Supported by INTELLIGENT ENERGY EUROPE

EmPower

Mikro ja väike koostootmise võimalikkusest eramute energiabilansis.

Aadu Paist

24.10.2012

ENERGIATÕHUSA EHITISE TÄIENDUSKOOLITUS
TARTU TEADUSPARGIS

TARTU TEADUSPARK

TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL

Sisukord

- Koostootmine mõiste
- Koostoootmise eelised
- Mikro ja väike koostootmine
- Koostootmistehnoloogiad
- Biomassiga seotud koostootmine
- Tehnoloogiate plussid ja miinused

Koostootmise mõiste

Elektri ja soojuse koostootmine (ingl. k. Combined Heat and Power (CHP), cogeneration) on protsess, kus ühest seadmest väljastatakse samaaegselt kahte liiki energiat – mehaanilist energiat ja soojust.

- Soojust, mida saab kasutada tehnoloogilistes protsessides, tarbevee soojendamiseks ja ruumide kütteks või absorbtsioonil põhinevate jahutusprotsesside käitamiseks kaugjahutussüsteemides
- Mehhaanilise energia, mis tavaliselt muudetakse elektriks, kuid seda võib kasutada ka pumpade, kompressorite ja ventilaatorite otseseks käitamiseks

Koostootmine on termodünaamiliselt parim viis kütuse kasutamise efektiivsuse tõstmiseks. Väheneb vajalik kütuse kogus, väheneb emissioon toodetud energiaühiku kohta, mõlemat energialiiki saab toota nende eralditootmisest madalama hinnaga, kasutatavad seadmed on ekspluatatsioonis paindlikud ja talitluskindlad. Elektrienergia ja soojuse koostootmisel on kütuse kasutamise kogukasutegur tavaliselt 85-92 %, seega võrredav tänapäevase lokaalkatlamaja katla kasuteguriga soojuse tootmisel.

Väikese ühikvõimsusega koostootmisseadmete puhul on vajalik soojussalvesti olemasolu.

Koostootmise mõisted

Elektri ja soojuse suhe - talitlusandmetel põhinev elektri ja soojuse suhe täiskoormusrežiimil

Eraldi tootmise kasuteguri viiteväärtus- koostootmise asemel eraldi toodetud soojuse ja elektri kastegur

Kasulik soojus-koostootmise protsessis majanduslikult põhjendatud kütte- või jahutusnõudluse katmiseks toodetud soojus

Kasutegur- **kütuse alumise kütteväärtuse** alusel arvutatav kasutegur

Koostoodetud elekter – kasuliku soojuse tootmisprotsessis toodetud elekter, mis on mõõdetud generaatori väljundklemmidel

Mikrokoostootmiseade-koostootmisseade mille maksimaalne elektriline võimsus on alla 50 kW_e

Väikekoostootmisjaam –koostootmisseadmete talituslik kogum, mille installeeritud elektriline võimsus on alla 1 MW_e

Tõhususe nõuded

Koostootmine on tõhus:

kui järgnevaid tehnoloogiaid: vasturõhuturbiiniga, gaasiturbiin koos utilatsioonkatlaga, sisepõlemismootoriga, mikroturbiiniga; Stirling mootoriga ja kütuseelemendiga kasutades on aruandlus perioodil üldkasutegur vähemalt **75%** ning primaarenergia sääst vähemalt **10%**

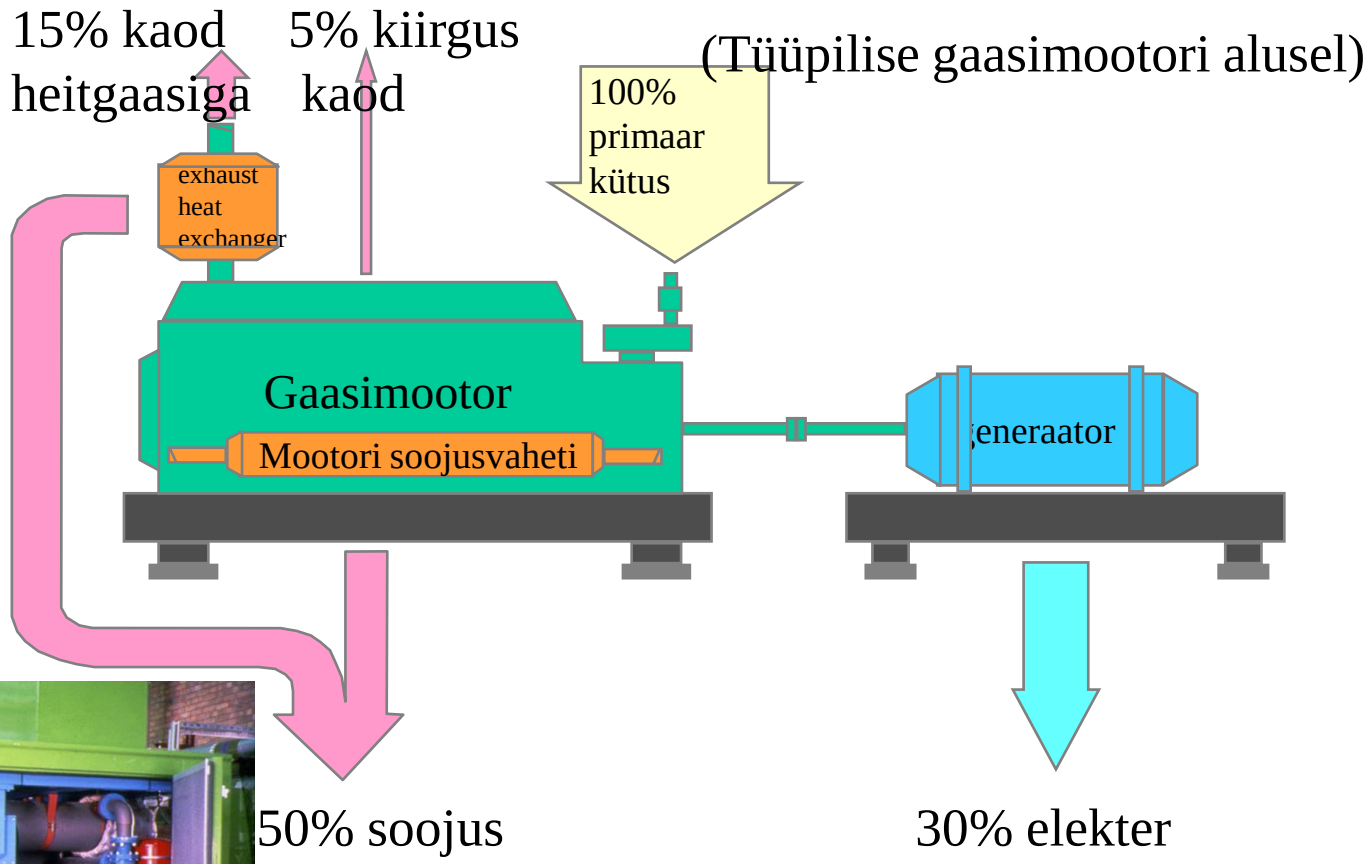
Kui kombineeritud tsükliga gaasiturbiini koos utilatsiooniga ja vaheltvõttudega auruturbiini kasutamisel aruandlus perioodil üldkasutegur vähemalt **80%** ning primaarenergia sääst vähemalt **10%**

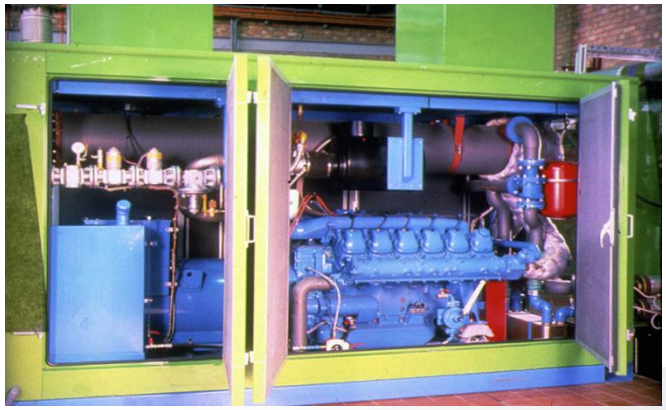
Kui tootmine väike - või mikrokoostotmisseadmega tagab primaarenergia säästu

Koostootmise eelised

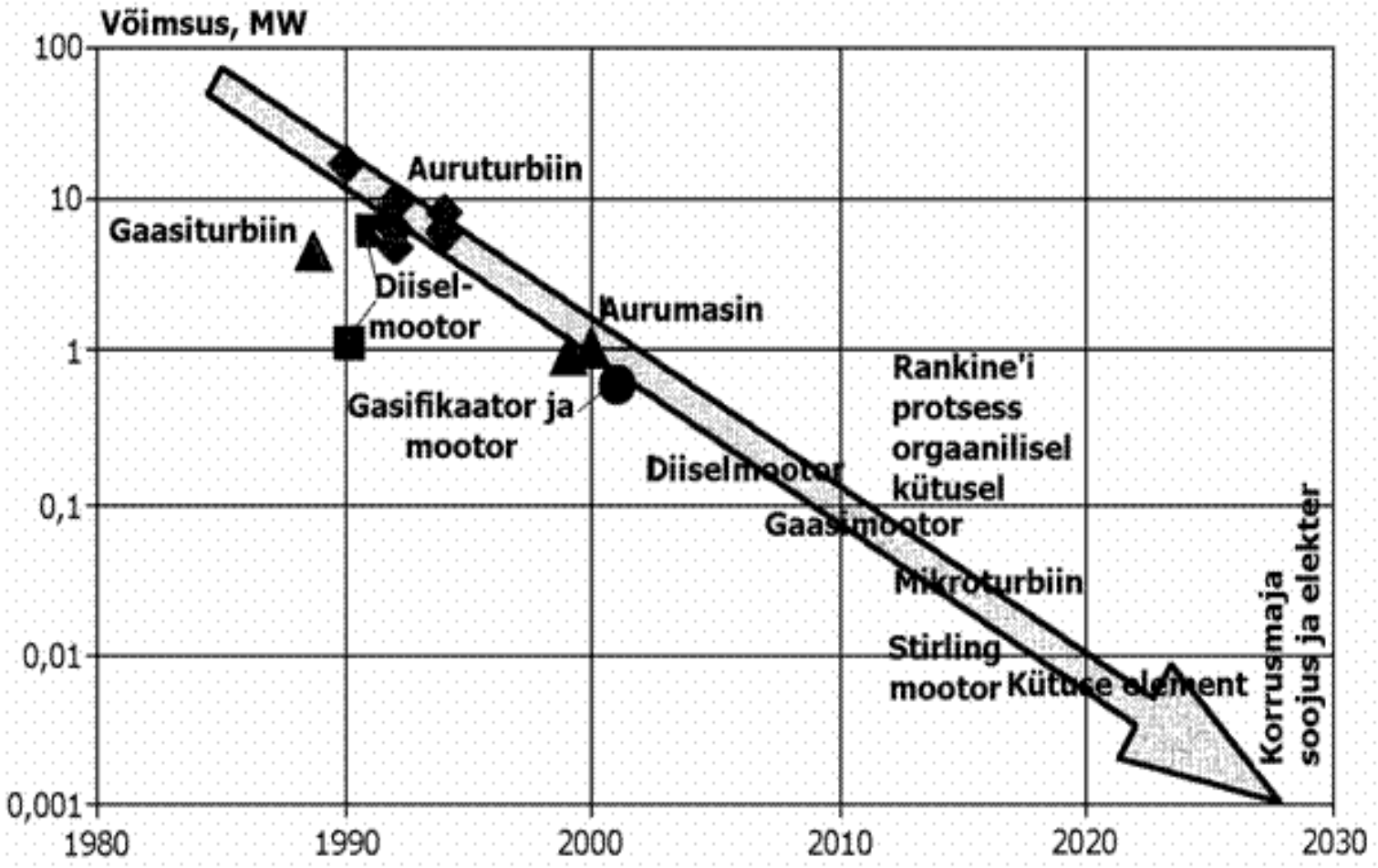
- Energia muundamise kasutegur on kõrgem (15-40% kõrgem kui elektri ja soojuse tootmise eraldi tootmisel);
- Väiksem keskkonna saastamine CO_2 osas;
- Kulude kokkuhoid, luues lisanduva konkurentsivõimaluse tööstuslikele ja äritarbijatele, pakkudes vastuvõetava hinnaga soojust kodutarbijate;
- Elektritootmise detsentraliseerimine, mis vähendab ülekandekadusid ja suurendab süsteemi paindlikkust;
- Parandab varustuskindlust- kohalik tootmine vähendab riski, et tarbijad võiksid jääda ilma elektrita;
- Väheneb kütuse kulu vähendades riigi sõltuvust kütuse impordist;
- Suurendab tööhõivet, garanteerib uusi töökohti, seda eriti maapiirkondades kus tööhõivega on probleeme

Sisepõlemismootoriga kombijaam

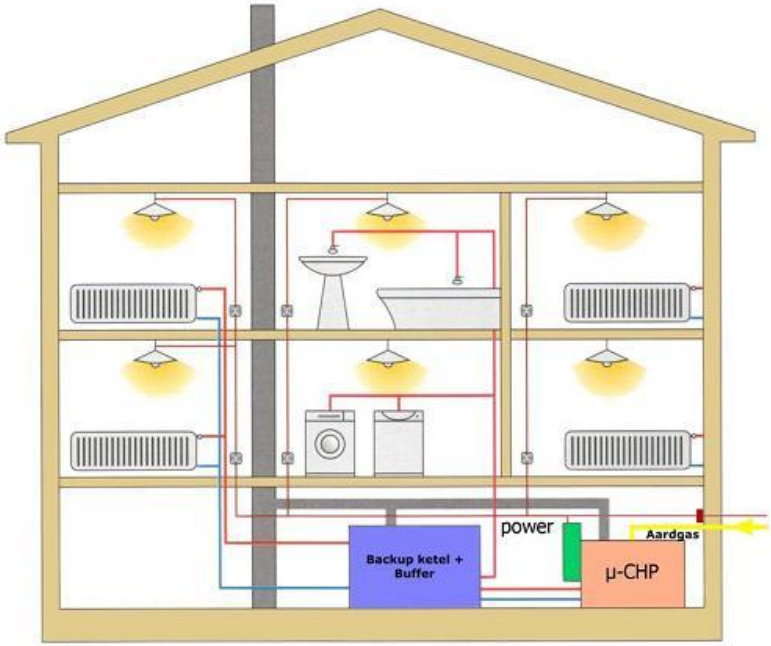


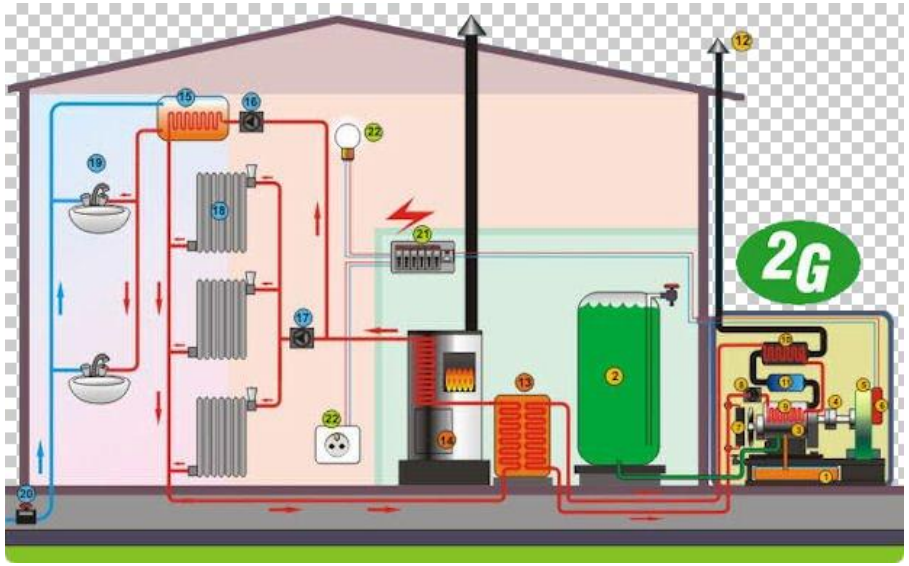


Koostootmise arengud

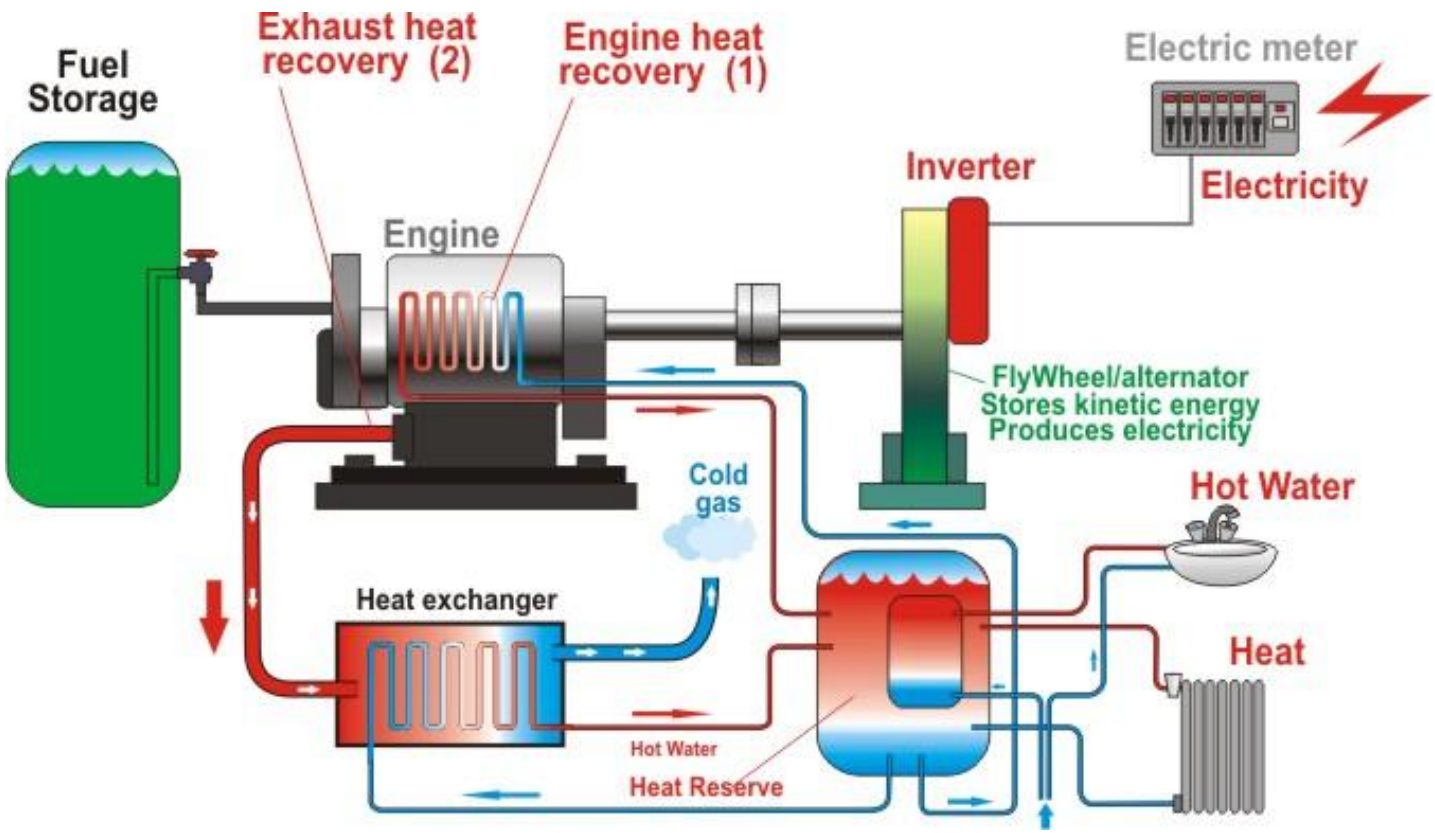


Meie tulevik 2030



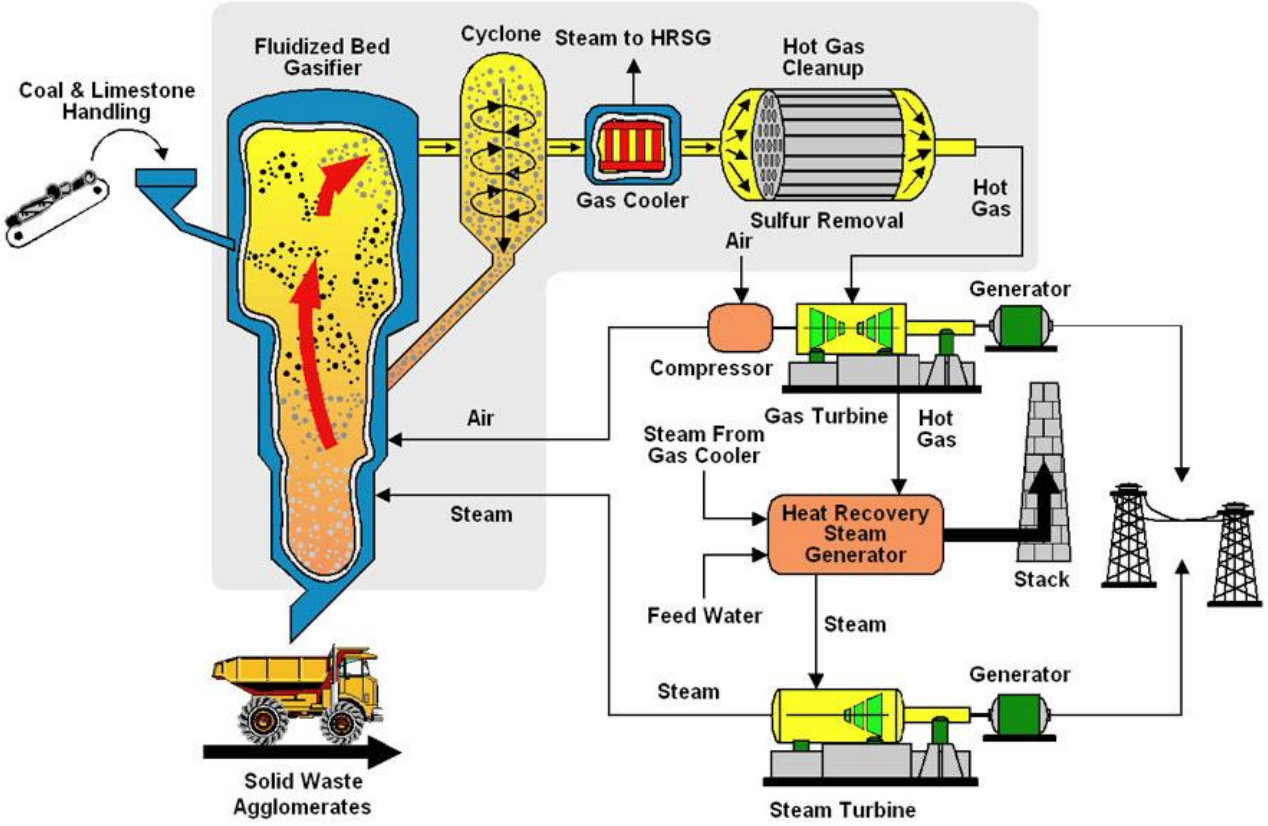


Mikrokoostootmisseadme skeem



Koostootmise tehnoloogiad

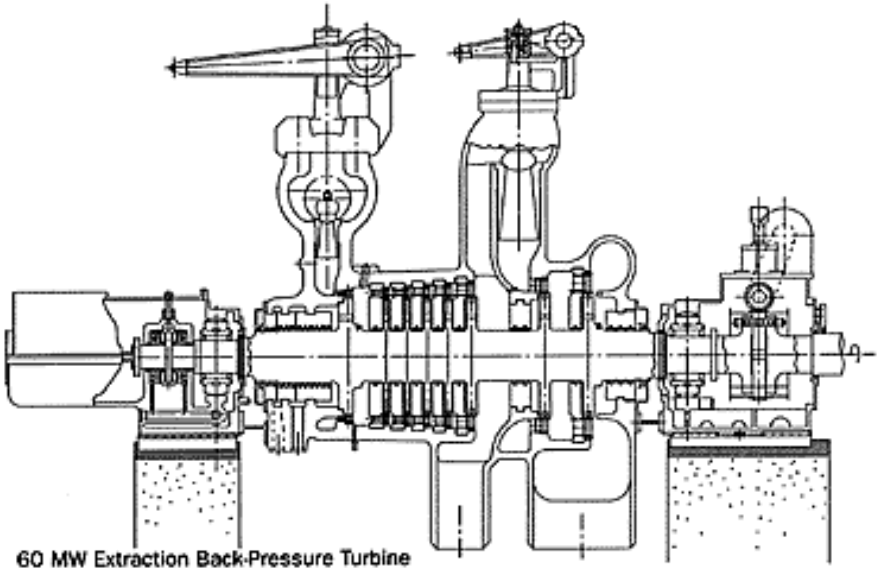
1.Kombineeritud tsükliga gaasiturbiin koos utilisatsioon katlaga (Intrgreeritud gaaskombi tsükkel) IGCC



Koostootmise tehnoloogiad

2.Vasturõhuturbiinid (Back Prssure Turbine)

Nendest turbiinidest väljub kogu aur rõhul, mis on vastavuses soojustarbija poolt vajatava auru rõhuga. Seega puudub vasturõhu turbiinil madalrõhuosa koos kondensaatoriga ja aur suundub turbiinist soojustarbijale, milleks võivad olla kaugkütte soojustarbijad või tehnoloogiline aurutarbija. Nimetatud turbiinid on töös vähepaindlikud, kuna soojustarbija auruvajadus määrab üheselt turbiini läbiva aurukoguse ja seega ka turbiini võimsuse

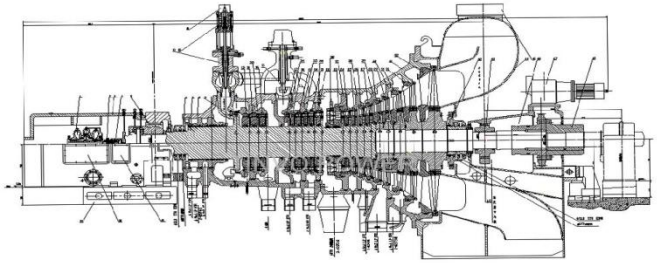


60 MW Extraction Back-Pressure Turbine

Koostootmise tehnoloogiad

3.(Reguleeritava) vaheltvõtuga auruturbiin (Automatic-Extraction Turbine)

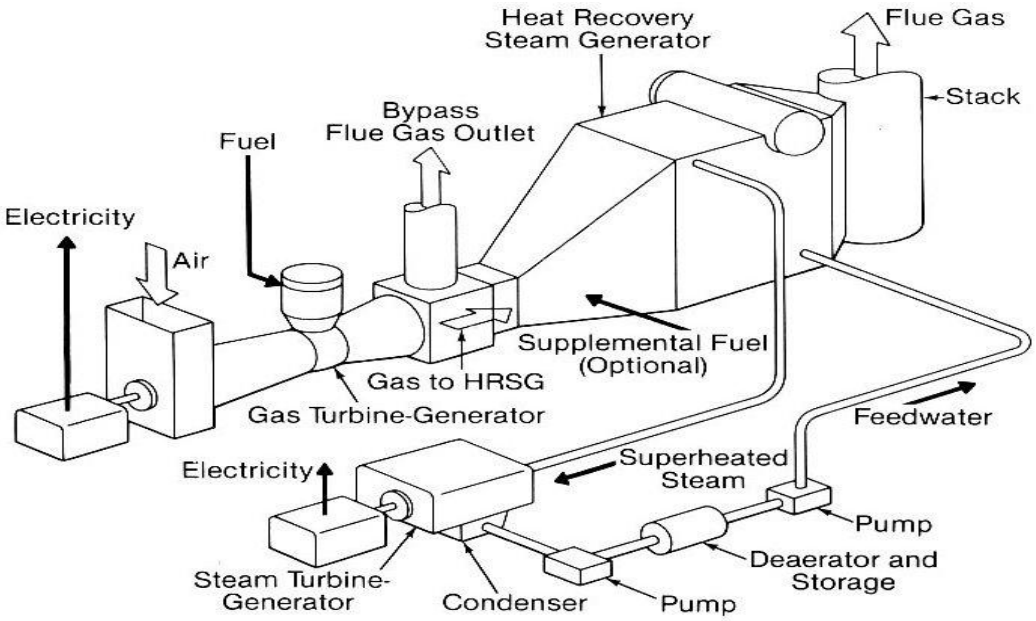
Nendes turbiinides eemaldatakse osa auru enne, laskmata sellel paisuda rõhuni turbiini järel. Vaheltvõtu auru kasutatakse kütteks või tehnoloogilisteks vajadusteks. Seepärast nimetatakse neid turbiine ka termofikatsioonturbiinideks.Kui vaheltvõtu rõhk on suhteliselt madal (0,07-0,25 MPa) sobib see kütteks ja soojavee varustuseks, tööstusliku vaheltvõtuga turbiinid on kõrgema vaheltvõtu rõhuga (< 0,6 MPa)



50MW Double-extraction & condensing turbine

Koostootmise tehnoloogiad

4. Gaasturbiin koos utilisatsioon katlaga



(a)

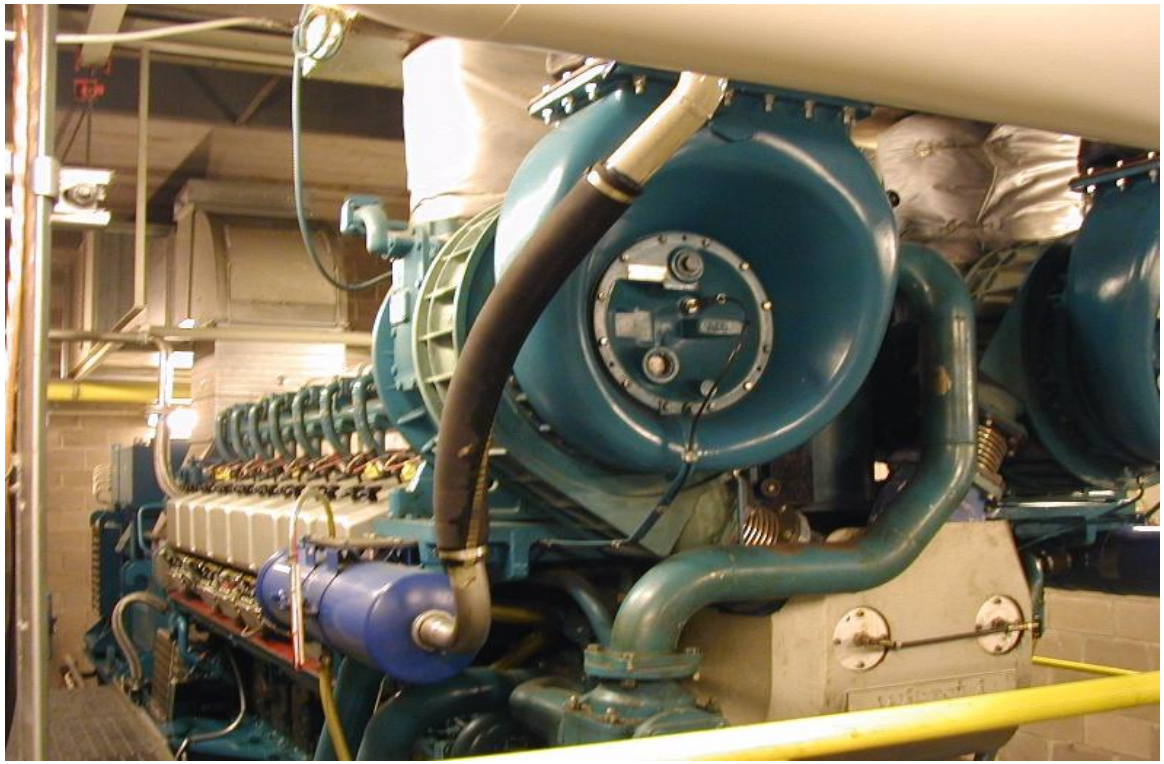
Väikesed gaasiturbiinid

Koostootmisjaamadele mõeldud väikeste keraamiliste labadega (300kW) gaasiturbiinide (CGT 301 ja 302) kasutegurid on tänaseks jõudnud 42% , gaaside sisenemistemperatuuril turbiini 1350°C. Metallide kasutamisel olid sisenemistemperatuurid ainult 900-950°C ja kasutegurid aga ainult 15-20%.

USA-s jätkavad 5 firmat programmi mikroturbiin-generaatorite 30-75 kW väljatöötamist, mis kõik kasutavad kütusena maagaasi.

Koostootmise tehnoloogiad

5. Sisepõlemismootorid (gaasimootorid)



Sisepõlemismootorid

Turu liider Saksa tootja Senertec

Mudel Dachs 5,5 kW_e ja 14 kW_s

(elektritootmise kasutegur ca 25%
summaarne kasutegur ca 80% sõltuvalt hoonest, kondensaatori kasutamisel isegi 90%)

2004 müüs 10 000 seadet

Power Plus (tuntud ka kui katlatootja Vaillant) toodab seadet Ecopower 4,7 kW_e

USA firma Vector CoGen 5 ja15 kW_e

melektritootmise kasutegur ca 27%

is kasutab Kawasaki mootorit

elektritootmise kasutegur vastavalt ca 28% kuni 34% ja kogu kasutegur 70% ja 79%

Jaapanis YANMAR, Sanyo ja AISIN

Honda arendab koos Osaka Gas seadet väikemajadele 1 kW_e nime all Ecowill

2004 müüs 10 000 seadet

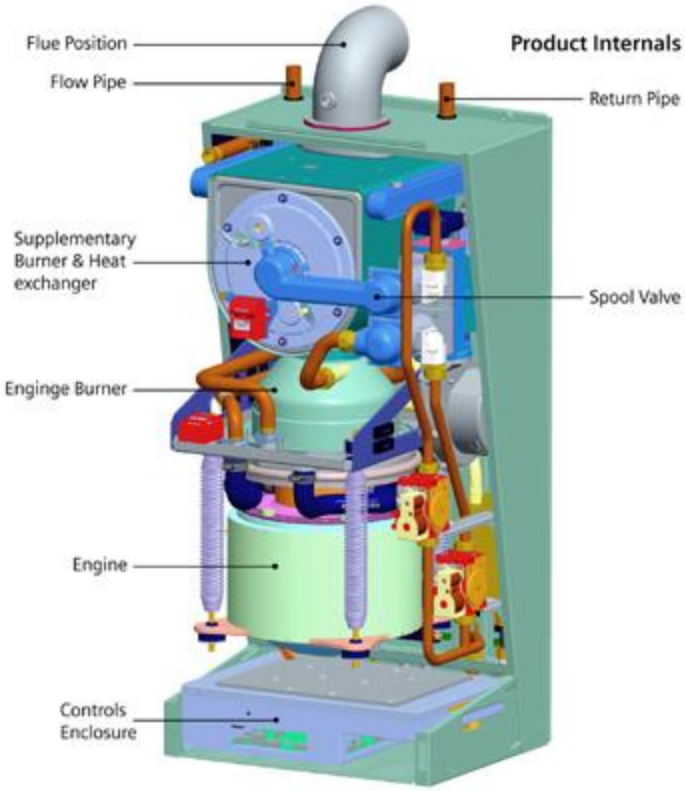
Nii kasutegurid kui ka hinnad sõltuvad suuresti sõltuvad võimsusesest

1 kW_e ca 6000 €/kW_e
elektritootmise kasutegur ca 20%

10 kW_e ca 2500 €/kW
elektritootmise kasutegur ca 27%

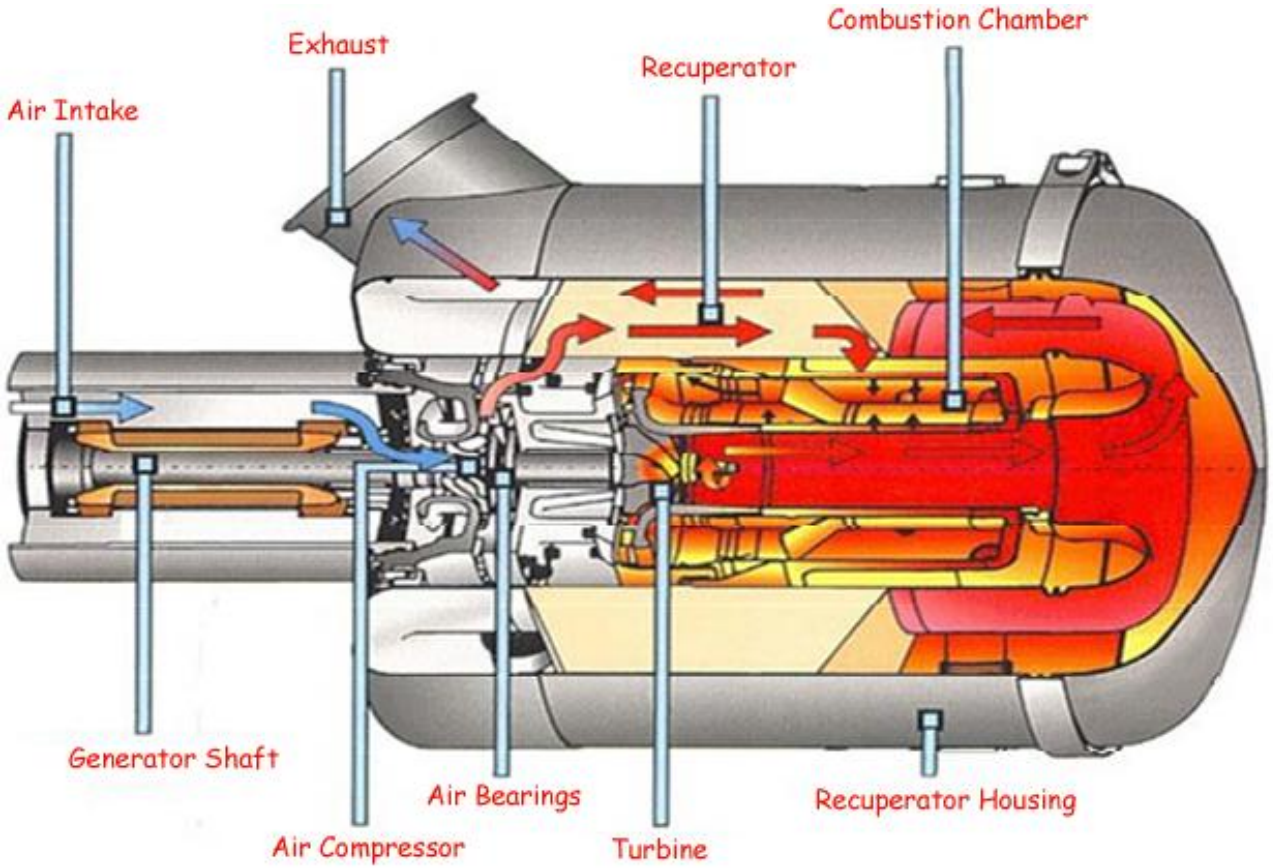
20 kW_e ca 2000 €/kW
elektritootmise kasutegur ca 29%

Väikesed sisepõlemismootorid

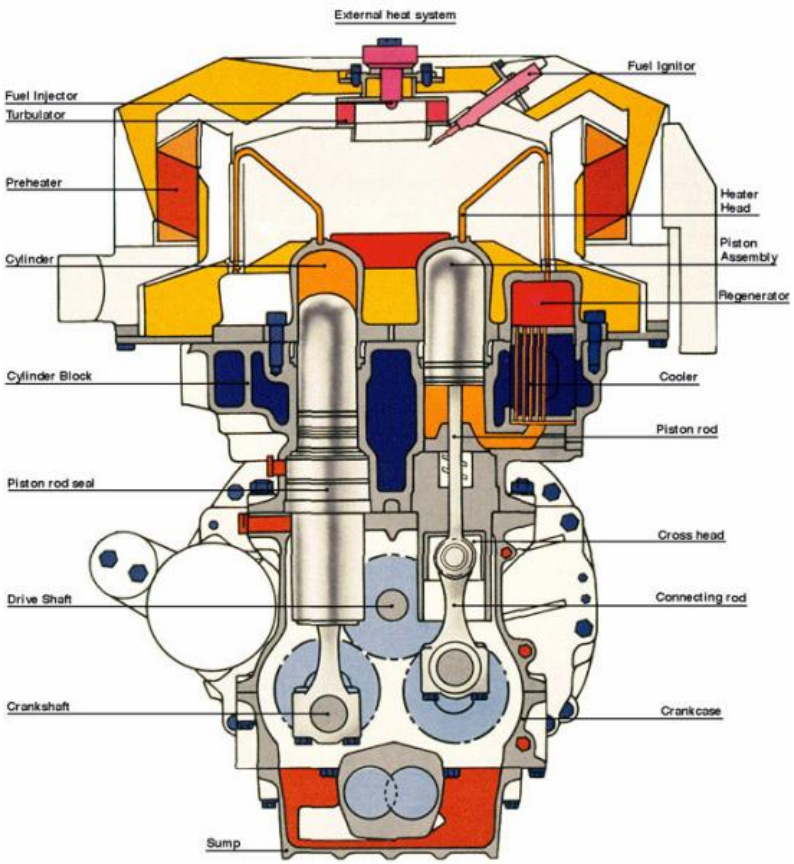


Koostootmise tehnoloogiad

6. Mikroturbiinid



Koostootmise tehnoloogiad



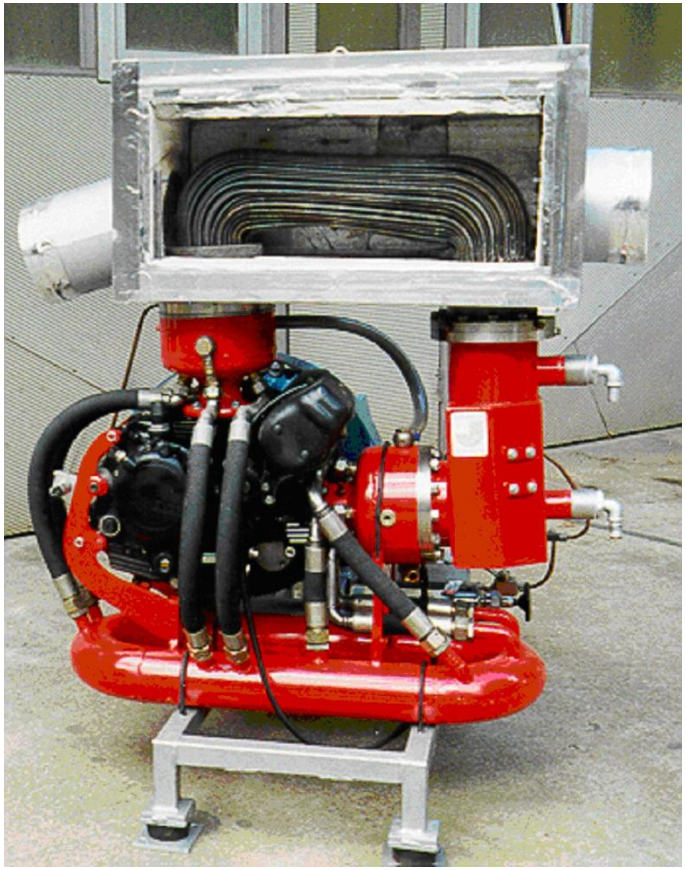
7. Stirlingmootor

Välise küttega kolbmootori leiutas 1817 aastal Robert Stirling ja mis põhineb kinnises silindris oleva gaasi (õhk,vesinik,heelium vm) perioodilisel kuumutamisel ja jahutamisel koos selle juhtimisega vaheldumisi kuuma ja külma ruumi. Stirlingmootori silindris on kaks omavahel kooskõlastatultliikuvat kolbi-**töökolb**, mis annab kuumutatava gaasi paisumistöö edasi väntvõllile ja **väljatõrjekolb,** mis suunab kuuma paisunud gaasi jahutatavasse külma ruumi

Stirlingmootor

Välispõlemismootor ehk stirlingmootor, mis saab mehhaaniliseks tööks muundatavat soojust väljastpoolt. Patenteeris sellise mootori Inglane R. Stirling juba 1816 a. Nüüdisaegne stirlingmootor põhineb kinnisel ringprotsessil, mis koosneb 2 isotermilisest ja 2 isohoorsest protsessist. Tänaseks on konsortsium ÜK, Taani, Norra, Rootsi teadlastest väljatöötanud nn. väike jõujaama Sigma PCP (personal combustion power plant). Seade töötab maagaasil, elektriline võimsus 3 kW, soojuslik 9 kW ja kasutegur 95%.

Stirlingmootor mis kasutab kütusena maagaasi



WhisperTech Uus -Meremaa firma

1,2 kW_e ja 8 kW_s

Saksa firma Solo Mayer&Cie ja Sunmachine tootab seadmeid võimsusega 1,0 kW_e

Hollandi firma EnAtEc micro-c ogen B.V. testib 1 kW_e elektritootmise kasuteguriga 10 %

Stirlingmootor mis kasutab kütusena pelleteid

Kütuseelement

Kütuseelemendid kus, toimub kütuse elektrokeemiline oksüdatsioon ehk nn. külm põlemine, mille tulemusena saadakse elektrit kui ka soojust, avastas juba 1839 aastal W. R. Grove, esimese seadme Euroopas valmistas saksa füüsik E. Justi 1955. aastal.

1992 alustas Soomes tööd Firma International Kütuseelement kombijaam 200 kWe/200 kW_{th} ,maagaasi kuluga 50 m3 tunnis ja elemendi töötemperatuuriga 200°C.

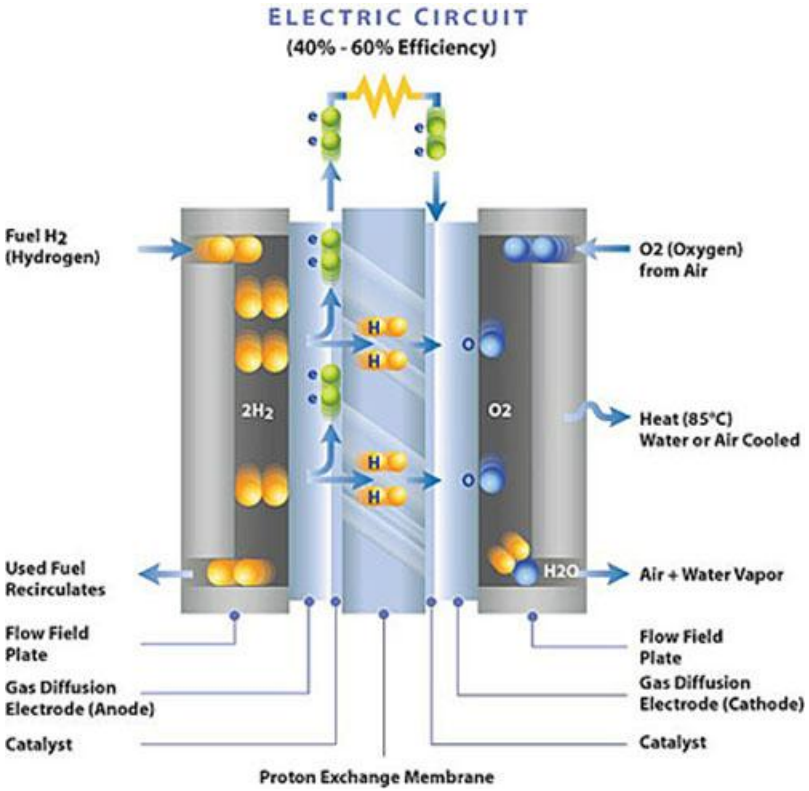
Juba alates 1998 on USA-s võimalik osta 200 kW-seid fosforhappe kütuseelemente, nii elektri aga ka soojuse ja elektri koostootmiseks. Mitmed kompaniid nii USA-s kui Euroopas planeerivad väga väikeste (1 kW ja alla) kütteelementide tootmist.

Koostootmise tehnoloogiad

Kütuseelement koosneb katalüsaatorit (plaatina, nikkel) sisaldavatest poorsetest elektroodidest, mille vahel on elektrolüüt - ioonmembraan. Anoodile juhitakse vesinik (vesinikku sisaldavad ained) ja katoodile hapnik (õhk).

Vesiniku põlemisreaktsioonis peavad vesinik ja hapnik kontakteeruma ja vahetama elektrone. Kütuseelemendis on elektronide vahetus eraldatud aatomite kontaktist. Kahte elementi eraldav elektrolüüt lubab ühte kahest, kas vesiniku või hapniku ioonil läbida elektroodidevaheline vahemik. Reaktsiooniks vajalik elektronide vahetus vesiniku ja hapniku vahel ei toimu mitte läbi elektrolüüdi, vaid välist elektriringi pidi. Tekib alalisvool

8. Kütuseelement



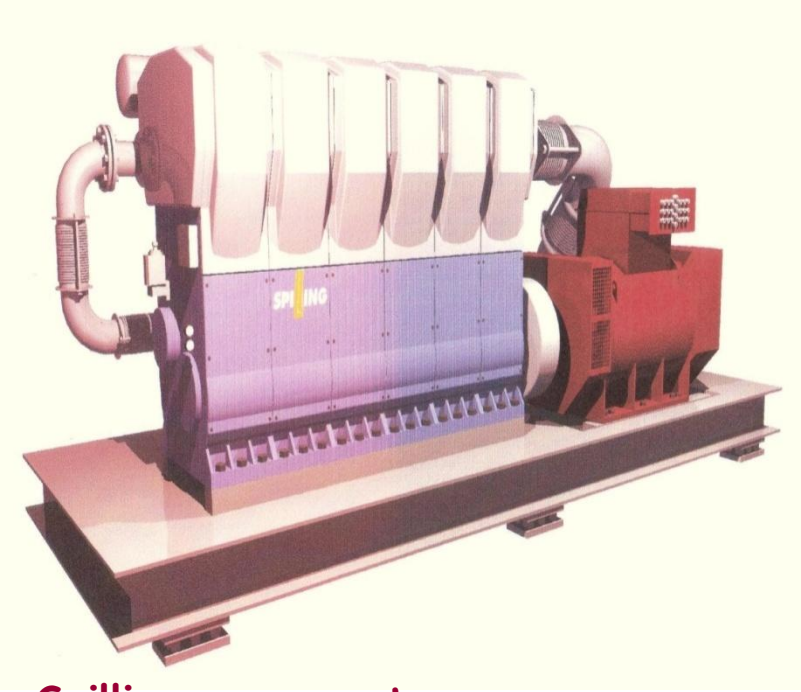
Kütuseelement mikrokoostootmisjaamad USA-s

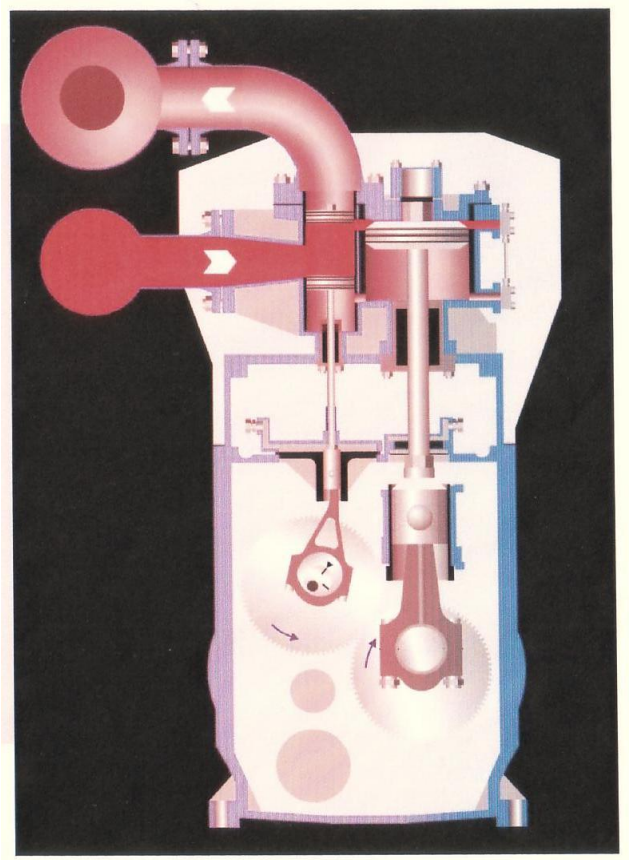
1-10 kW kütuseks looduslik gaas

Näitaja	2012	2015	2020
Elektriline kasutegur	40%	42,5%	45%
Kogu kasutegur	85%	87,5%	90%
Siiredeaeg (10% selt-90% se võimsuseni)	4 min	3min	2min
Stardiaeg (algtemperatuurilt 20 °C)	45 min	30 min	20 min
Tööiga (tundides)	30 000	40 000	60 000

Koostootmise tehnoloogiad

9. Aurumootor

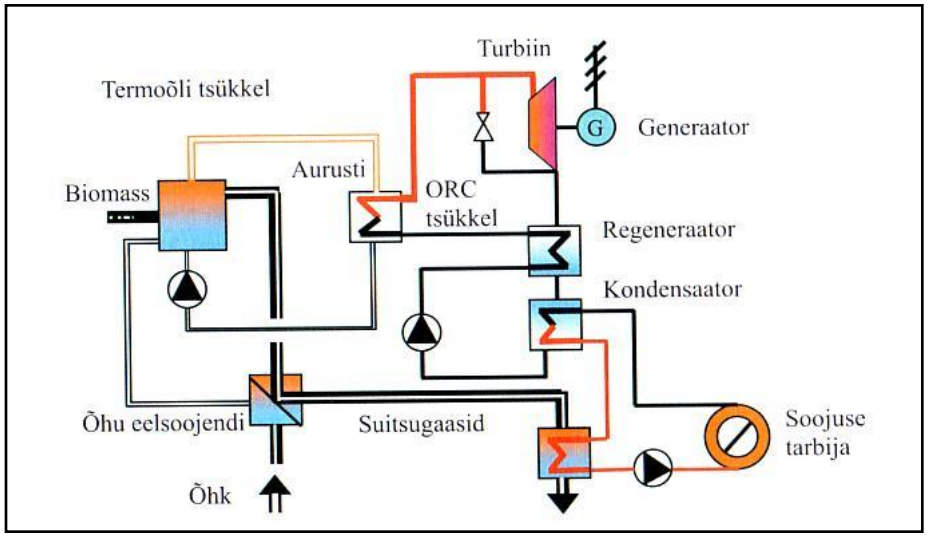


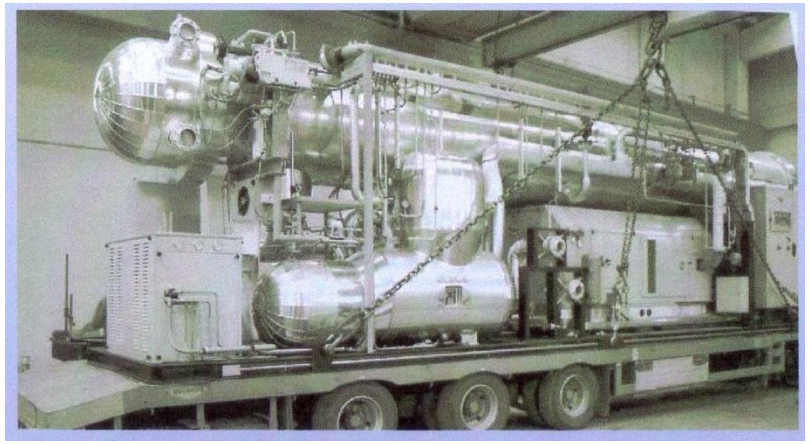


Spillingu aurumootor
Elektriline võimsus 25-1500 kW
Auru vooluhulk kuni 40 t/h
Aururõhk 6 – 60 baari
Vasturõhk kuni 20 baari

Koostootmise tehnoloogiad

10. Orgaaniline Rankine`i ringprotsess (ORC)





Tootjad: Turboden, Itaalia; GMK, Saksamaa; Triogen, Holland

Põletamisega seotud koostootmistehnoloogiad

Kasutatavad tehnoloogiad:

- Auruturbiinid 0,5 - .... MW
- Aurumasin 0,2 – 2 MW
- Orgaanilisel Rankine`i ringprotsessil põhinev seade 0,3 – 1,5 MW

Turuvalmis tehnoloogiad:

- Stirling mootor 0,0005 – 0.1 MW
- Kuumaõhu turbiin 0,4 - ...MW

Projektid

- Kruvi-aurumasinad 0,02 – 2 MW

Supported by INTELLIGENT ENERGY EUROPE

EmPower

Biokütuste otsese põletamisega seotud tehnoloogiad, kasutegurid

Kasutusviis	Soojuskandja	Jõuseade	Elektriline võimsus, kW	Elektri tootmise kasutegur, %
Otsene põletamine katlas	Aur	Auruturbiin	≥2000	15 - 40
		Aurumasin	200 - 2000	10 - 12
		Kruvi-aurumasin**	20 - 2000	10 - 15
	Vahetu soojuskontakt	Stirling- mootor	0,5 - 100	14 - 30
		Kuumaõhu-turbiin	≥400	25 - 30
		Koospõletamine gaasiga **	≥20 000	
	Termaalõli	Orgaaniline Rankine´i tsükkel	300 - 1500	10 -12

Gaasitamine

Puidu gaasitamine on tuntud vähemalt 150 aastat. Puugaasigeneraatorite tootmine algas enne II maailmasõda ja sõja aastatael oli kasutuses üle miljoni gaasimootoriga auto. Seoses bensiini kriisiga üheksakümnendate aastate alguses kastetati seda tehnoloogiat jällegi Eestis.

Lendosiste sisaldus puidus on 85 %

Seoses uute gaasistus tehnoloogiate kasutamisega on võimalik biomassist toota nn "biosyngaasi" mille kütteväärtus lähedane looduslikule gaasile 28 MJ/1000 m^3 (18,8 kJ/kg)

850 °C kraadi juures auruga konversioonil saadud gaasi koostis mahuliselt on: H_2 = 51,8%,CO = 45,1% CO_2 =2,7% ja CH_4 = 0,4%.

Saadud gaasi saab kasutada kütusena gaasimootorites, gaasiturbiinides, kateldes aga ka majapidamises toidu valmistamisel

Gaasistamisega seotud koostootmistehnoloogiad

Kasutusel olevad tehnoloogiad:

- Auruturbiinid 0,5 - .... MW
- Aurumasin 0,2 – 2 MW
- Orgaanilisel Rankine`i ringprotsessil põhinev seade 0,3 – 1,5 MW
- Gaasimootorid 0,1- 5 MW

Turuvalmis tehnoloogiad:

- Stirling mootor 0,0005 – 0.1 MW
- Kuumaõhu turbiin 0,4 - ...MW

Projektid

- Kruvi-aurumasinad 0,02 – 2 MW
- Inversioon gaasi turbiinid 0,04 .... MW
- Kütuseelemendid 0,02 – 2 MW
- Mikroturbiinid 0,005 – 0,1 MW

Tehnoloogiate plussid ja miinused

- Auruturbiinid
- Aurumasinad, aurumootorid
- Orgaanilise Rankine`i ringprotsessiga (ORR) seadmed
- Gaasimootorid

Auruturbiinid

Töö põhineb **Rankine'** ringprotsessil. Aurukatlas genereeritud aur paisub elektrigeneraatoriga ühendatud turbiinis (näiteks vasturõhu turbiinis) soojustarbijatele vajaliku rõhuni.

Eelised:

- Töökindel, kaua kasutusel
- Lai võimsuste valik
- Levinum tehnoloogia koostootmisjaamades
- Sobib ühtlastel koormustel

Puudused:

- Ei talu madalaid koormusi
- Kõrged hoolduskulud ja spetsialistide vajadus
- Hea toitevee ettevalmistus
- Väikestel alla 1 MW seadmetel madal elektriline kasutegur tingituna auru madalatest parameetritest
- Kõrge erimaksumus

Auruturbiinide tootjad

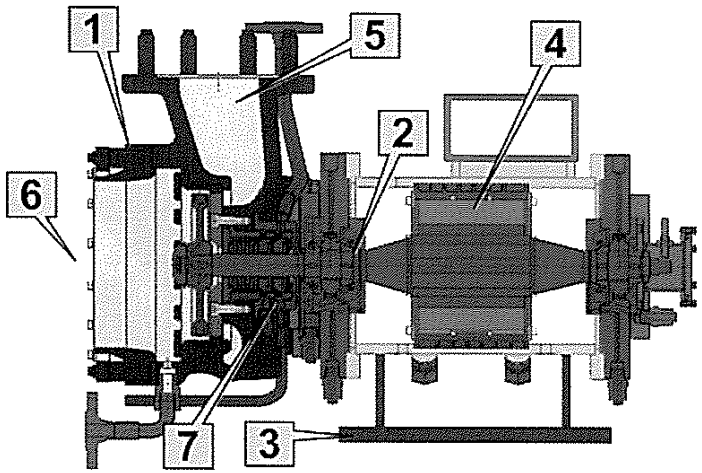
Väikeste auruturbiinide tootjatest 0,5-3 MW

- **Dresser Rand,** ***USA toodab ka Euroopas***
- **TMS,** ***Saksamaa***
- **Kaluuga turbiinitehas,** ***Venemaa***
- **Shinko,** ***Jaapan***
- **General Turbo S.A,** ***Rumeenia***
- **Hangzhou Steam Turbine Co,** ***Hiina***

Hind sõltub komplektsusest ja auru parameetritest.

Näiteks: 0,75 - 3 MW turbogeneraatorite hinnad ca 10 – 23 milj EEK/MW_e

Auruturbiin TR Hi 150



Parameetrid:

Võimsus 20 -150 kW

Auru kogus 0,2

1-turbiini korpus, 2-turbiini rootor, 3-terasest raam, 4- generaator, 5- auru sisselase,6 – auru väljalase, 7 – auru tihend

Aurumootorid

Eelised:

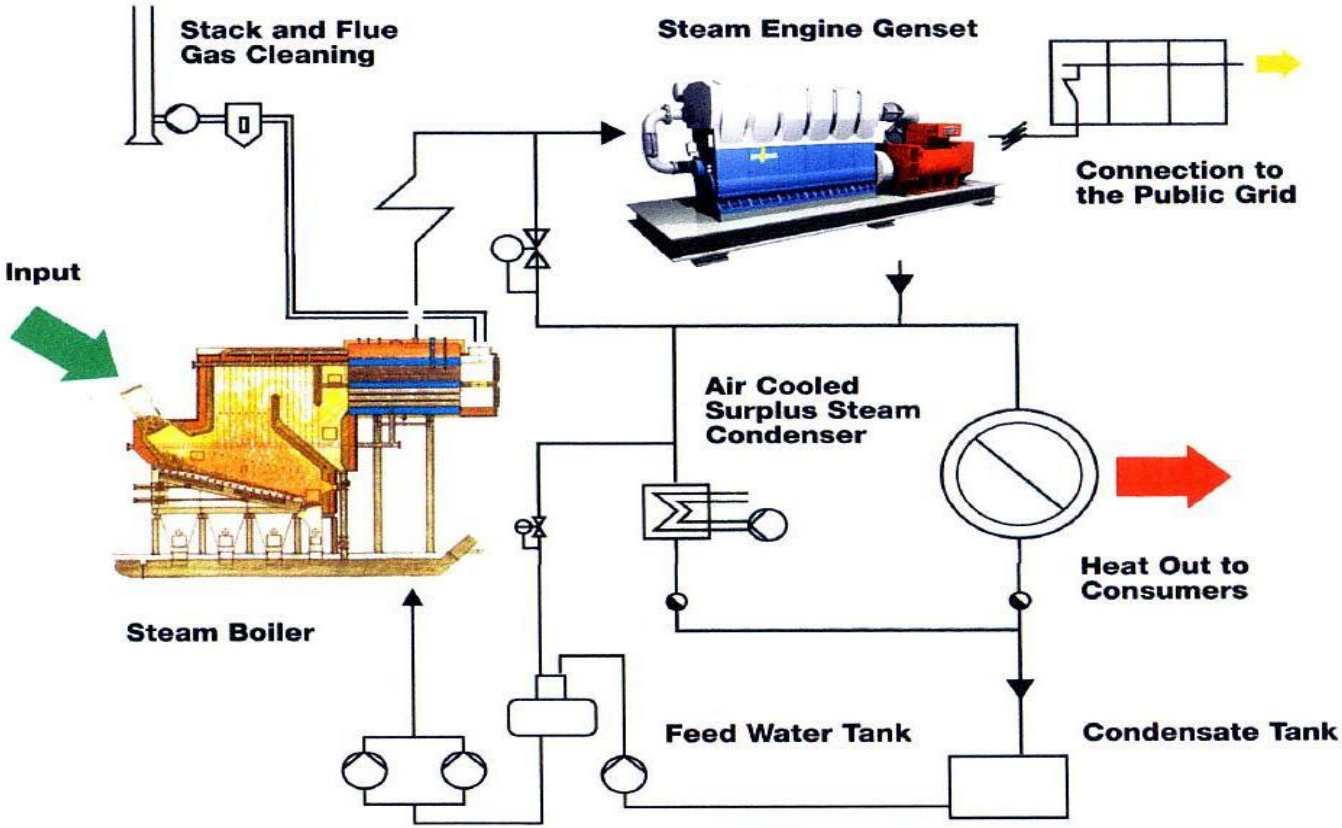
- Paindlik tööks madalatel koormustel. Elektriline kasutegur madalatel koormustel auruturbiiniga võrreldes kõrgem
- Vähem tundlik auru kvaliteedi suhtes, võimalus kasutada lihtsamat toitevee ettevalmistust
- Aurumootor võib töötada nii ülekuumendatud, küllastatud kui ka niiske auruga
- Töökindla õlivaba lahenduse korral on seade perspektiivne

Puudused:

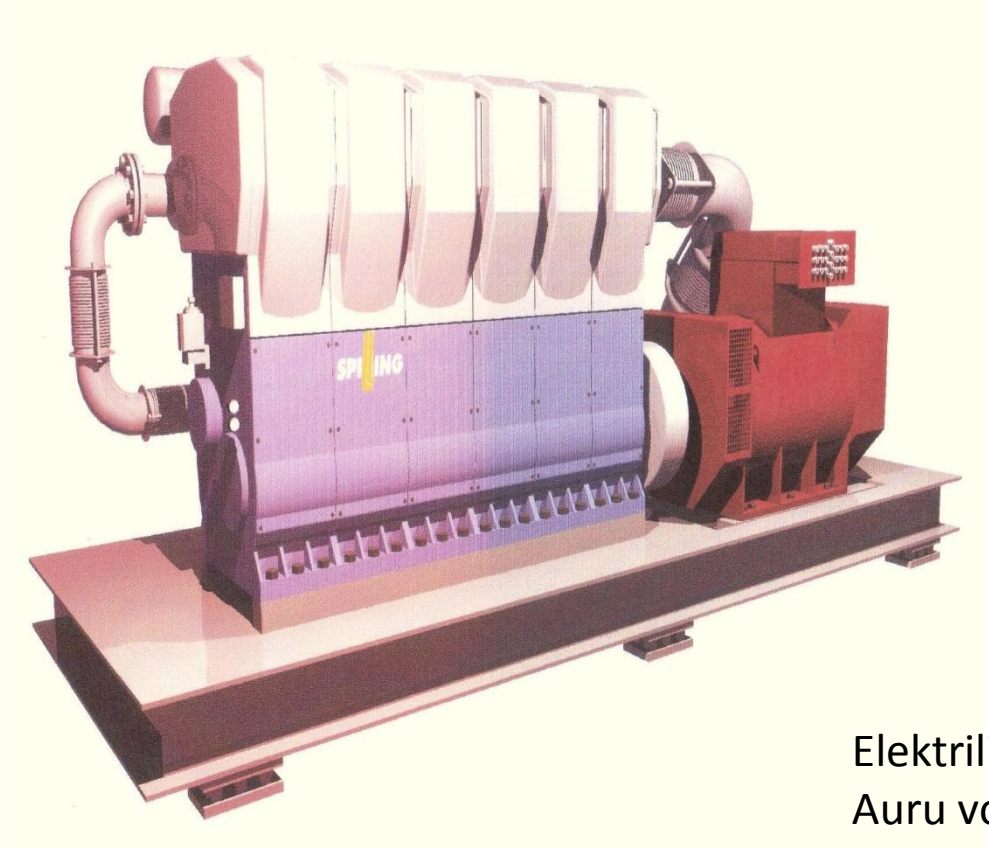
- Võrreldes turbiiniga on hoolduskulud suuremad
- Kõrge müratase, vajab akustilist isolatsiooni
- Õli võib sattuda kondensaati, mis nõuab täiendavat veepuhastust.
- Alates 1999 aastast kasutatakse õlivabu keraamilisi tööpindu
- Õlivabade aurumootorite töökindlus on veel madal
- Tootjaid on vähe, puudub konkurents

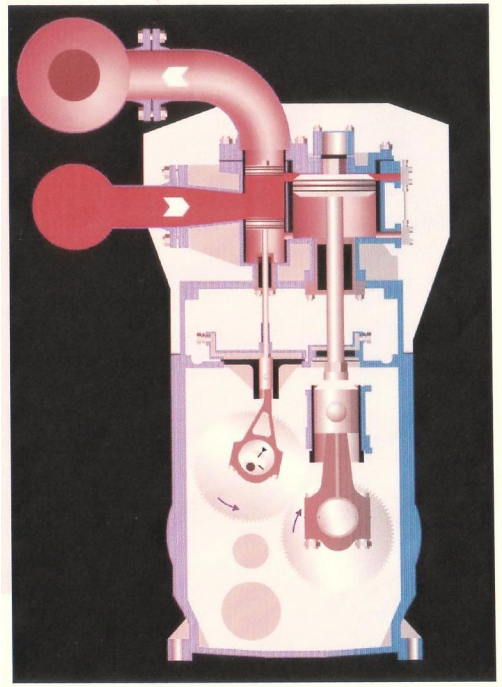
Aurumootorite tootja Spilling

Spillingu aurumootoriga skeem



Spillingu aurumootor





Elektriline võimsus 25-1500 kW
Auru vooluhulk kuni 40 t/h
Aururõhk 6 – 60 baari
Vasturõhk kuni 20 baari

Orgaanilise Rankine`i ringprotsessiga tehnoloogia

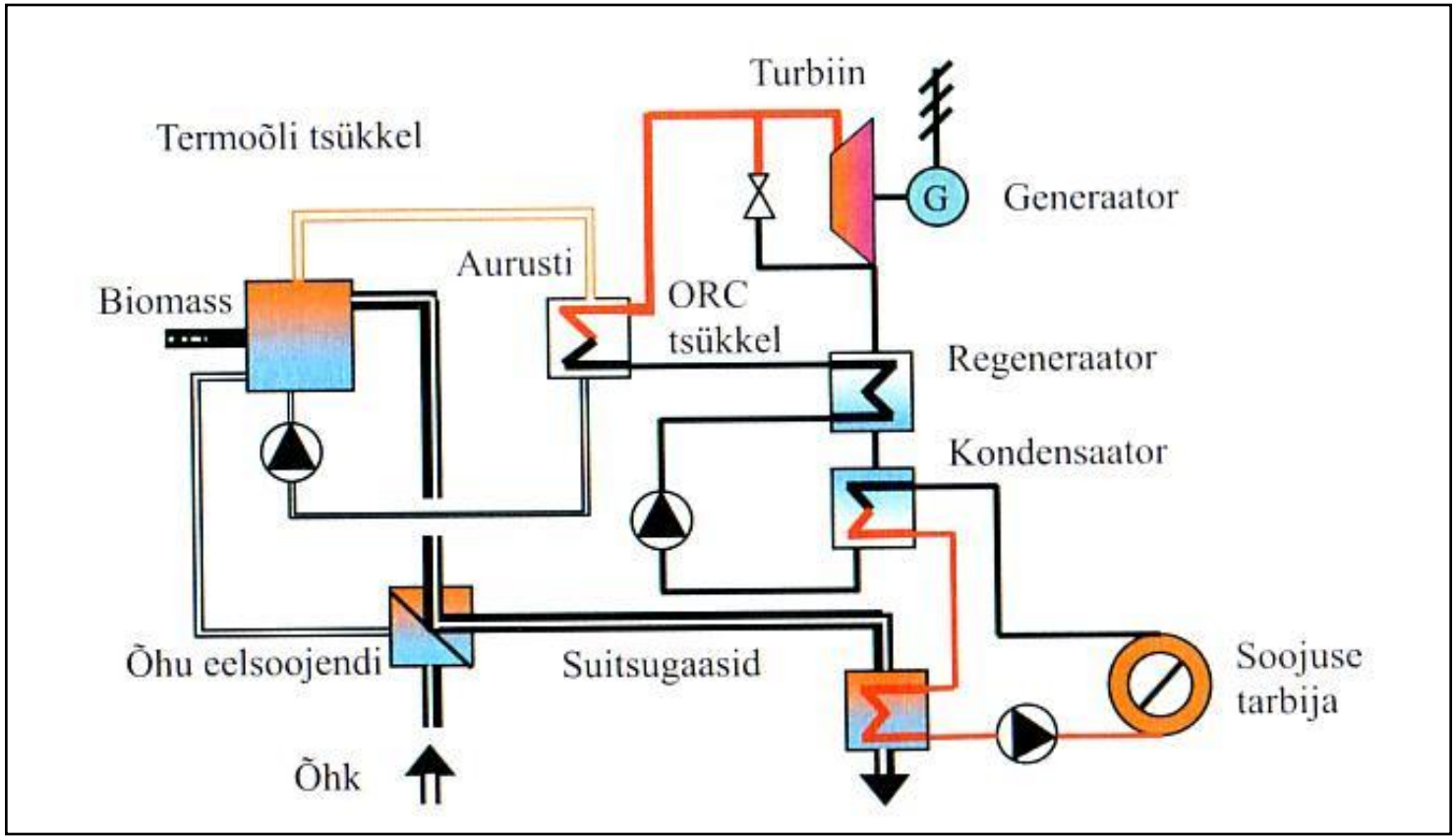
Eelised

- Termoõli on madala rõhuga ja temperatuuriga
- Töötav keskkond (orgaaniline) pole korrodeeriv, see ei kuluta turbiini labasid
- Hoolduskulud on väiksemad kui auruseadme korral
- ORR mooduli lisamine juba olemasolevale biokütuse katlale on suhteliselt lihtne
- Seade on hästi automatiseeritav, praktiliselt mehitamata, hoolduskulud väiksemad kui aurukatla korral
- Ei nõua vee keemiline ettevalmistust
- Müratase on madal
- Väga lai koormuste diapasoon (10-100%) ja kõrgem kasutegur töötamisel madalatel koormustel

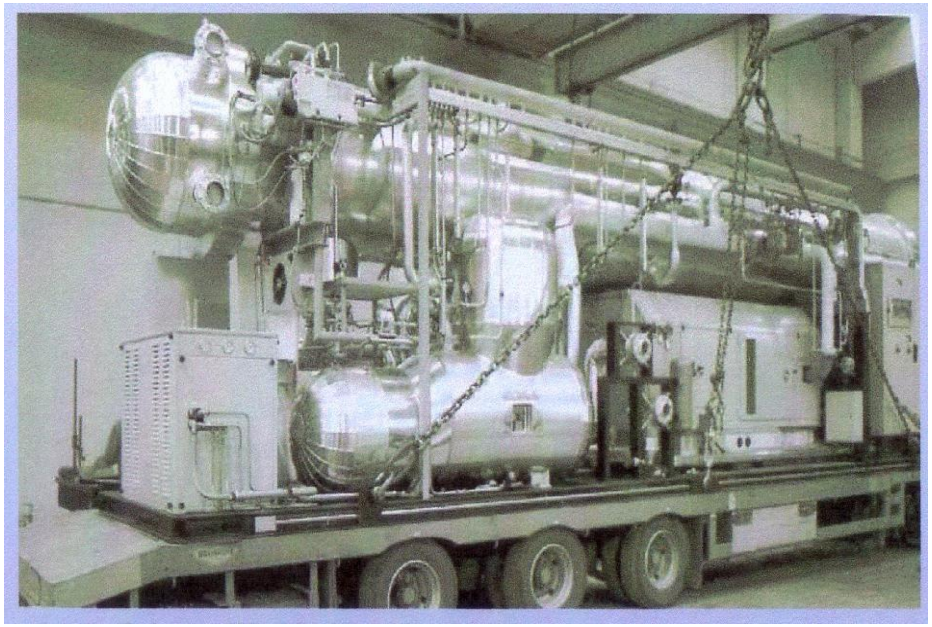
Puudused

- Suhteliselt uus tehnoloogia ja arendustöö jätkub
- Silikoonõli ja teised orgaanilised soojuskandjad on kergesi süttivad, lekkeid ei tohi esineda
- Suhteliselt suured investeeringud, tootjaid veel vähe konkurents puudub

Orgaaniline Rankine`i ringprotsessiga seadme skeem

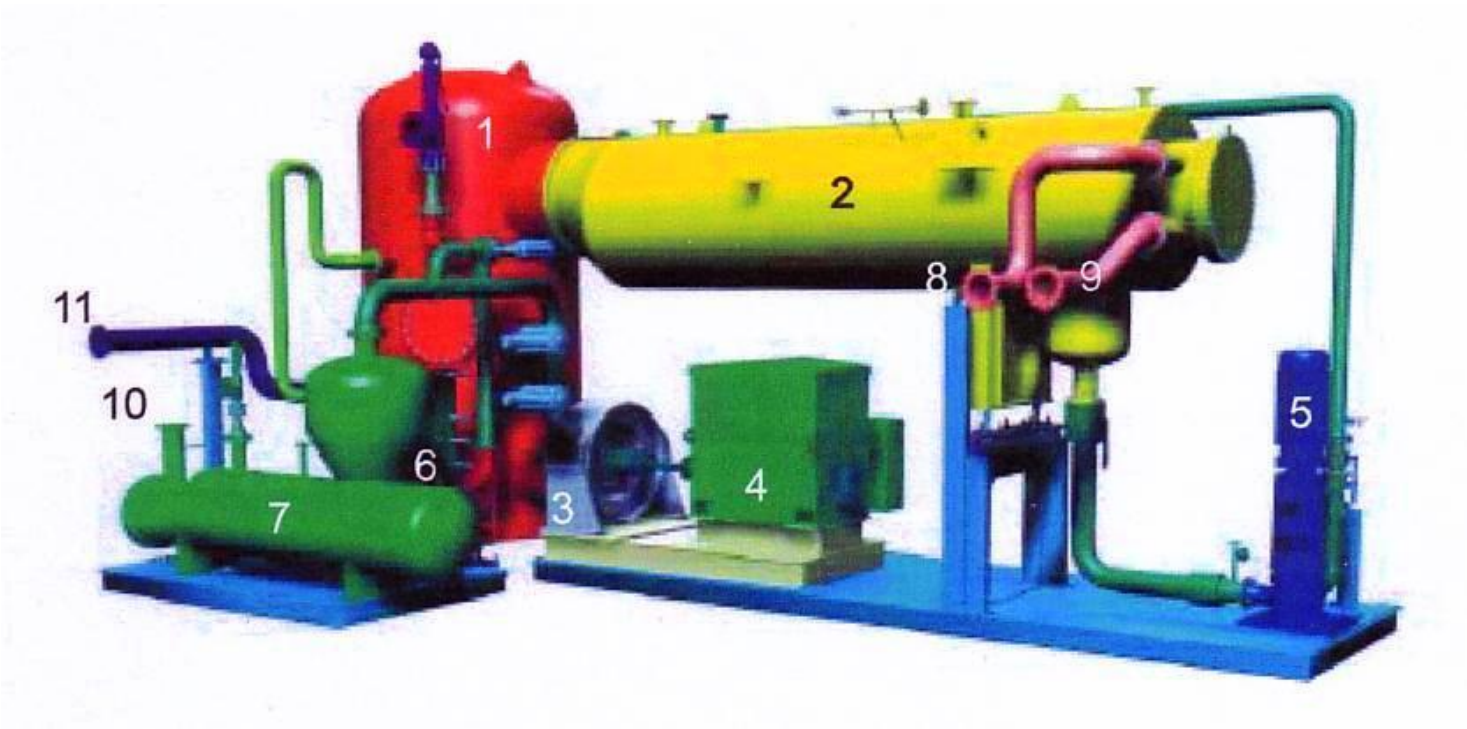


Orgaaniline Rankine`i ringprotsessi seadmestik



Tootjad: Turboden, Itaalia; GMK, Saksamaa; Triogen, Holland

1000 kW_e ORT seade



1- regeneraator, 2 - kondensaator, 3 - turbiin, 4 - generaator, 5 – tsirkulatsiooni pump, 6 - eelsoojendi, 7 –aurusti, 8 - kuumavee sissevooluava, 9 – kuumavee väljavooluava, 10 – termoõli sissevool, 11 – termoõli väljavool

Gaasimootorid

Sisepõlemismootoriga jõuseade, mis põhineb kas **Otto** või **Dieseli** ringprotsessil.

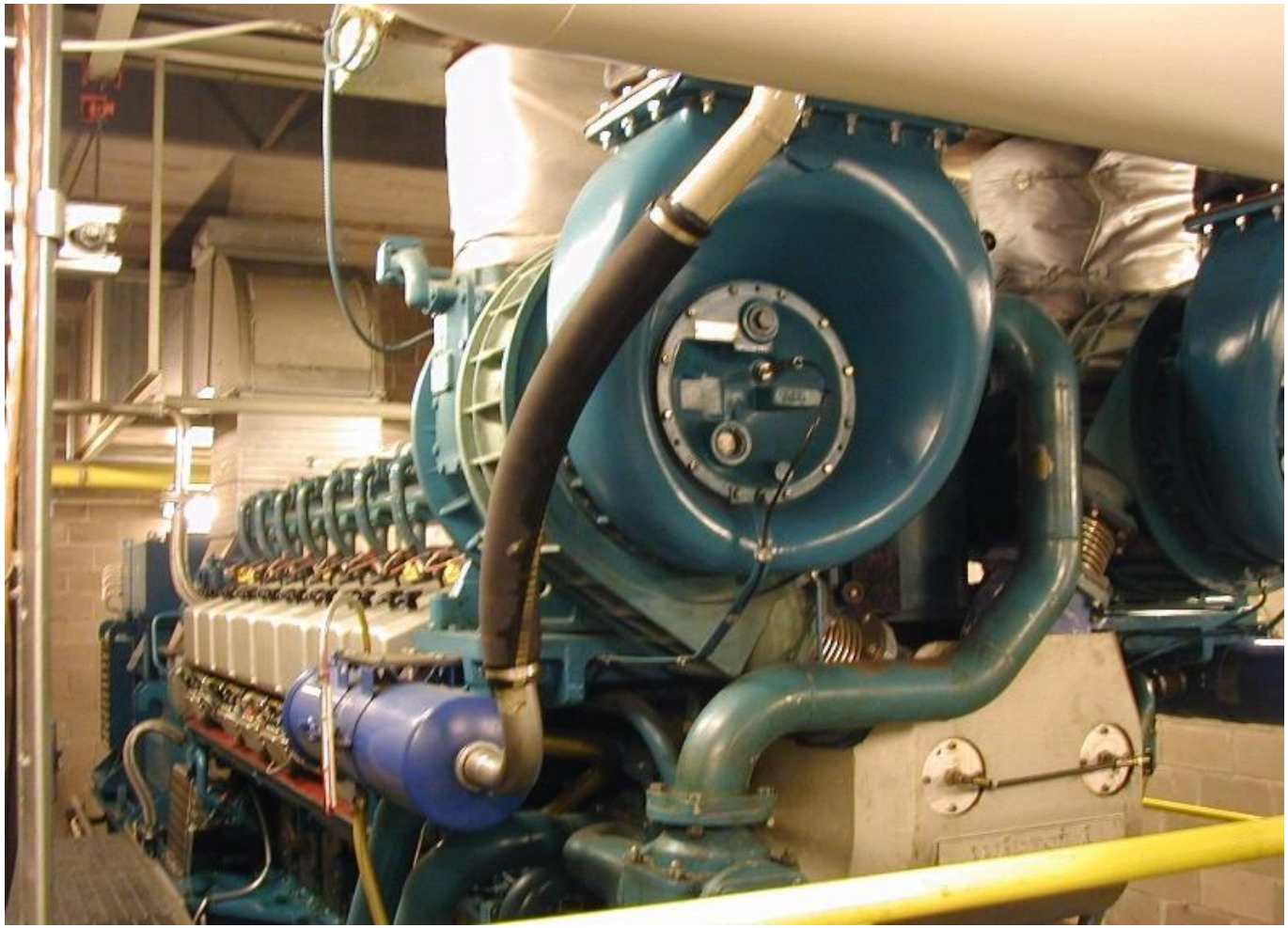
Sisepõlemismootoriga soojuse ja elektri tootmise kasutegur ulatub 89-90%-ni. Otto ringprotsessil töötavad seadmed kasutavad reeglina kütuseks maagaasi ning soojuse ja elektrilise võimsuste suhe on 1,2-1,7

Soojust toodetakse nii heitgaaside arvelt kui ka jahutussüsteemidest. Tüüpilise jõujaama elektriline võimsus on piirides 100 kW - 5 MW, kuid toodetakse ka seadmeid elektrilise võimsusega 9 –20 kW.

Ülevaade väikese võimsusega (kuni 3000 kW_e) elektri- ja soojuse koostootmise seadmetest.

Näitaja	Ühik	Jõuseadmed					
		Otto mootorid		Diiselmootorid		Gaasiturbiinid	
Elektriline võimsus	MW_e	Kuni 0.5 MW_e	üle 0.5 MW_e	kuni 1 MW_e	üle 1 MW_e	0.5 - 3 MW_e	
Pöörete arv	p/min	1500	1000	1500	1000	5000 - 14 000	
Soojuse ja elektri toodagu suhe		1.4 -1.7	1.2 - 1.5	1.4 - 1.5	1.1 - 1.3	2.5 - 3.6	1.9 - 2.3
Elektri tootmise kasutegur	%	32 - 34	33 - 35	35 -36	36 - 37	15 - 27	
Soojuse tootmise kasutegur	%	51 - 55	51 - 55	50 -53	50 - 52	43 - 55	50 -59
Kogukasutegur	%	83 - 89	84 - 90	85 - 89	86 - 89	58 -70	77 - 86
Kasutatavad kütused		**Maagaas**/ Biogaas		Diiselkütus		**Maagaas**/Vedelkütus	
Töötunde kapitaalremondini	h	35 000	50 000	25 000	45 000	20 000	40 000

Gaasimootorid



Gaasturbiinseadmed

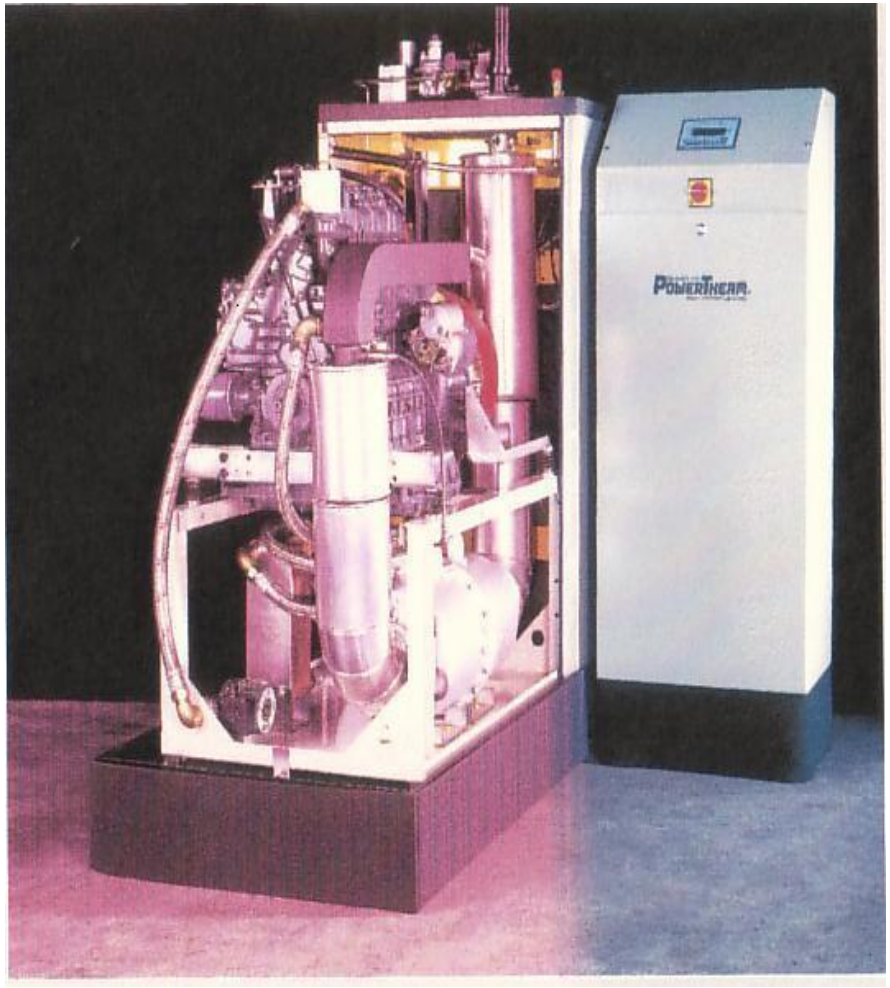
Gaasturbiinseadme töö põhineb Braytoni ringprotsessil. See tehnoloogia on suhteliselt uus ja kasutusele võetud viimase neljakümne aasta jooksul.

Elektrilised võimsused on 250 kW (mikroturbiinid 30kW) Soojust saadakse gaasiturbiinist väljuvate gaaside utiliseerimisel.

Toodetud soojuse ja elektri suhe on piirides 2.0 - 3.5. Koostootmise kogukasutegur väiksematel seadmetel on 70-86 %, kusjuures elektri osa ulatub 30% ja soojusel 55%

Gaasturbiinseadmetele on iseloomulikud madalad hooldekulud ja lühike ehitusaeg.

Mikro koostootmisseade PowerTherm



Kütused: looduslik gaas, biogaas, vedelgaas
Võimsuse reguleerimine: kiiruse muutmine sagedusmuunduriga
Elektriline võimsus 5 - 20 kW_{el}
Soojuslik võimsus 10 - 43 kW_{th}