



TALLINNA  
TEHNIKAÜLIKOOL

**Lokaalsed energialahendused  
ettevõtetele. Tootmine ja salvestus**  
Soojuse ja elektri lokaalne  
väikekoostootmine.

Ülo Kask

Eesti Kaubandus- ja Tööstuskoja infopäev  
7.06.2016, Tallinn



## Mis on soojuste ja elektri koostootmine (SEK)?

- Soojuse ja elektri koostootmine (*Combined Heat and Power or CHP*) on mõlema samaaegne genereerimine nende kasutamise eesmärgil. Kondensatsioonielektrijaamas genereeritakse samuti mõlemat koos, kuid soojust ei kasutata kasulikult (toimub jahutamine kas õhu või vee keskkonnaga) ja soojuste juhtimine atmosfääri. Soojuse maksimaalse kasutamise korral võib SEK-i kasutegur ulatuda 90%ni. Soojuse tarbija võib olla üksikhoone (nt elamu, büroo jt), tööstusettevõtte (tehnoloogiline seade või protsess) kaugkütte/kaugjahutussüsteem.
- SEK-i keskne printsiip on see, et selle eeliste kasutamise eesmärgil peaks kogu süsteemi juhitama soojuste võimalikult täielikult ära kasutamisest lähtuvalt, st lähtuvalt soojuste nõudlusest.
- SEK võimaldab saavutada primaarenergia säästu vahemikus 15-40%, võrreldes elektri ja soojuste lahustootmisega (elekter kondensatsioonijaamas ja soojus katlamajas).



## Miks kasutada SEKi, selle eelised

- Koostootmisega saab optimeerida iga liiki tarbijate energiavarustust ja sellega kaasnevad järgmised nii tarbijate kui ühiskonna eelised laiemalt:
  - Energiamuundamise ja kasutamise tõhustumine. Koostoomine on primaarse ressursi kõige tõhusam muundamine energiaks (soojus/jahutus ja elekter kokku);
  - Koostootmisega kaasneb, võrreldes lahustootmisega, väiksem kasvuhoonegaaside heide. Oluline vahend Kyoto eesmärkide saavutamiseks;
  - Suur kulude kokkuhoid, pakkudes täiendavat konkurentsivõimet tööstus- ja äritarbijatele ning pakub taskukohast soojust kodutarbijatele (nt Eestis olevates kaugküttevõrkudes, kuhu edastatakse biogaasijaamade koostootmisseadmete soojust on selle soojuse hind 30 €/MWh ringis);
  - Võimalus kasutada rohkem hajutatud energia tootmist, kus SEKid on projekteeritud täpsemalt kohalike tarbijate energiavajaduse rahuldamiseks, pakkudes kõrget efektiivsust ja paindlikkust, vältides ülekandekadusid. Sageli on see juhtudel kui maagaas või biogaas on energiakandja;



## Miks kasutada SEKi, selle eelised, 2

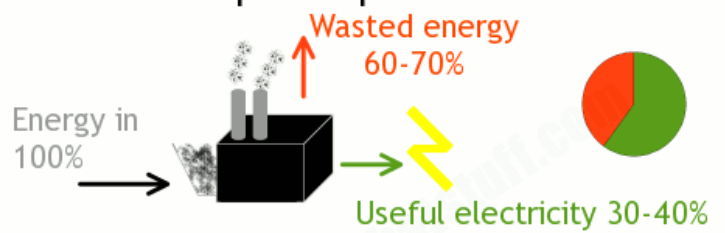
- Paraneb kohalik ja üldine varustuskindlus - kohalik koostootmine võib vähendada nii elektri- kui soojusvarustuse riski. Lisaks võivad väheneda importkütuse tarnetest tulenevad riskid (kui kasutatakse kodumaiseid kütuseid). Oluline Euroopa Liidus eesmärgiks võetud ülesannete täitmiseks;
- Võimalus suurendada elektritootmisüksute mitmekesisust ning pakkuda konkurentsi elektriturul. Koostootmine on üks kõige olulisem vahend energiaturu liberaliseerimiseks;
- Piirkondlik koostootmine suurendab tööhõivet - mitmete uuringute järel on: SEK süsteemide arendamine on töökohtade generaator.



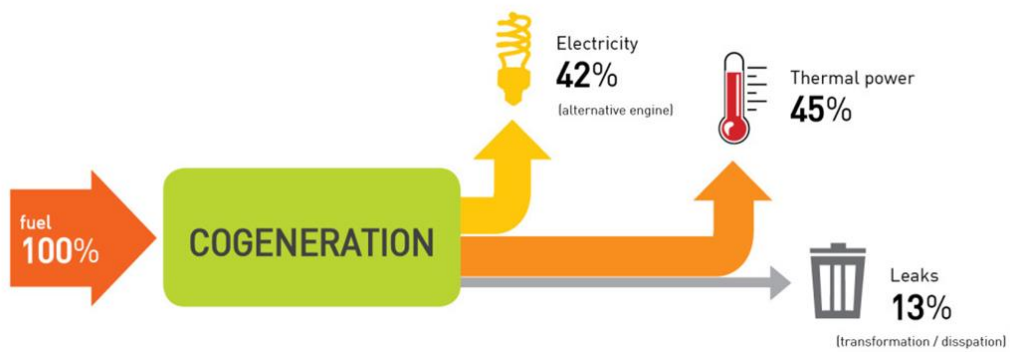
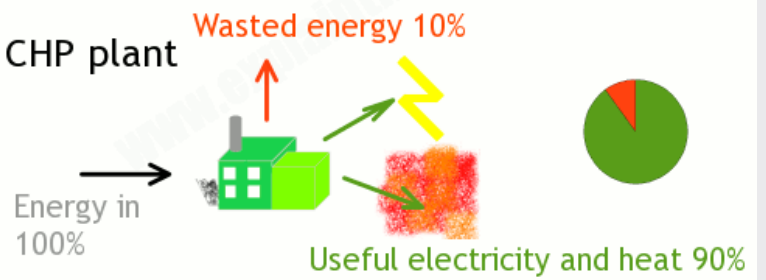
# SEK tootmise tõhusus

## Conventional power plant

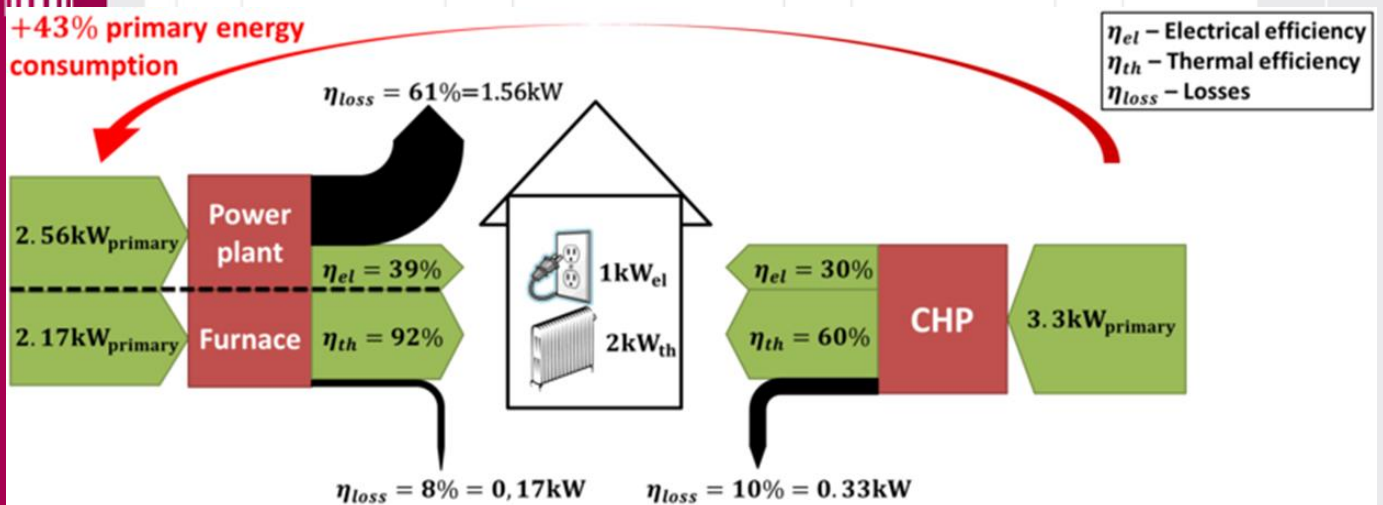
www.explainthatstuff.com



## CHP plant



# Energia muundamise tõhusus



**Lahus tootmine:** võimsus primaarenergia järgi –  $4,73 \text{ kW}$ , kasulikult saame  $1,0 \text{ kW}_{el}$  ja  $2 \text{ kW}_{th}$  soojust. Edastamisel elektrivõrgu kaudu lisanduvad võrgukaod.

**Koostootmine:** võimsus primaarenergia järgi –  $3,3 \text{ kW}$ , kasulikult saame  $1,0 \text{ kW}_{el}$  ja  $2 \text{ kW}_{th}$  soojust.

Primaarenergia kasutuse tõhususe kasv on 30%. Kui on kaugküttevõrk, siis lisandub soojuse kadu edastamisel.

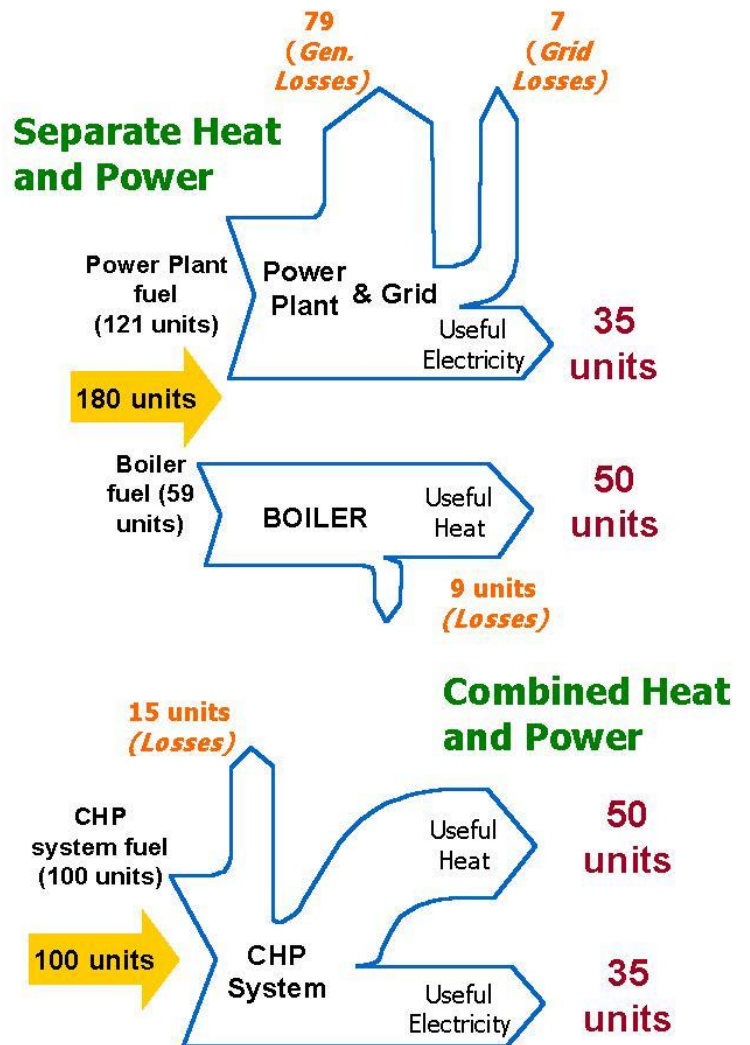
## Selgituseks eelmisele joonisele

- Traditsiooniliselt köetakse eramuid ahjudega ja kaugküttevõrgu tarbijaid katlamajadega ja elekter pärineb kondensatsioonrežiimil töötavatest elektrijaamadest.
- Kütuste põletamisel põhinevate energia tootmise süsteemide (või tuumakütuse süsteemide), on need siis gaasi- või auruturbiinid või sise põlemismootorid, tõhususe piirab termodünaamika (termodünaamika II seadus) ja suur hulk energiat kaotatakse jääksoojusena (hajub keskkonda). Kogu kadu on summa elektri tootmise kaost ja soojuse tootmise kaost. Seega kokku on efektiivsus madal.
- Tootes samaväärses koguses soojust ja elektrit koostootmise režiimil on see märksa tõhusam, kui saame kaasneva soojuse kasulikult kasutada. Seega süsteemi kasutegur suureneb ja kogusummas kaotame palju vähem energiat soojusena.





# Soojuse ja elektri lahus- ja koostootmise tõhususe võrdlus





## **MKM määrus: Tõhusa koostootmise nõuded,** vastu võetud 03.05.2007, nr 30

- **§ 5. Tõhususe nõuded**

- (1) Koostootmine loetakse tõhusaks, kui:
  - 1) käesoleva määruse § 4 punktides 2 ja 4–8 nimetatud tehnoloogiaid kasutades on aruandlusperioodi üldkasutegur vähemalt 75% ning käesoleva määruse §-s 6 esitatud valemiga arvutatud primaarenergia sääst on vähemalt 10%;
  - 2) käesoleva määruse § 4 punktides 1 ja 3 nimetatud tehnoloogiaid kasutades on aruandlusperioodi üldkasutegur vähemalt 80% ning käesoleva määruse §-s 6 esitatud valemiga arvutatud primaarenergia sääst on vähemalt 10%;
  - 3) tootmine väikekoostootmisjaamas või mikrokoostootmiseseadmega tagab primaarenergia säästu;
  - 4) üle 25 MW<sub>e</sub> elektrilise võimsusega koostootmiseseadme aastane üldkasutegur on üle 70% ning käesoleva määruse §-s 6 esitatud valemiga arvutatud primaarenergia sääst on vähemalt 10%.
- (2) Kui käesoleva paragrahvi lõike 1 punktis 1 nimetatud koostootmisprotsesside üldkasutegur aruandlusperioodi jooksul on väiksem kui 75% ja sama lõike punktis 2 nimetatud koostootmisprotsesside üldkasutegur aruandlusperioodi jooksul on väiksem kui 80%, arvutatakse koostootmise protsessis toodetud elektrienergia kogus etteantud valemiga.

<https://www.riigiteataja.ee/akt/12825847>

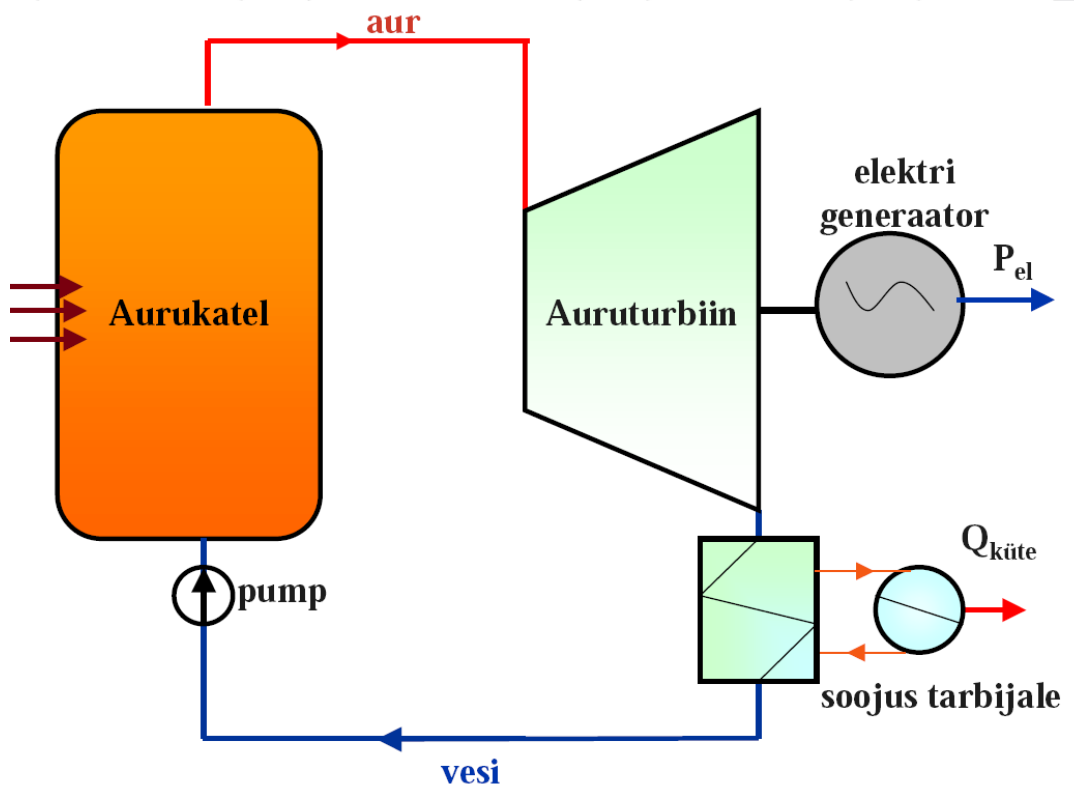


## Koostootmisseadmete liigitus

- Koostootmisüksusi eristatakse esiteks süsteemi suuruse järgi ja see põhineb elektrilisel väljundvõimsusel.
- Tavaliselt mikro-koostootmise väljundvõimsus väiksem kui 5 kilovatt (kW), samas mini-koostootmine on üle 5 kW ja vähem kui 500 kW. Väikekoostootmine alla 1MW<sub>el</sub>.
- Mikro-SEK süsteemid on tavaliselt paigaldatud kodudesse (väiketarbijad) ning on soojusvajaduse järgi reguleeritud. See tähendab, et need lülitatakse tööle, kui on olemas soojusvajadus ehk kõrvalsaadus elektri tootmisel.
- On olemas järgmisi mikro- ja väike koostootmise üksusi (seadmeid):
  - Turbiinid (auru- ja gaasiturbiinid, KÕ-turbiinid),
  - Sisepõlemismootorid (Otto ja Diesel mootorid),
  - Välispõlemismootorid (Stirling ja tsüklonmootorid),
  - Kütuseelemendid,
  - Aurumootorid.

## Auruturbiinil põhinev soojuse ja elektri koostootmine

Kütus





## Auruturbiinide eelised-puudused

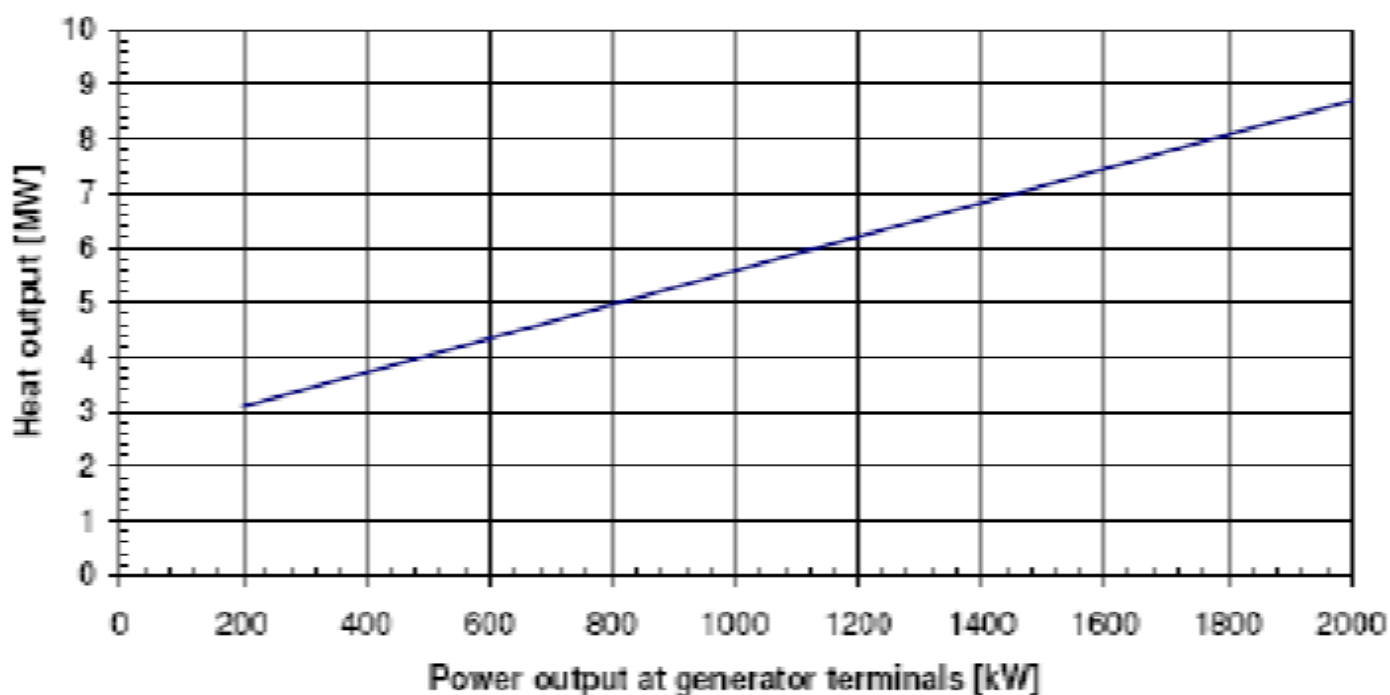
- Seadmed hästi välja arendatud, töökindlus on kõrge,
  - Erinevate võimsuste lai valik,
  - Koostootmisjaamade levinuim tehnoloogia,
  - Enimsobivad suurtele ühtlastele koormustele.
- 
- Madalate koormuste halb taluvus,
  - Hoolduskulud on kõrged ja vajavad spetsialiste,
  - Vajalik toitevee hea ettevalmistus,
  - Väikesel võimsusel  $\sim 1$  MW ja alla selle on madal elektriline kasutegur,
  - Kõrgem kasutegur on seotud kõrgemate auruparameetritega, mida väikese tootlikkusega katlas ja niiske puitkütuse puhul on raske või ebaotstarbekas saavutada,
  - Koostootmisjaama erimaksumus väikse võimsusega turbiini kasutamisel on kõrge.

# Auruturbiiniga SEKi soojusliku ja elektrivõimsuse vahetuskord

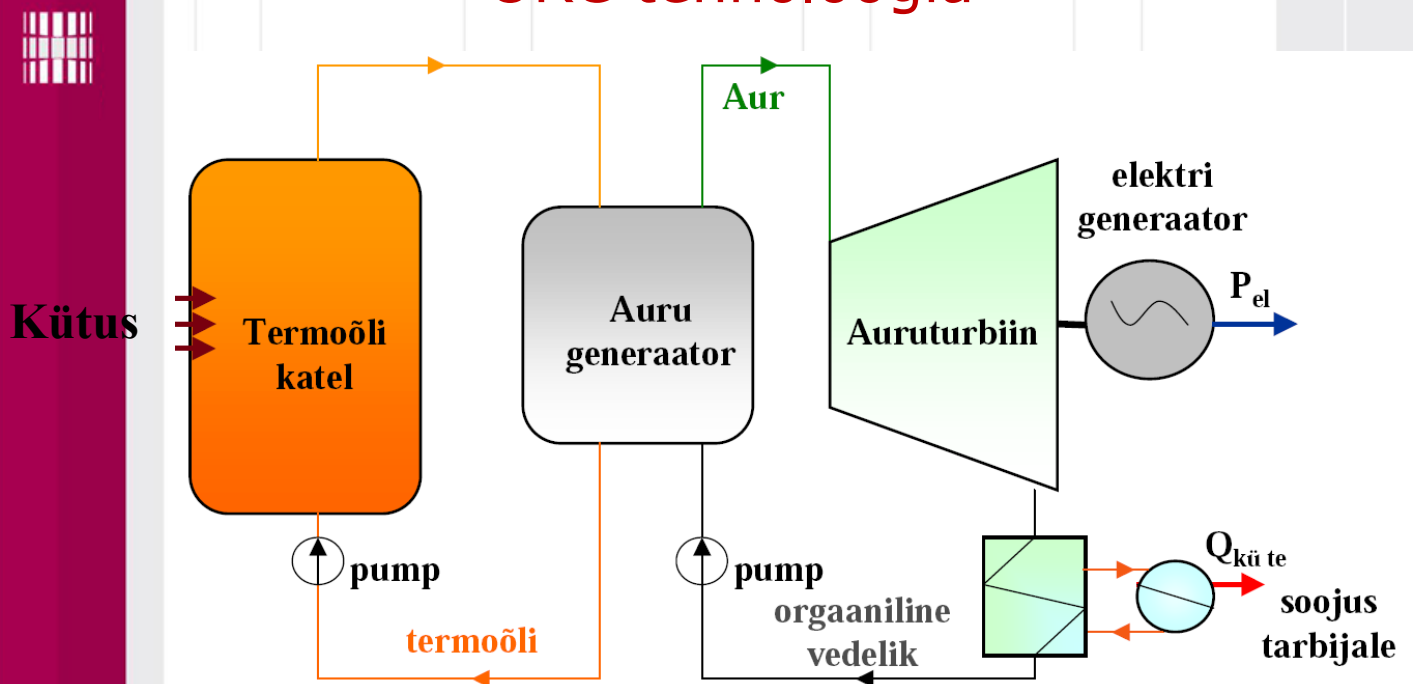


BioPower2-DH  
Plant characteristics  
13 t/h, 480 °C, 26 bara, T<sub>dh</sub>=90/50 °C,

Tavaliselt auruturbiiniga koostootmisjaamade võimsus algab 2 MW<sub>el</sub>.



## ORC tehnoloogia



Organic Rankine Cycle, orgaanilise soojuskandjaga tsükkel:

- CFC ühendid, freoon, isopentaan, Genetron 245fa, erinevad silikoonvedelikud.

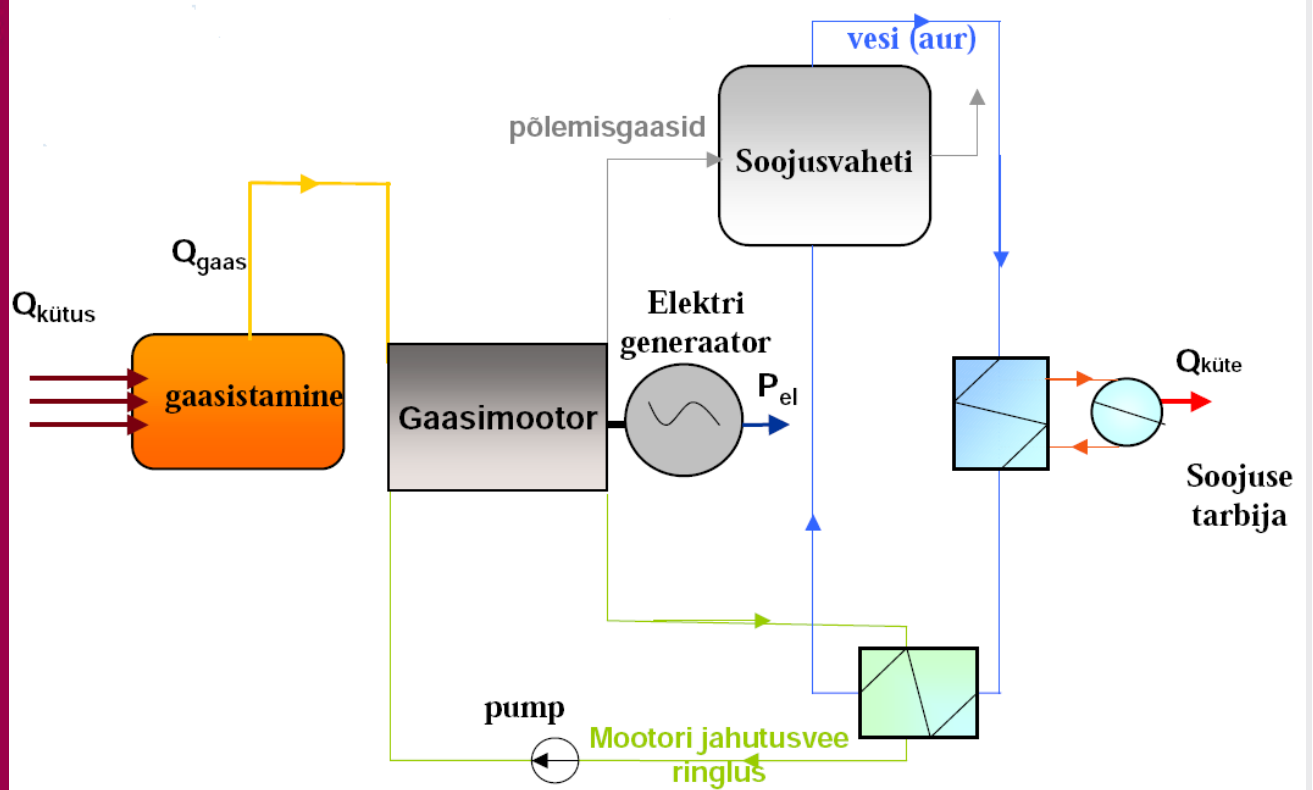


## ORC tehnoloogia eelised-puudused

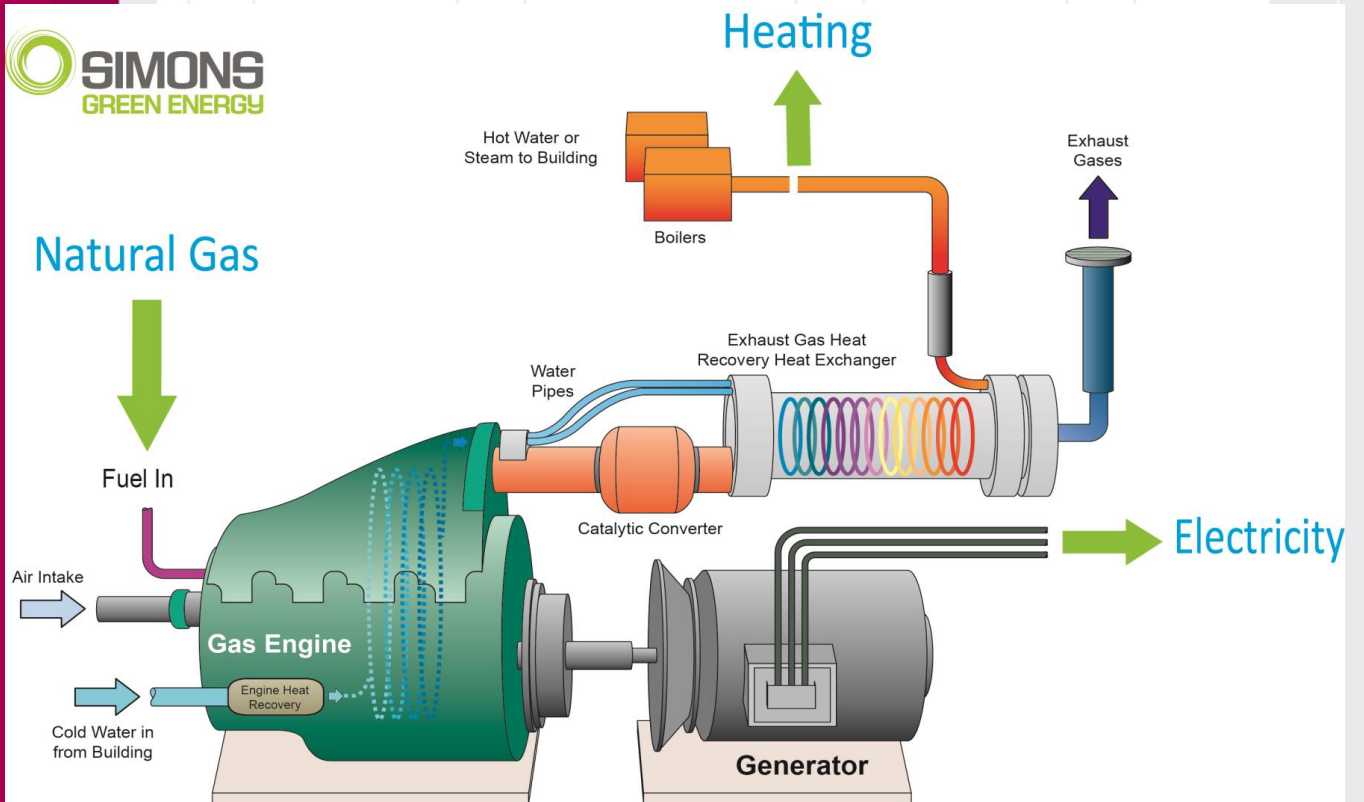
- Termaalõli katel töötab madalama rõhu ja temperatuuriga kui aurukatel,
- Võrreldes veeauruga ei ole orgaaniline vedelik korrodeeriv ja kulutab vähem turbiini,
- Hoolduskulud on väiksemad kui auruseadme puhul,
- Puudub vee ettevalmistus,
- Lai koormusdiapason (10 - 100 %) ja kõrgem kasutegur töötamisel osalise koormusega.
  
- On vajalik kallis termaalõli tsükkel,
- Suhteliselt uus tehnoloogia, arendustöö jätkub,
- Suhteliselt suured investeeringud (madal konkurents, vähe tootjaid),
- Orgaaniline vedelik on kergelt süttiv võib olla mürgine.
  
- ORC mooduli maksumus on ca 25% koostootmisjaama maksumusest



# Gaasistustehnoloogial SEKId



# Gaaskütusel põhineva SEK seadme skeem





## Sisepõlemisega kolbmootorid I

- Sisepõlemisega kolbmootoritel põhinevad koostootmisseadmed võimsusega vähem kui 500 kW maksavad vahemikus 800 kuni 3,020 \$/kW, kusjuures mida väiksemad seadmed, seda kõrgem ühikhind.
- 5,5 kWe mikro CHP - 3300 €/kWe, välja arvatud tipusoojuse seade ja paigaldus.
- 3 kWe  $\mu$ -CHP - 3960 €/kWe, välja arvatud tipusoojuse seade ja paigaldus.



## Sisepõlemisega kolbmootorid II

- Nii kasutegurid kui ka hinnad sõltuvad oluliselt võimsusest:
  - 1 kW<sub>e</sub> ca 6000 €/kW<sub>e</sub>, elektritootmise kasutegur ca 20%;
  - 10 kW<sub>e</sub> ca 2500 €/kW<sub>e</sub>, elektritootmise kasutegur ca 27%;
  - 20 kW<sub>e</sub> ca 2000 €/kW<sub>e</sub>, elektritootmise kasutegur ca 29%.

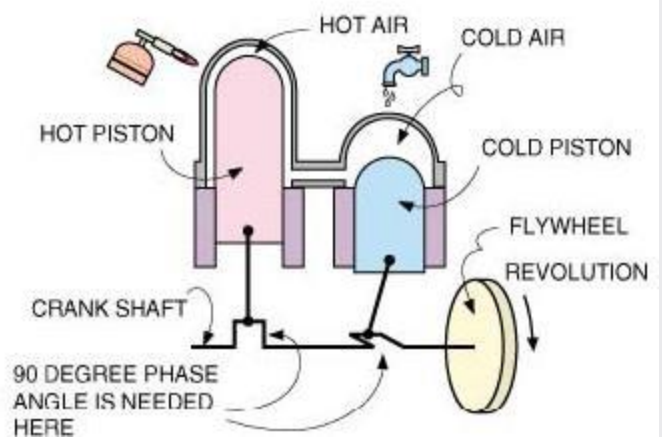


## Gaasimootorite eelised-puudused

- Gaasimootori kogu kasutegur on üle 85%,
- Kõrge elektriline kasutegur ( 30 – 45 % ),
- Suhteliselt väike gaasimootori hind,
- Tehnoloogia tuntud, juba kaua kasutusel.
  
- Kõrge müratase,
- Gaasimootorite eluiga sõltub otseselt gaasi kvaliteedist,
- Iseloomulik silindrite, rõngaste, kepsu- ja raamlaagrite kulumine,
- Efektiivse generaatorgaasi puhastustehnoloogiate ebapiisav areng,
- Puhastusseadmete (katalüsaatorite) kõrge hind.

## Välispõlemisega kolbmootorid

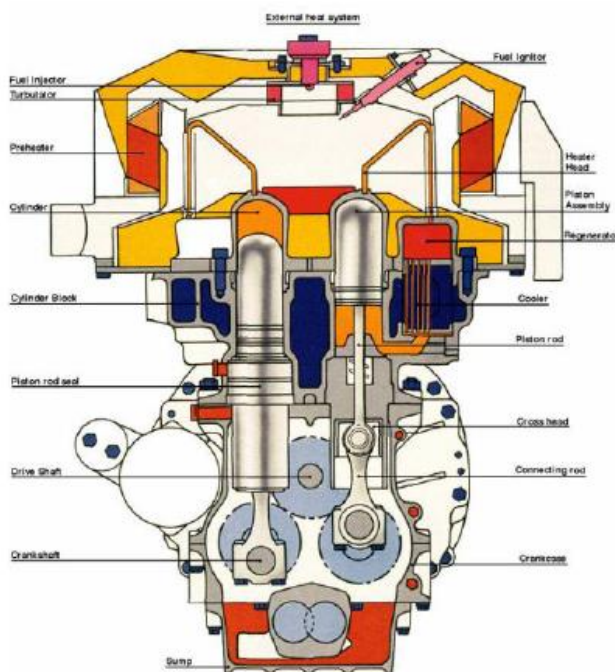
Tuntuim - Stirling mootor



Stirling mootor erineb siseõlemismootorist selle poolest, et silindrid on suletud ja põlemisprotsess toimub väljaspool silindreid. Kolvid paneb liikuma gaasi rõhkude vahe, mis tekib silindri välispinna kuumutamisel ja jahutamisel. Töökehaks ehk gaasiks võib olla isegi õhk kuid efektiivsemad on vesinik, heelium. Mootor käivitab tavaliselt sünkroongeneraatori.



## Välispõlemisega kolbmootorid II



Gaasi kuumutatakse ja jahutatakse perioodiliselt selle juhtimisega vaheldumisi kuuma ja külma ruumi. Stirlingmootori silindris on kaks omavahel kooskõlastatult liikuvat kolbi - **töökolb**, mis annab kuumutatava gaasi paisumistöö edasi vääntvõllile ja **väljatõrjekolb**, mis suunab kuuma paisunud gaasi jahutatavasse külma ruumi.



## Välispõlemisega kolbmootorid III

- Kaasajal on jõutud Stirling-mootoritega koostootmisseadmete elektrilise kasutegurini 40 %, süsteemi kogukasuteguri 65 – 85 % juures. Stirling mootoreid iseloomustab hea võime töötada efektiivselt ka osalise koormusega, nt 50 % koormuse juures jääb kasutegur piiresse 34-39 %.
- Kuna tehnoloogia ja seadmed on arendusfaasis ei leidu statistikas andmeid nende mootorite töökindluse ja kättesaadavuse kohta.
- Eeldatakse et töökindlus on võrreldav diiselmootori omaga, kusjuures aastane kasutatavus oleks 85-90% koguajast. Töötab tõhusamalt külmas kliimas.



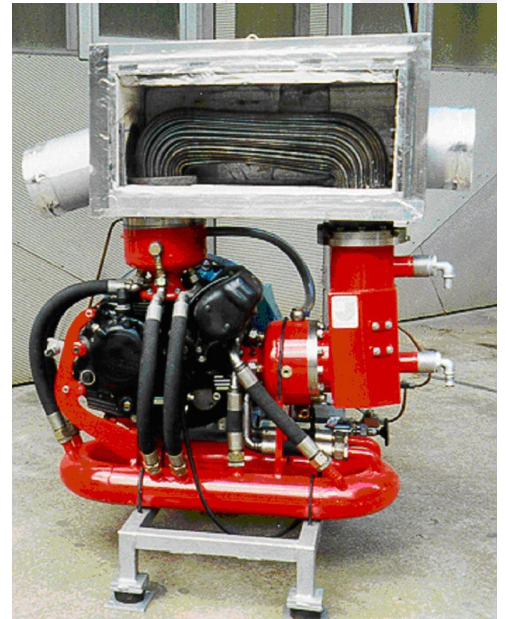
## Välispõlemisega kolbmootorid IV

- Stirling mootoriga CHP soetuskulu on väga kõrge. 2011. aastal ühe Hollandi firma mudel maksis (võimsus 1 kW<sub>e</sub>) 10,000 €.
- Ühes 2010. aasta allikas maksis 1 kW<sub>e</sub> CHP 6,000 €, ja kui lisada veel tipusoojuse seade ja korsten tuleks maksta 2500-3500 € juurde.



*Pelletitel  
töötav  
seade*

*Maagaasil  
töötav seade*

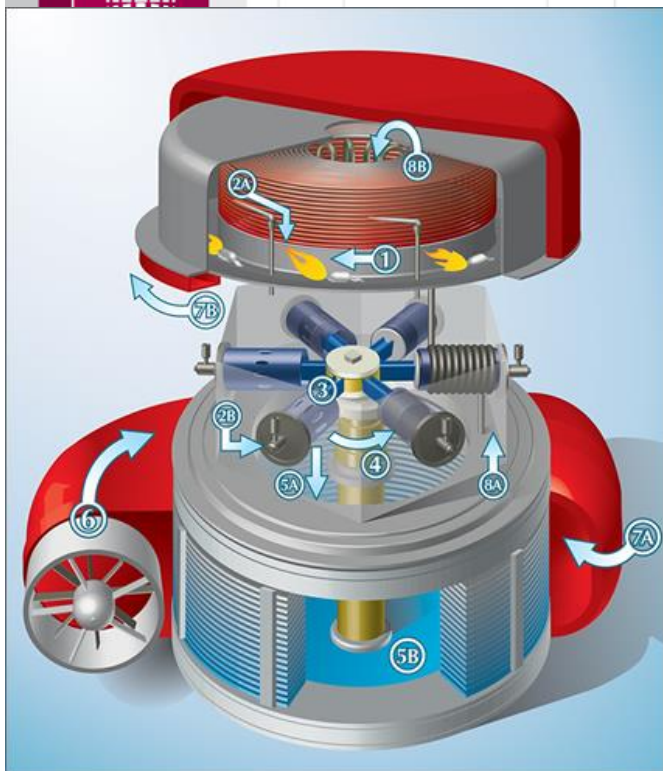


# CHP- Puugaasigeneraator koos Stirlingmootoriga



*Reaalselt töötav seade Iirimaal,  $W = 35 \text{ kWel}$ .*

## Välispõlemisega kolbmootorid V - tsüklonmootor

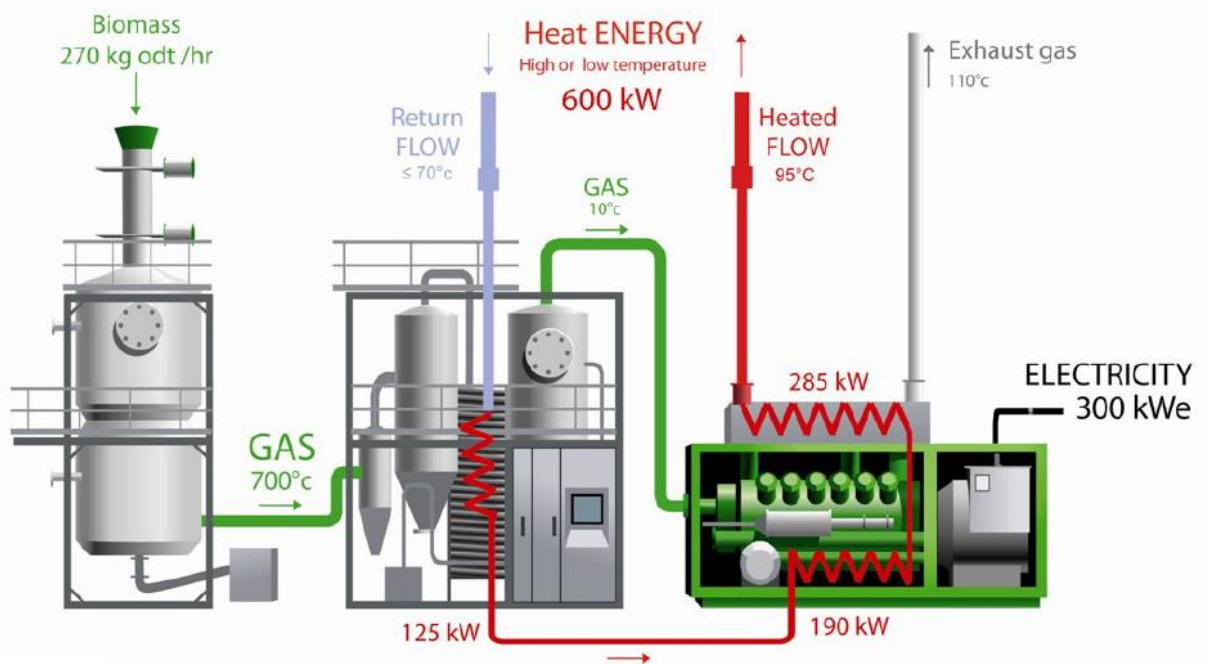


*Seade ise ja paljud süsteemid on patenteeritud*

- See on regeneratiivsel Rankine tsükliil, tuntud ka Schoell'i tsükli nime all, põhinev mootor.
- Mehaaniline energia saadakse suletud ringis liikuva vee kuumutamisel ja jahutamisel ning liikuvate kolbide kaasabil.
- Kütus pihustatakse ja imetakse spiraalsesse põlemiskambrisse 1.
- Selle siseosas kuumutatakse vesi ülekuumendatud auruks 5 sek (650°C) ja juhitakse spetsiaalsete klappide kaudu silindritesse. Auru rõhk 220 baari.
- Kolbide liikumine kantakse patenteeritud ülekandesüsteemi abil võlli 4 pöörlemiseks. Kolbe jahutatakse kõrgsurveveega.
- Töötanud aur kondenseeritakse sisseimetava õhuga 6. 160°C õhk läheb põlemiskambrisse.

## Puidu gaasistamisel (pürolüüsil) põhinevad soojuse ja elektri koostootmise jaamad

Puidu gaasistamine, protsess, mida tuntakse sajandeid, on praktiliselt ainuke majanduslikult atraktiivne võimalus pidevaks soojuse ja elektri tootmiseks väikestes detsentraliseeritud energiavarustusüsteemides puitjäätmetest.



info@xylowatt.com

Global efficiency = 75% (25% electricity, 50% heat)



## Spanner Re<sup>2</sup> GmbH Wood-Power-Plant.

Joos-carburetor™ eriline seade on väike reguleeritav gaasigeneraator. See võimaldab toota gaasistusseedmeid võimsuse vahemikus 30 - 50 kWel and 70 - 110 kWth.

Lähtematerjaliks kasutatakse kaubanduslikku hakkpuitu, milles peenosakeste sisaldus peab olema alla 30%, niiskus ~15%.

**Hakkpuidu vajadus: 1 kW elektrilise võimsuse kohta umbes 1 kg tunnis**



deutsche Wertarbeit



Volter  
OY  
SEK  
seade

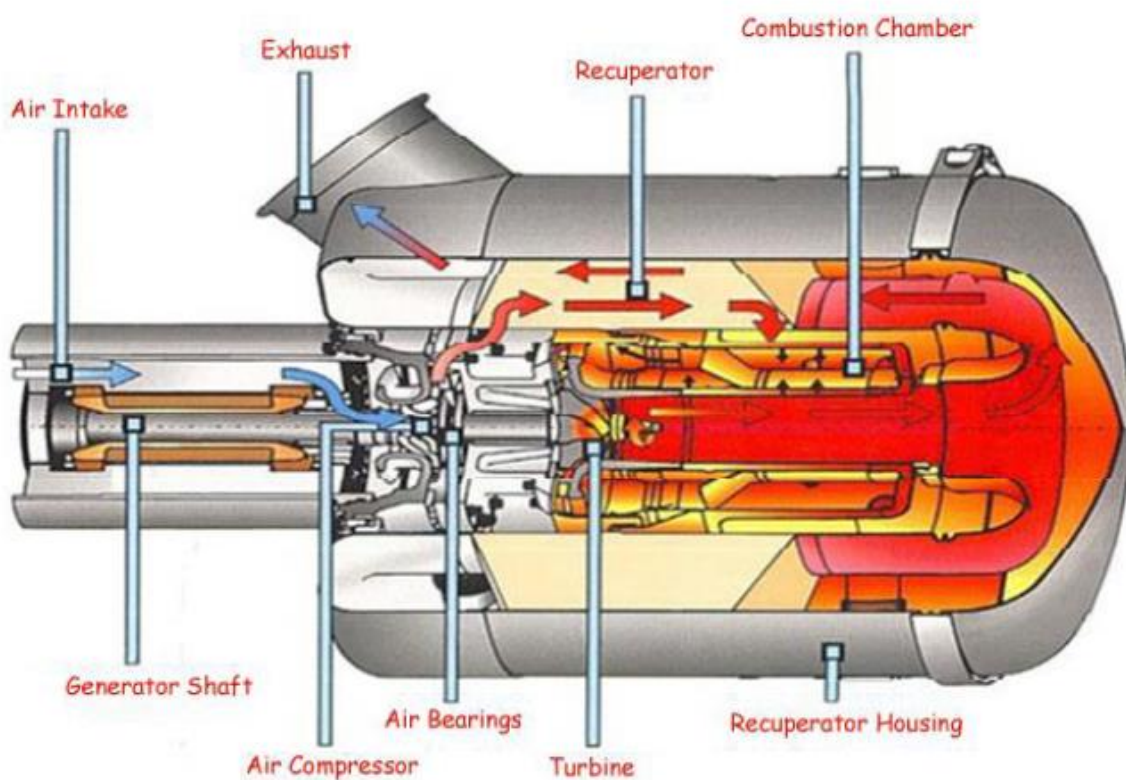
## Puitkütuse gaasistamisel põhinev SEK, puugaasigeneraator + gaasimootor

Väljundvõimsus 40 kWel  
ja 120 kWth



**GENERAATORI VÕIMSUS:** 45kW (seadme omatarve 1-2kW);  
**SOOJUSVÕIMSUS:** 100 kW veega+ 20 kW õhuga;  
**PEALEVOOL TRASSI:** + 85-90°C;  
**TAGASIVOOL SEADMESSE:** max +65°C;  
**REGULEERIMISVAHEMIK:** automaatselt reguleeritav 30% kuni 100%.

# Mikroturbiini ristlõige





## Mikrogaasiturbiine



30-60 kW Capstone turbiin



*Kui 2000. aasta paiku olid elektrilised kasutegurid 17-30% ja NO<sub>x</sub> sisaldus heitgaasides kahekohalise numbriga mõõdetav (ppm), siis alates 2007-2010 on saavutatud kasuteguri väärtusi üle 40% ja NO<sub>x</sub> sisaldus mõõdetav ühekohalise numbriga (ppm). Kasutegur alumise kütteväärtuse järgi.*

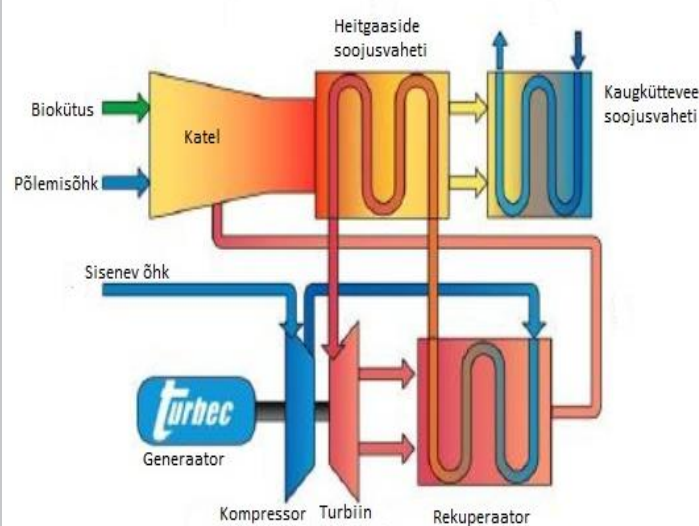


## Mikroturbiiniga CHP elamutekompleksis, Londonis



- 1960'ist 12 kordne hoone
- Katab 72 korteri kütte ja elektri vajaduse
- Turbogen TG50CG
- Elektriline võimsus 50 kWe
- Soojuslik võimsus 108 – 275 kWth peamiselt soe tarbevesi
- 6,000 töötundi aastas.
- Turbogen TG50CG - 50000 £
- Toodetud energia/a - 24000£
- Käidukulu /a - 14000£
- Aastane sääst - 10000£
- Lihttasuvus - 5 aastat

## Soojuse ja elektri koostootmine hakkpuidukatla ja kuumaõhu turbiiniga



Võimsus  $100 \text{ kW}_{\text{el}}$  ja  $300 \text{ kW}_{\text{th}}$ ,  
 $800 \text{ MWh}_{\text{el}}$  ja  $2500 \text{ MWh}_{\text{th}}$   
aastas

[www.ecogen.fi](http://www.ecogen.fi)



## Mõned biokütustel kaubanduslikud mikro CHP seadmed, (2010)

<i>Technology</i>	<i>fuel</i>	$P_e$ ( $kW_e$ )	$P_{th}$ ( $kW_{th}$ )	<i>Total efficiency</i>	<i>Price</i> €/kW <sub>e</sub>	<i>Country</i>	<i>Manu- facturer</i>
Stirling	pellets	1	15			AT	KWB
Stirling	pellets	2 – 3	7 – 11	> 85 %	8000	DE	Sunmachine
Stirling	pellets, chips, peat	9	50	> 85 %	8000	FI	Ekogen Oy
Stirling	gas, biomass, pellets	2 – 9	8 – 26	90 %		SE	Cleanergy
gasification + ICE	wood, chips, pellets, bio- waste	50 – 500	100 – 1000	75 - 90 %		FI	Gasek
gasification + ICE	chips	30	80		5000	FI	Volter
gasification + ICE	chips, pellets	4 – 250				IN	Ankur Scientific
Stirling	chips, biomass, biogas	35 – 140	140 – 560			DK	Stirling.dk
external combustion microturbine	wood chips, pellets	25	80			UK	Talbott's

## Kütuseelement – *fuel cell*



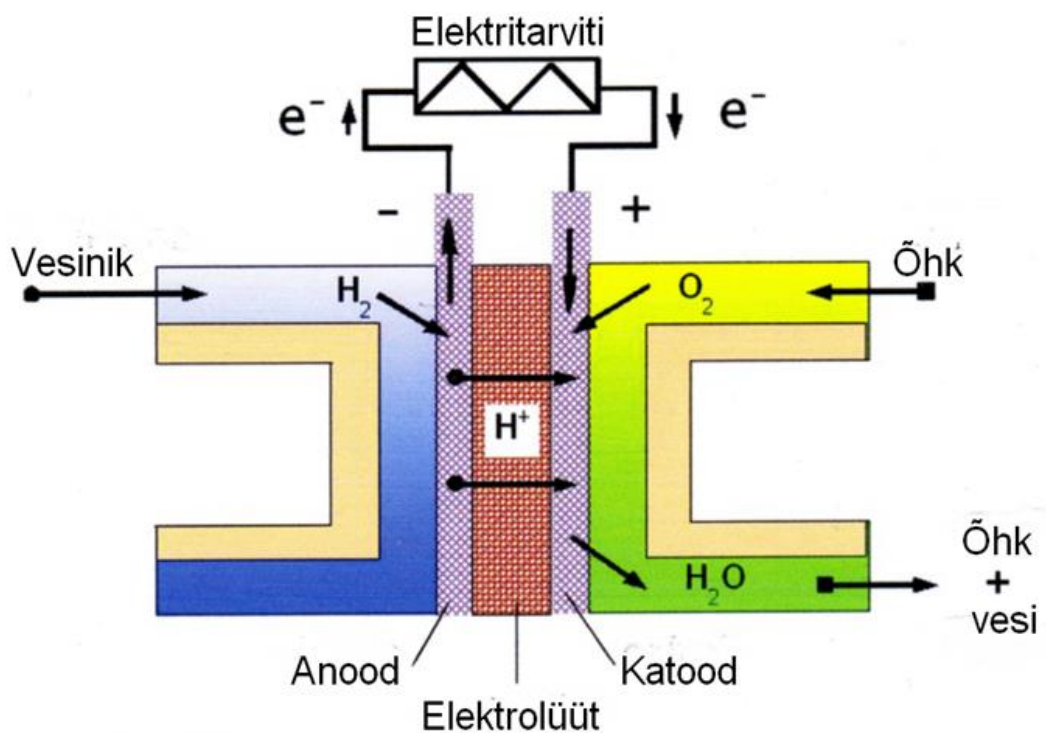
- **Kütuseelement** on keemiline vooluallikas, milles saadakse elektrienergiat juurdeantava kütuse oksüdeerimisel vabaneva energia arvel. Oksüdeerijaks on õhk või hapnik ja kütuseks nt vesinik (põlevgaasid).
- Niisugust energiamuundurit võib käsitada kui galvaanielementi, mille elektrokeemilise reaktsiooni jaoks tarvilik aine ei paikne lõpliku kogusena elemendi sees, vaid seda antakse väljastpoolt pidevalt juurde.
- Niiviisi on võimalik saada kütusest vahetult elektrienergiat.



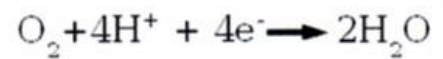
## Kütuseelemendi ehitus

- Kütuseelement koosneb elektrodidest – anoodist ja katoodist, mida eraldab ioone juhtiv membraan või elektrolüüt.
- Elektroodiplaadid on metallist, nanopoorsest süsinikust või keraamikast. Reaktsioonide kiirendamiseks (eriti madalatel töötemperatuuridel), on elektrodid kaetud katalüsaatori (plaatina, pallaadiumi) kihiga.
- Elektrolüüdiks, mille ülesandeks on juhtida ioone (kuid mitte elektrone), võib sõltuvalt tüübist olla happe või leelise lahus, samuti tahke aine polümeermembraani kujul, kõrgetemperatuurilistes elementides keraamiline materjal.
- Elektrienergia tootmiseks vajab element anoodil vesinikku või orgaanilist ühendit, näiteks metanooli, metaani või sünteesgaasi, ja katoodil hapnikku. Neid reaktsiooni-komponente tuleb kütuseelemendi elektrodidele pidevalt juurde anda.
- Vesinik-hapnik-kütuseelemendi pinge on temperatuuril 25 °C teoreetiliselt 1,23 V, praktiliselt saavutatud väärtused jäävad vahemikku 0,5 – 1,0 V. Vajaliku pinge saamiseks moodustatakse elementidest järjestikpatarei.

## Polümeerelektrolüüdiga kütuseelemendi ehituse ja talitluse skeem



Oksüdatsioon



Reduktsioon

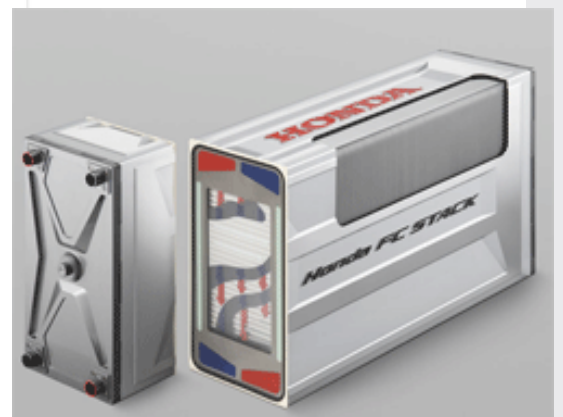
## Vesinikus peituv keemiline energia muundub elektrienergiaks järgmiselt:

- anoodile juhitud vesiniku ( $H_2$ ) aatomeist eralduvad platinakatalüsaatori kaasabil elektronid ( $e^-$ ), mis suunduvad välisahela (elektritarviti) kaudu katoodile;
- vesiniku positiivsed ioonid, s.o prootonid ( $H^+$ ) difundeeruvad läbi polümeermembraani katoodi juurde;
- katoodil liituvad elektronid katalüsaatori toimel (õhu)hapniku ( $O_2$ ) molekulidega; nii moodustunud negatiivsed hapnikuioonid muutuvad prootonitega ( $H^+$ ) reageerides veeks.
- Vesinik esineb looduses teatavasti ainult mitmesuguste ühenditena. Otsemetanool-kütuseelemendis, kasutatakse vesinikukandjana metanooli (puupiiritust). Elemendi anoodile juhitakse metanool ja vesi, mille omavahelisel reageerimisel tekib vesinik ( $H_2$ ) ja süsinikdioksiid ( $CO_2$ ).





# Kaubanduslikke kütuseelemente





## Kütuseelementide tüübid, andmed

Kütuseelement	Elektrolüüt	Ioon (laengu-kandja)	Kütus (anoodil)	Gaas (katoodil)	Võimsus kW	Temperatuur °C	Kasutegur %
Polümeerelektrolüüt-kütuse-element PEMFC	Polümeer-membraan	H <sup>+</sup>	Vesinik (H <sub>2</sub> )	Hapnik (O <sub>2</sub> )	0,1–500	10–100	35–60
Otsetanoolkütuse-element DMFC	Polümeer-membraan	H <sup>+</sup>	Metanool (CH <sub>3</sub> OH)	Hapnik (O <sub>2</sub> )	0,001–100	60–130	40
Tahkeoksiid-kütuse-element SOFC	Oksiidkeraamiline elektrolüüt	O <sup>2-</sup>	Vesinik (H <sub>2</sub> ), metaan (CH <sub>4</sub> ), süngaas	Õhk (O <sub>2</sub> )	Kuni 100 000	800–1000	47
Leeliskütuse-element AFC	Kaaliumleelis (KOH)	OH <sup>-</sup>	Vesinik (H <sub>2</sub> )	Hapnik (O <sub>2</sub> )	10–100	60–90	45–60
Sulakarbonaatkütuse-element MCFC	Karbonaatide segu sulas olekus	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	Vesinik (H <sub>2</sub> ), metaan (CH <sub>4</sub> ), sünteesgaas	Hapnik (O <sub>2</sub> )	Kuni 100 000	650	48
Fosforhappe-kütuselement PAFC	PH <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	H <sub>3</sub> O <sup>+</sup>	Vesinik (H <sub>2</sub> )	Hapnik (O <sub>2</sub> )	Kuni 10 000	130–220	38

<http://et.wikipedia.org/wiki/Kütuseelement>

## Kütuseelementide praegused ja eeldatavad hinnad tulevikus

Systems	Year	Cost / Price per system	Production volume	Description	Ref.	
PEMFC	South Korea	2008	€56,000	100	Expected price during the third and final year of the current demonstration project. <sup>107</sup>	[112]
		2010	€12,000		Target cost stated in the Korean national action plan.	[112]
		2012	€8,000	10,000 cumulative	Target price set by the Ministry of Knowledge Economy.	[289]
	Japan	2004	€14,500	10,000 p.a.	Estimated manufacturing cost for ENEFARM systems made by the manufacturers.	[98, 295]
		2012	€5,000 – 8,000	50,000 p.a.	The METI technology roadmap for production cost of residential cogeneration systems.	[88]
		2015	€3,500 – 5,000	500,000 p.a.		
		2015	€3,500	200,000 p.a.	Panasonic's target price for systems set in 2008.	[296]
		2020-2030	€2,750		The METI technology roadmap for production cost of residential cogeneration systems.	[88]
SOFC	Japan	2008	~€3,800	Mass production	Kyocera's expected retail price for systems (including hot water tank).	[297]
		2015	€7,000 / kW	Several thousand p.a.	The METI technology roadmap for residential cogeneration systems.	[88]
		2020-2030	€2,750 / kW			

## Koostootmise tehnoloogiate indikatiivsed parameetrid

Tehnoloogia	Pe/Ps	Kasutatav kütus	Efektiivsus, %		Võimsus, MWe	Eeldatav investeering, €/kWe	Eeldatavad ülalpidamiskulud, €/kWe
			Kokku	Elektriline			
<a href="#">Auruturbiin</a>	0,1...0,5	kõik	60...80	7...20	0.5...>1000	1000...2000	0,003
<a href="#">Gaasiturbiin</a>	0,2...0,8	biogaas	65...87	25...42	0,25...>50	450...950	0,0045...0,0105
		maagaas					
		vedelkütused					
<a href="#">Kombineeritud auru-gaasitsükliga seade</a>	0,6...2,0	maagaas	65...90	35...55	3...>300	450...951	0,0045...0,0106
<a href="#">Diiselmootor</a>	0,8...2,4	biogaas	65...90	35...45	0,05...20	340...1000	0,0075...0,015
		maagaas					
		vedelkütused					
<a href="#">Oliimootor</a>	0,5...0,7	biogaas	70...92	25...43	0,03...>6	600...1600	0,0075...0,015
		maagaas					
		vedelkütused					
<a href="#">Stirlingmootor</a>	1,2...1,7	maagaas	65...85	~40	0,03...1,5	--	--
		etanool					
		butaan					
<a href="#">Mikroturbiinid</a>	1,2...1,8	maagaas	65...85	15...30	0,015...0,3	730...920	--
		vedelkütused					
		-					

## Biokütustel töötavaid soojuste ja elektri koostootmisjaamu Eestis

**Iru** Elektriijaam (AS Eesti Energia) - jäätmepõletusblokk

**Tallinna** Elektriijaam (AS Utilitas) 25 MWe ja 67 MWth – puit, lisa- ja reservkütus on turvas)

**Tartu** Elektriijaam (AS Fortum Tartu) – 25 MWe ja 65 MWth - puit, lisa- ja reservkütus on turvas)

**Pärnu** Elektriijaam (AS Fortum Eesti) - 25 MWe ja 46 MWth - puit, lisa- ja reservkütus on turvas)

**Rakvere** koostootmisjaamad (1. AS Rakvere Soojus /AS Adven Eesti; 2. ES Bioenergia OÜ) - puitkütused

**Võhma** koostootmisjaam (Alternatiivenergia Grupp AS – 0,6 MWe ja 1 MWth – puidugaasistusseade ja Otto mootor – puitkütus) - panktotis

**Valka** koostootmisjaam (Enefit Heat and Power Valka) - puitkütused

**Helme** koostootmisjaam (AS Helme Graanul) - 6 MWe, 15 (18) MWth -puitkütused

**Paide** koostootmisjaam (OÜ Pogi/Eesti Energia AS) – 2 MWe, 10 MW th – puitkütused

**Kuressaare** koostootmisjaam (AS Kuressaare Soojus) – 2,8 MWe, 12 MWth – puitkütused, ORC tehnoloogia.

Aravete, Oisu, Vinni ja Ilmatsalu koostootmisjaam – töötavad biogaasiga

Narva Elektriijaamad ja Sillamäe Elektriijaam – põlevkivi ja puitkütuse koospõletamine

Püssi Puitlaastplaatide tehase CHP

## Eesti suuremad biokütustel töötavad SEKid



Ü. Kask

45



# Biogaasijaamad koos SEKidega



Ü. Kask

46

# Tänaan kuulamast!



[Ulo.kask@gmail.com](mailto:Ulo.kask@gmail.com)