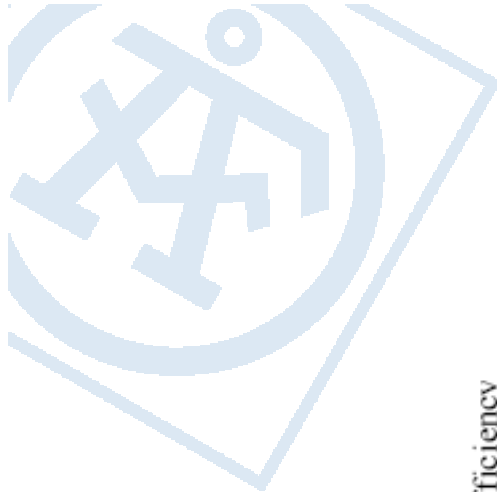




Toodetava elektrienergia ja soojuse suhe (α) sõltuvalt SEK võimsusest mõnedes Soome ja Rootsi bio koostootmisjaamades.

(Allikas: Small Scale Biomass CHP Plant and District Heating, Kari Sipilä, Esa Pursiheimo, Tuula Savola, Carl Johan Fogelholm, Ilkka Keppo & Pekka Ahtila, ESPO 2005)



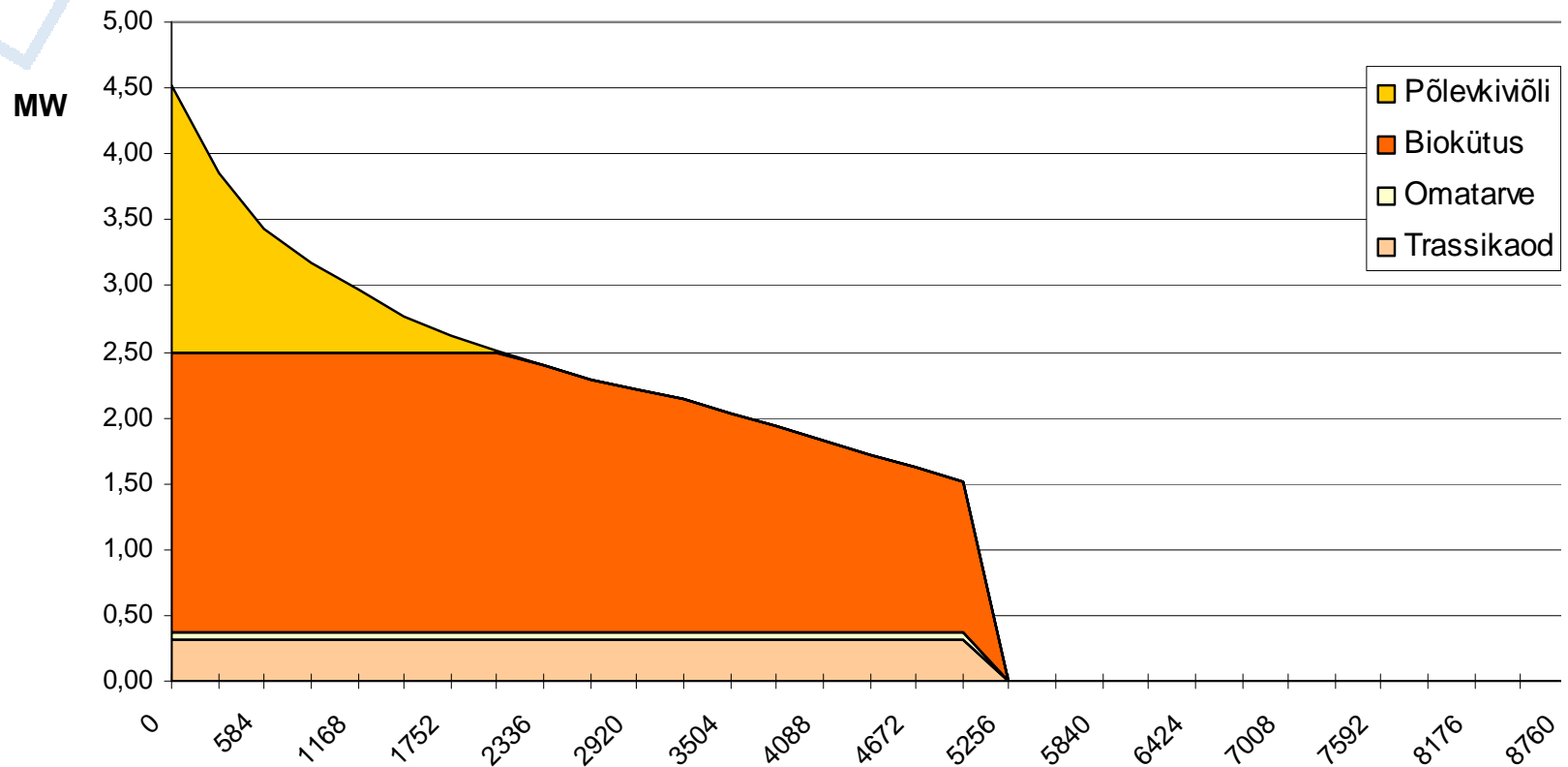


**Auruturbiiniga koostootmisseadme
elektriline efektiivsus osalisel koormusel.**
(Allikas: TKK Energy technology, Annual Report 2003)



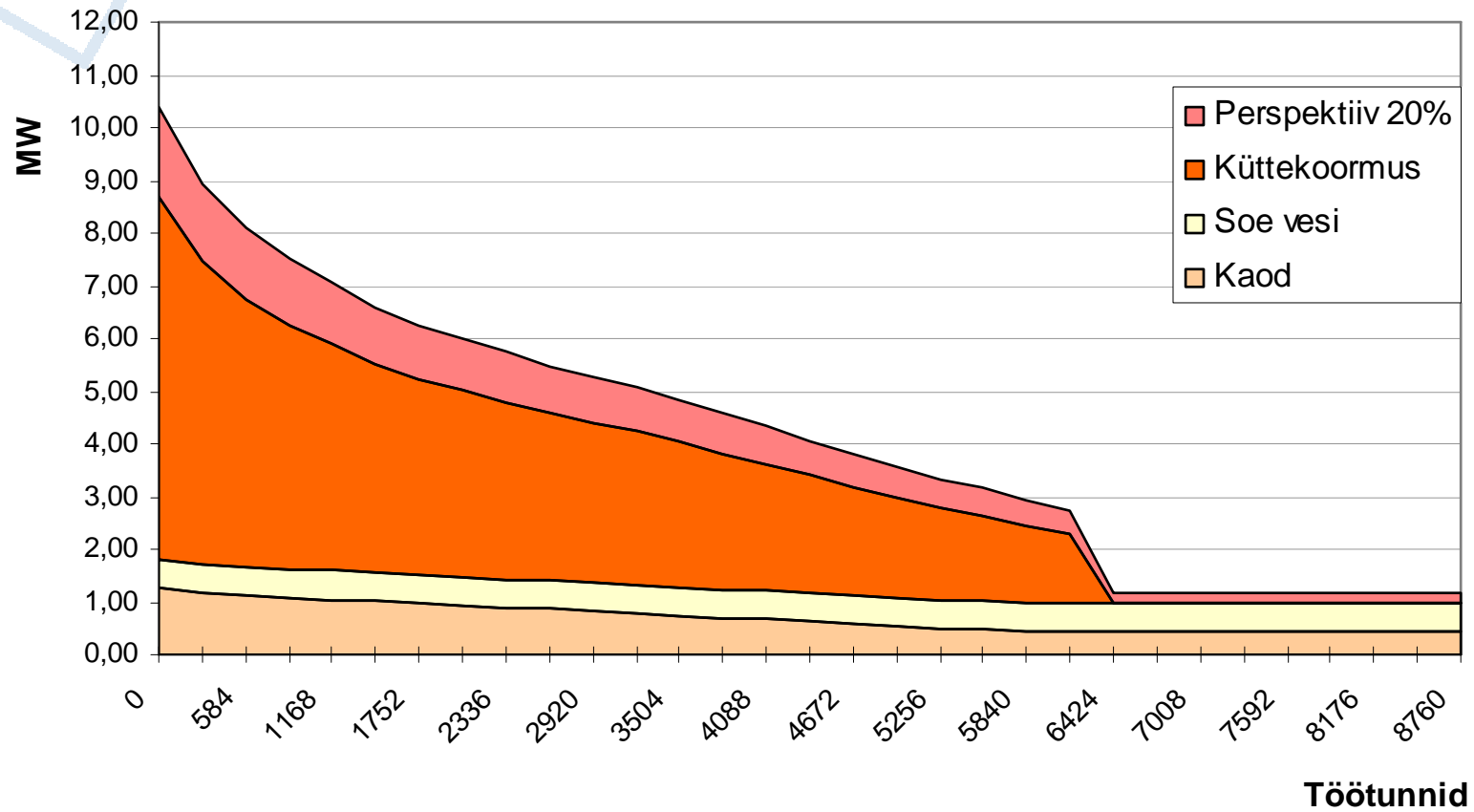
Kadrina asula koormusgraafik

Soojustoodang 2005 aastal oli 11800MW/h



Paldiski koormusgraafik

Soojustoodang 2005 aastal oli 27 500 MW/h



Koostootmisjaama majanduslikust otstarbekusest

Auruturbiiniga koostootmisjaama võimsus
elektriline 2 MWe
soojuslik 8 MWe

Biokütuse hind 150 kr/MWh
Elektri hind 810 kr/MWh
Soojuse hind 600 kr/MWh
Jaama ühikmaksumus 4 milj.€/MWh

Töötunde vähemalt 4000 täisvõimsusel töötundi aastas

Tasuvusaeg 10 aastat

EESTI ERINEVATE PIIRKONDADE EELUURING
KOOSTOOTMISJAAMADE EHTAMISEKS

TÄNAN TÄHELEPANU EEST

Eimar Jõgisu
ÅF-Estivo AS

Eimar.jogisu@afconsult.com
www.estivo.ee

ESTIVO

Meie oskused on teie edu

Innovation by experience

