

# UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI

---

DEPARTAMENTUL ENERGETICA, FEIE



---

**Tehnologia de cogenerare, bazată pe aplicarea  
motoarelor cu ardere internă**

DR. ING., LECT. UNIV. DUMITRU BRAGA

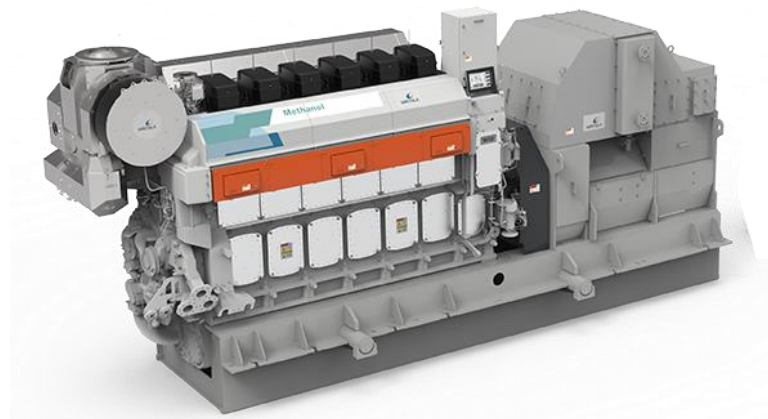
Chișinău, 2022

# Avantajele cogenerării

- ▶ **Cogenerarea** de energie electrică și termică (CHP) – o abordare eficientă și curată pentru generarea de energie electrică și energie termică dintr-o singură sursă de combustibil.
- ▶ **CHP** plasează producția de energie la sau în apropierea locației utilizatorului final, astfel încât căldura eliberată din producția de energie să poată fi utilizată pentru a satisface cerințele termice ale utilizatorului, în timp ce energia generată satisface toate sau o parte din necesarul de electricitate al șantierului.
- ▶ În **Europa de Vest**, **≈50% dintre consumatorii** industriali și municipali de electricitate și căldură **folosesc** beneficiile și avantajele oferite de centralele **CHP**.
- ▶ **Beneficiile CHP:**
  - **Creșterea eficienței** energetice
  - **Reducerea costurilor** specifice ale energiei și creșterea competitivității economice
  - **Creșterea fiabilității** și diminuarea riscului de întrerupere a alimentării cu energie
  - **Reducerea emisiilor**
  - **Adecvanța resurselor energetice**

# Cogenerarea energiei bazată pe utilizarea MAI

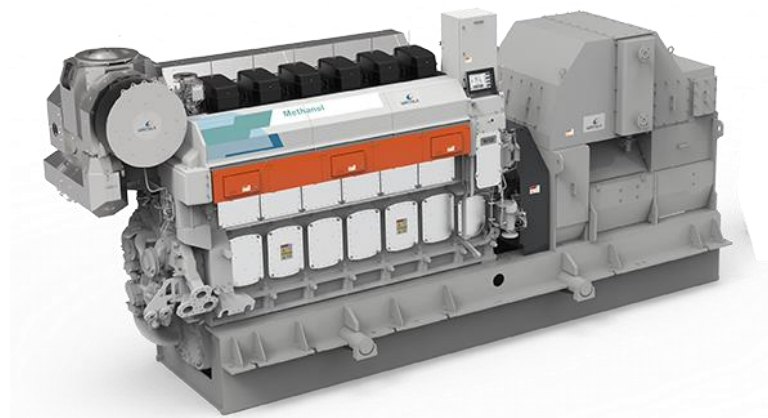
- ▶ **Motoarele cu ardere internă (MAI) – tehnologie bine stabilită și utilizată pe scară largă.**
- ▶ **Inițial**, tehnologia **MAI** reprezenta soluția potrivită doar ca **surse de energie de rezervă.**
- ▶ **CHP cu MAI** și-au găsit o **largă aplicare în industrie și în sectorul de alimentare cu energie.**
- ▶ **Istoria lungă a dezvoltării tehnice și nivelurile ridicate de producție** au contribuit la transformarea **MAI într-o alegere robustă, fiabilă și economică** ca motor principal **pentru CHP.**
- ▶ **MAI** sunt **tehnologie potrivită** atât pentru proiecte de dimensiuni mici (**de la 10 kW**), cât și pentru proiecte mari (**până la zeci sau sute de MW**).



# Cogenerarea energiei bazată pe utilizarea MAI

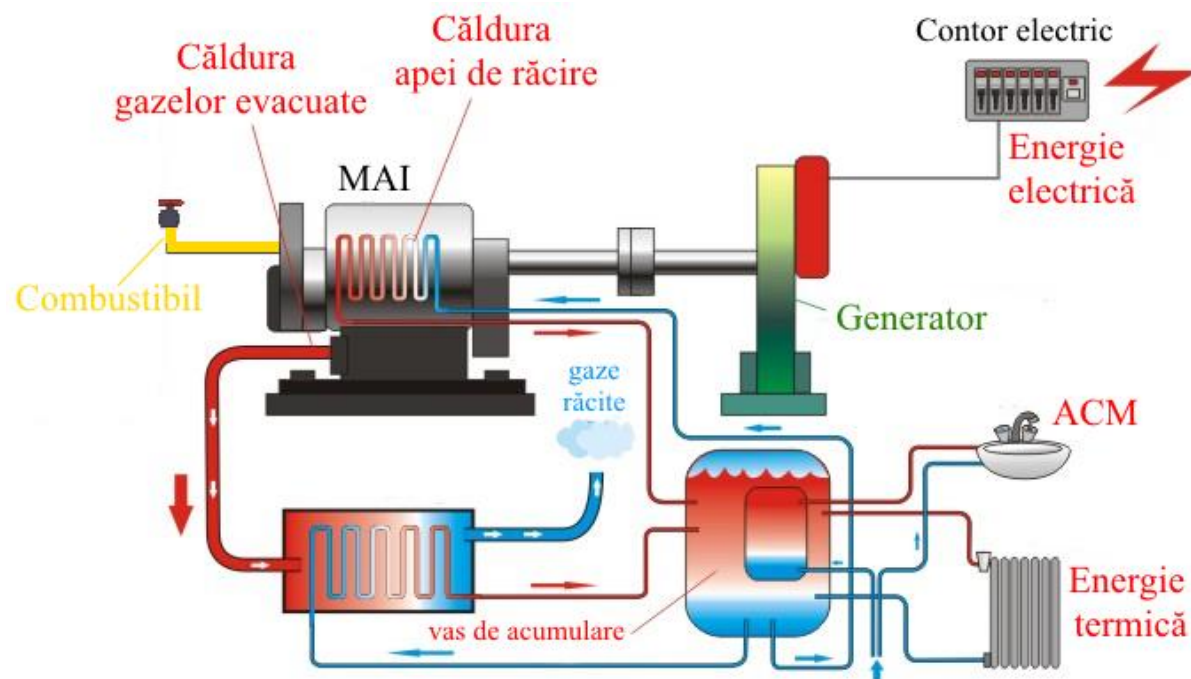
**MAI** de astăzi sunt **competitive** în multe aspecte:

- **Cogenerarea** sau **trigenerarea** energiei
- Un **spectru foarte larg de puteri** unitare: 1 kW ÷ 18 MW
- **Execuție MODULARĂ** – flexibilitate, creșterea ușoară a capacității etc.
- **Operarea** pe toate tipurile de **combustibili gazoși și lichizi**.
- **Operare** în **baza curbei de sarcină** sau **rezervă standby**.
- **Pornire rapidă** (de la 10 secunde)
- **Autonomia energetică**
- **Generarea inteligentă** de energie



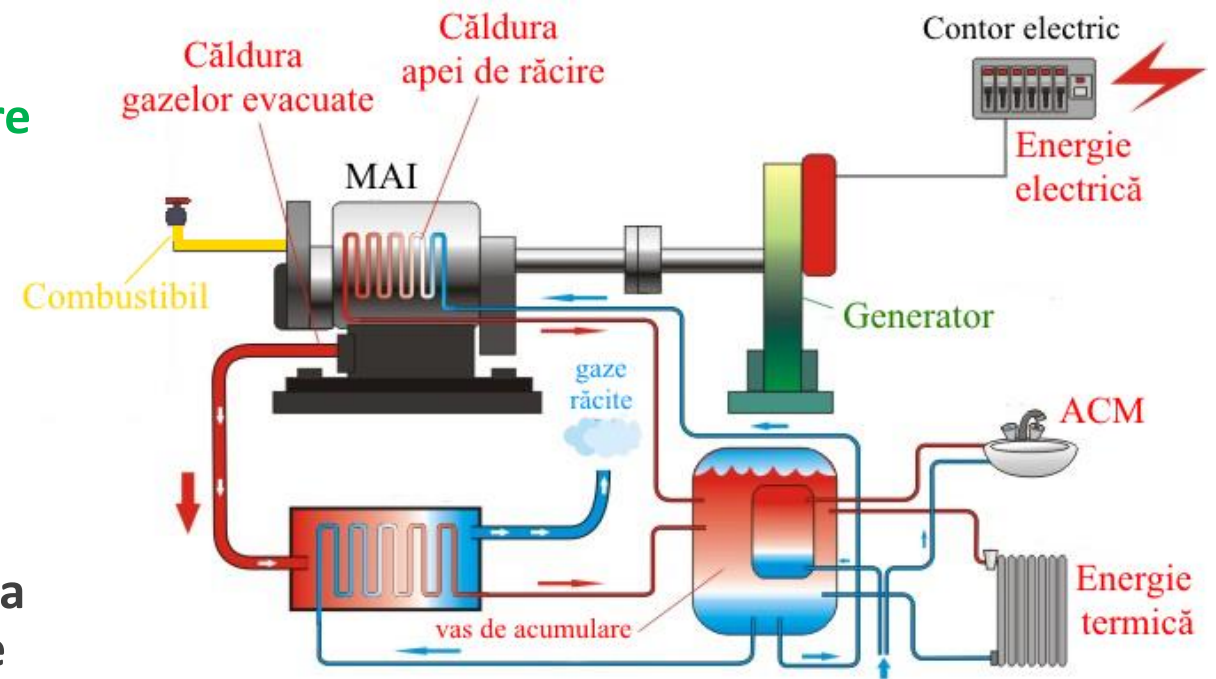
# Schema de principiu a unei instalații de cogenerare bazate pe MAI

- ▶ CHP cu MAI include un motor termic ce antrenează generatorul pentru producerea energiei electrice.
- ▶ Transformarea de bază din CHP cu MAI:  
**En. chimică** → **En. mecanică** → **En. electrică**
- ▶ **Căldura** reprezintă un **produs rezidual recuperat** ( $\approx 45 \div 55\%$ ) din **gazele de ardere**, din **sistemul de răcire al motorului**, din **sistemul de răcire al uleiului** și prin **răcirea aerului** din sistemul de supra-alimentare.



# Schema de principiu a unei instalații de cogenerare bazate pe MAI

- ▶ **Căldura de la gazele de ardere** evacuate (la  $500^{\circ}\text{C}$ ) poate fi recuperată în proporție de  **$\sim 70\%$** .
- ▶ **Căldura de la apa de răcire și de la uleiul de ungere** (la cca  $100^{\circ}\text{C}$ ) poate fi recuperată **în totalitate**.
- ▶ Căldura recuperată:
  - de la răcirea utilajului – 10 – 20%
  - de la gazele de ardere – 35 – 50%.
- ▶ **Recuperarea de căldură îmbunătățește eficiența totală a sistemului la peste 90%** dacă toată căldura recuperată este folosită într-un circuit de încălzire cu temperatura pe tur de circa  $100^{\circ}\text{C}$ .



# Avantajele CHP cu MAI

---

Utilizarea largă a CHP cu MAI se explică prin numeroasele avantaje:

- investiție specifică relativ mică;
- gabarite comparativ mici;
- Construcție/instalare ușoară și rapidă;
- apropierea de consumatorii de energie termică, care la rândul său elimină pierderile la transportul și distribuția energiei;
- eliminarea necesității construirii unor linii electrice de înaltă tensiune costisitoare și periculoase;
- posibilitatea oferii serviciilor de sistem pentru stabilizarea sistemului electroenergetic;
- alimentarea neîntreruptă a consumatorului;
- alimentare cu energie electrică de înaltă calitate, respectarea valorilor specificate ale tensiunii și frecvenței;

# Avantajele CHP cu MAI

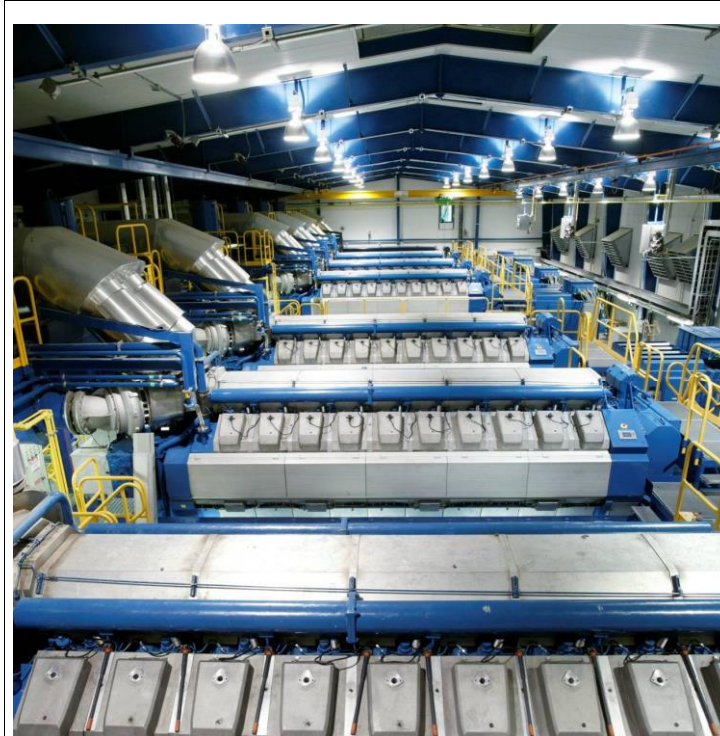
---

Utilizarea largă a CHP cu MAI se explică prin numeroasele avantaje:

- **perioadă de construcție scurtă;**
- **flexibilitate – timp scurt de pornire și oprire a instalației;**
- **posibilitatea pornirii rapide după black-out;**
- **flexibilitatea combustibilului;**
- **eficiență înaltă, chiar și la sarcină parțială;**
- **fiabilitate și durată de viață mai mari;**
- **operare și mentenanță relativ ușoară;**
- **opțiuni de utilizare a mai multor tipuri de combustibil - combustibili lichizi și gazoși;**
- **Emisii scăzute de NOx și particule solide.**

# Producători de CHP cu MAI cu renume

---



# Opțiuni de fabricare a instalațiilor de cogenerare cu MAI

► Multitudinea de condiții de funcționare ale centralelor CHP cu MAI permit **adaptarea la situații concrete:**

- execuție deschisă (pe rame) – cea mai simplă variantă de fabricație,
- în carcasă/capotă, care asigură izolarea fonică și termică,
- în container,
- execuție mobilă.

► **CHP pot necesita:**

- **fundație** pentru agregatul CHP,
- un **sistem de ventilație**, pentru alimentarea cu aer pentru arderea combustibilului și răcirea radiatoarelor motoarelor CHP,
- un **sistem de evacuare a gazelor de ardere**,
- **sistemul de stingere a incendiilor** etc.



Fabricație deschisă,  
Открытое исполнение



Capotă de protecție la temp.,  
Погодозащитный капот



Mini-container,  
Мини-контейнер  
(энергомодуль)



Capotă protecție fonică,  
Шумозащитный капот



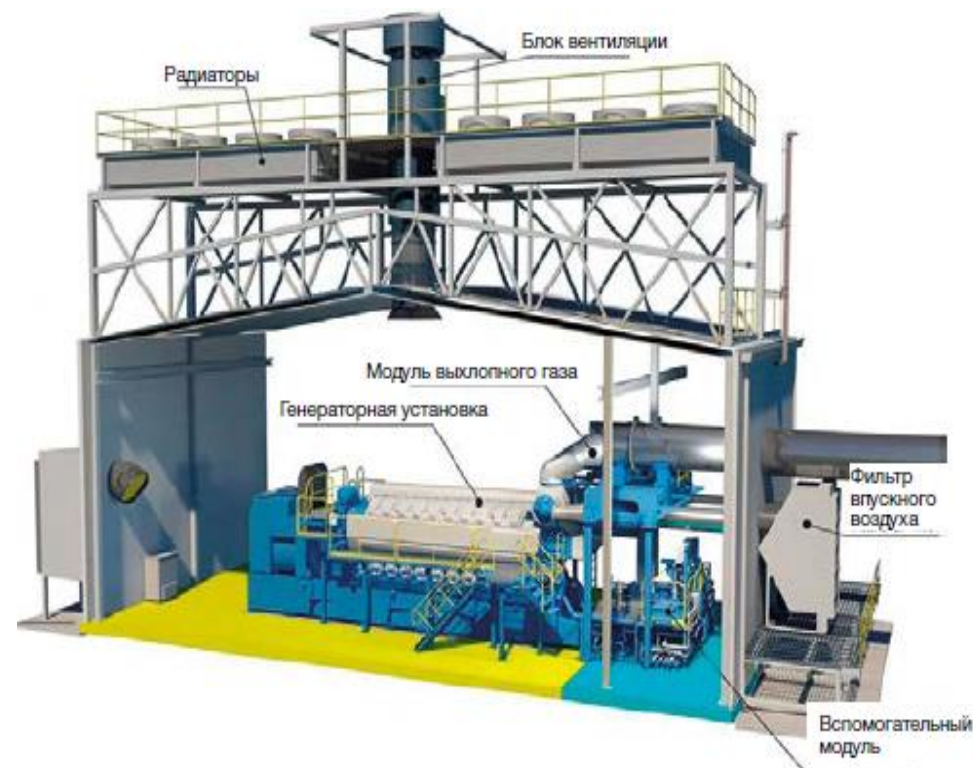
Container zonă nordică,  
Контейнер типа "Север"



Container zonă nordică,  
Контейнер типа "Север-М"

# Modularitatea CHP cu MAI

- **CHP cu MAI prezintă construcții modulare** – modulul fiind o componentă de sistem completă din punct de vedere structural, cu o interfață clar definită cu alte componente.
- Pe măsură creșterii necesarului de energie electrică, modularitatea devine deosebit de importantă, permițând **extinderea puterii CHP în conformitate cu cererea de energie.**
- **Avantajele modularității CHP cu MAI:**
  - Soluție la cheie care poate fi adaptată la cerințele specifice ale clienților
  - Ușurință și rapiditate de instalare
  - Design bine stabilit
  - Control de calitate fiabil și meticulos
  - Amplasarea echipamentelor compacte
  - Conexiuni standard
  - Dimensiuni optime de transport
  - Capacitatea de service



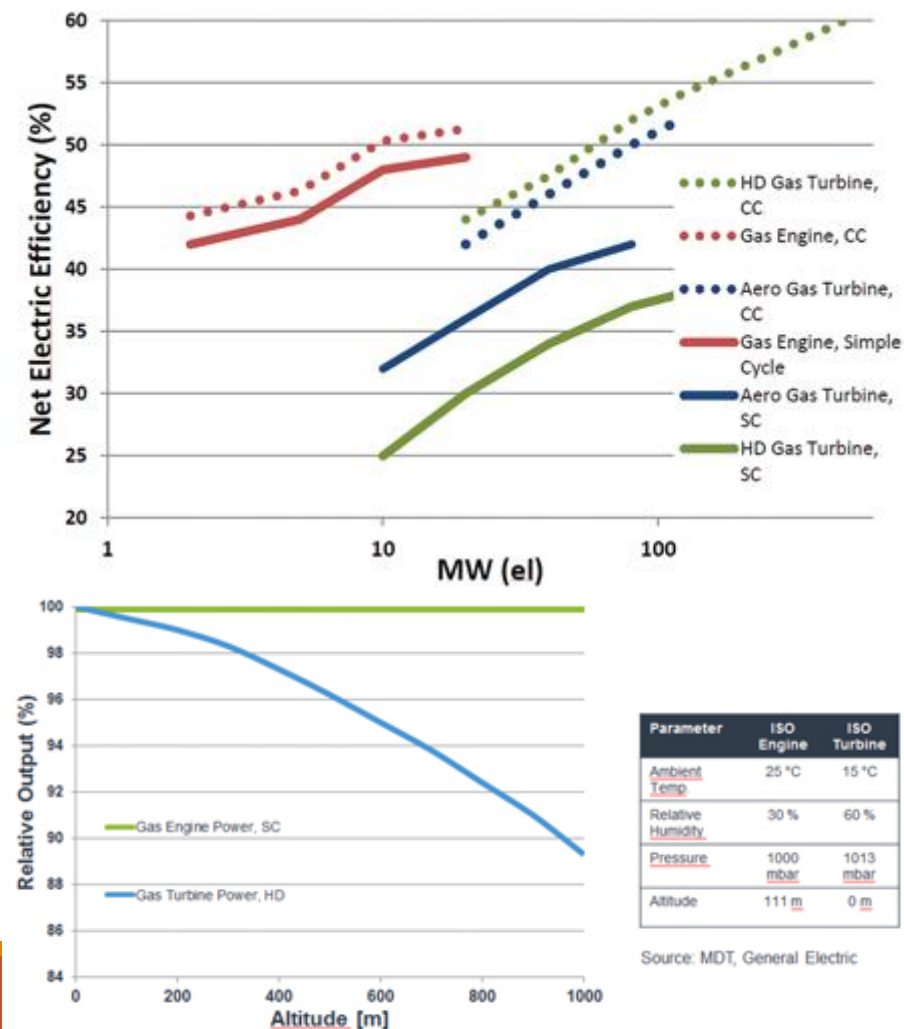
# Particularitățile de exploatare a CHP cu MAI

---

- ▶ În cazul **CHP cu mai multe unități**, unitățile pot fi pornite și oprite în funcție de **disponibilitatea cererii**.
- ▶ În același timp, este posibilă **optimizarea utilizării fiecărei unități individuale** prin transferul acesteia într-un standby la cald sau folosind-o la capacitate maximă pentru a obține eficiență maximă:
  - **modul stand-by la cald**, seturile de generatoare sunt sincronizate și funcționează la sarcină redusă. În acest caz, centrala electrică este complet pregătită pentru o creștere semnificativă a sarcinii în câteva secunde.
  - **modul de eficiență maximă** funcționează la sarcină maximă cu numărul minim de grupuri electrogeneratoare necesare pentru a satisface nevoile curente de energie. Acest lucru asigură eficiența termică maximă pentru seturile de funcționare și permite ca restul grupurilor electrogeneratoare de așteptare să intre în funcțiune și să atingă sarcina maximă în câteva minute.

# Eficiența CHP cu MAI

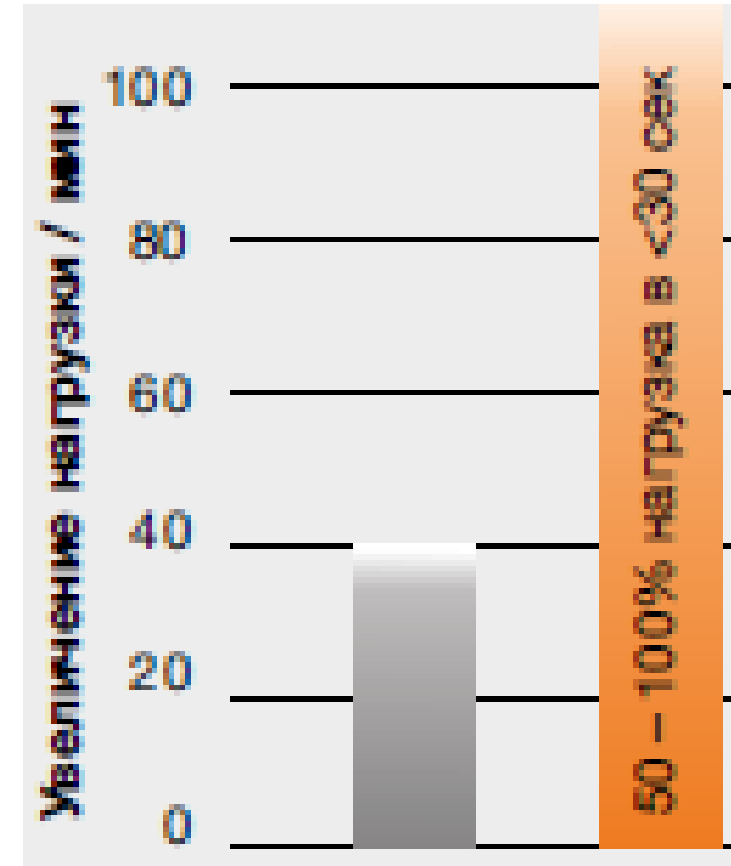
- ▶ **CHP cu MAI** se caracterizează prin **cea mai înaltă eficiență**.
- ▶ La **funcționarea cu gaze naturale în regim nominal**:
  - Randamentul **electric**: **42,2-48,7%**;
  - Randamentul **termic**: **43,3-45,2%**.
- ▶ Efectele condițiilor ambientale asupra performanței:
  - Performanța MAI și a turbinelor cu gaze scade odată cu creșterea temperaturii**:
    - Pentru **MAI** la temperaturi de peste  $25^{\circ}\text{C}$  cu **1% la fiecare  $12^{\circ}\text{C}$** .
    - Pentru **turbinele cu gaze** la temperaturi de peste  $15^{\circ}\text{C}$  cu **4% la fiecare  $12^{\circ}\text{C}$** .



# Eficiența CHP cu MAI



**Eficiența în două regimuri diferite**



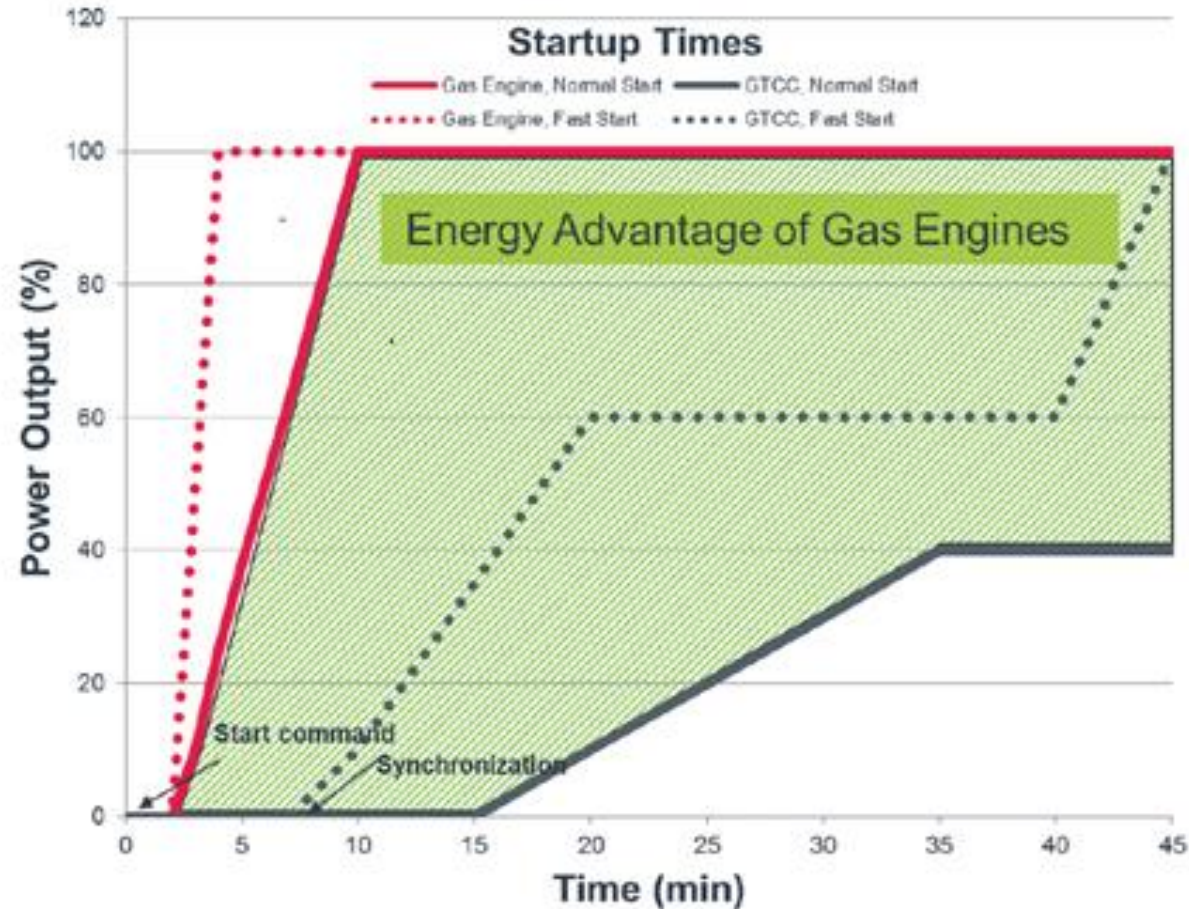
**Posibilitatea preluării sarcinii electrice**

# Combustibilul utilizat de CHP cu MAI

- ▶ **CHP cu MAI pot utiliza:**
  - **combustibili fosili** – gazele naturale, benzină sau motorina; sau
  - **biocombustibili** – biogazul sau singazul.
- ▶ Proprietățile combustibile ale biogazului și a singazului sunt inferioare combustibililor tradiționali → puterea dezvoltată și energia produsă sunt sub nivelul parametrilor nominali stabiliți pentru carburantul fosil.
- ▶ **CHP cu MAI pot fi alimentate cu gaze naturale** din rețelele de **joasă sau medie presiune**: 2 – 50 kPa, ceea ce reduce considerabil costurile pentru comprimarea gazelor.
- ▶ MAI au **posibilitatea de a fi alimentate cu două tipuri de combustibil** (de exemplu gaze naturale și motorină), însă nu este folosită pe larg pentru CHP.

Puterea electrică, kW	Randament, %		
	electric	termic	global
<b>MAI pe gaze naturale</b> (34.56 MJ/Nm <sup>3</sup> )			
4300	44,1	42,7	86,8
<b>MAI pe biogaz</b> (18.0-23.3MJ/Nm <sup>3</sup> )			
3770	42,9	43,4	86,3
<b>MAI pe singaz</b> (6 – 11 MJ/Nm <sup>3</sup> )			
2640	20-28	60-54	80-82

# Flexibilitatea CHP cu MAI – pornirea și oprirea rapidă



Comparația a timpilor de pornire a **CHP cu MAI** și CHP cu TG

# Flexibilitatea CHP cu MAI – servicii de rețea

---

- ▶ **CHP cu MAI** sunt capabile de a contribui la **stabilitatea sistemului electroenergetic** și a funcționa în calitate de **surse de vârf** sau **de rezervă**:
  - Capacitatea de **pornire ultra-rapidă** poate injecta o putere de câțiva MW în rețeaua electrică în câteva secunde și putere egală cu cea nominală a instalației în mai puțin de 3 minute
  - Capabilitatea de a oferi o **rezervă secundară fără spinning** datorită unui timp de **sincronizare ultra-rapid de 20 de secunde**.
  - Capabilitatea de **black-start** și **reenergizarea rețelei electrice**.
  - **Consum extrem de scăzut în standby**: <1 kW per MW de putere instalată.

# Dimensiuni reduse ale CHP cu MAI



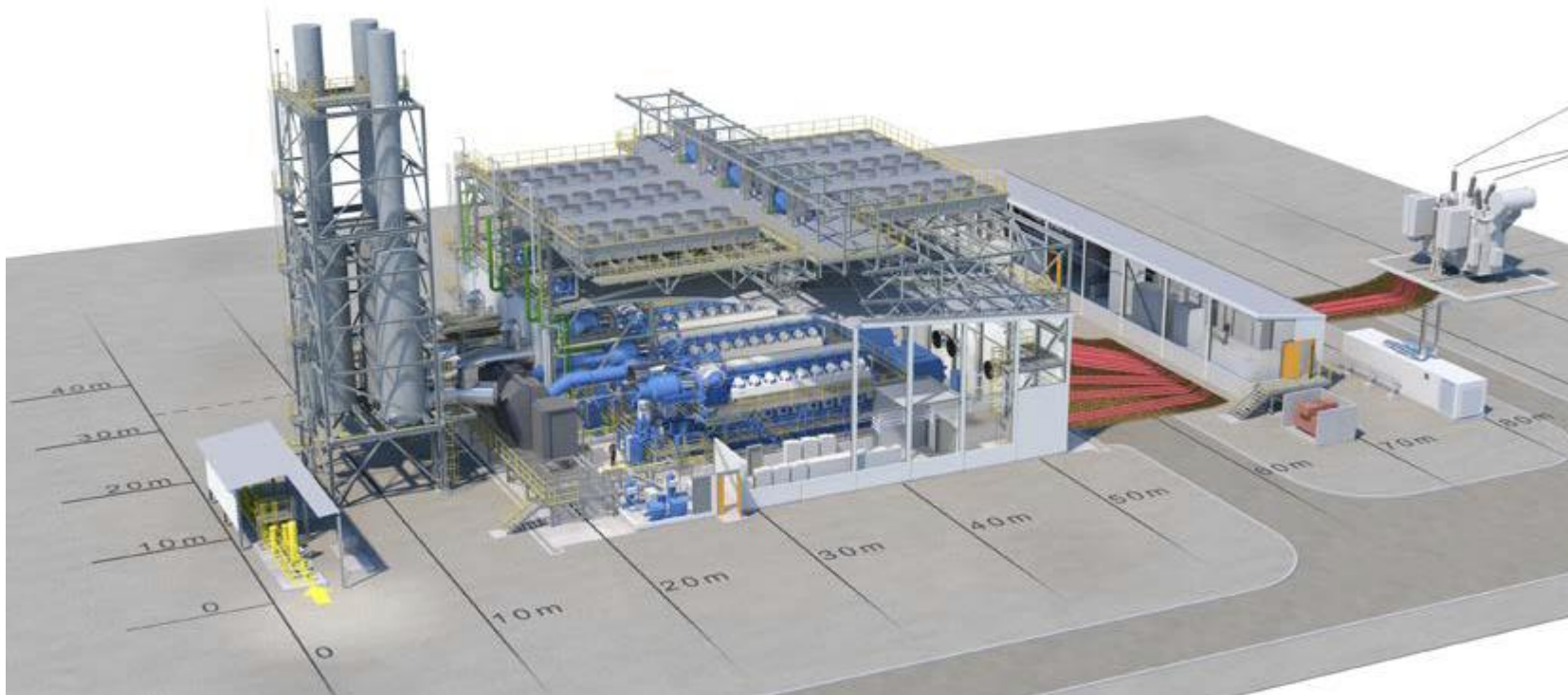
**Cea mai mare CHP cu MAI** din lume localizată în Iordania, instalată în 2014.

Puterea **573 MW** (38 x Wartsila 18V50DF, 15MW/unitate), combustibil: gaze naturale; funcționarea flexibilă în zona sarcinii de bază.

# Dimensiuni reduse ale CHP cu MAI.

## CHP tipică cu MAI de 50 MW

---



# CHP cu MAI – 47,5 MW (5 x J920 9.5 MW)



J920 9.5 MW gas engine, developed for on-site power and CHP

# Emisiile CHP cu MAI

- ▶ Emisiile de la MAI cu gaze natural s-au îmbunătățit semnificativ în ultimul deceniu printr-o mai bună proiectare și control al procesului de ardere și prin utilizarea catalizatorilor la evacuarea gazelor de ardere:
  - MAI obișnuite: NOx de până la 0,8 kg/MWh și CO de 3,6 kg/MWh
  - MAI performante (cu reducere catalitică și tratarea gazelor de ardere): NOx de până la 0,03 kg/MWh și CO de 0,45 kg/MWh.

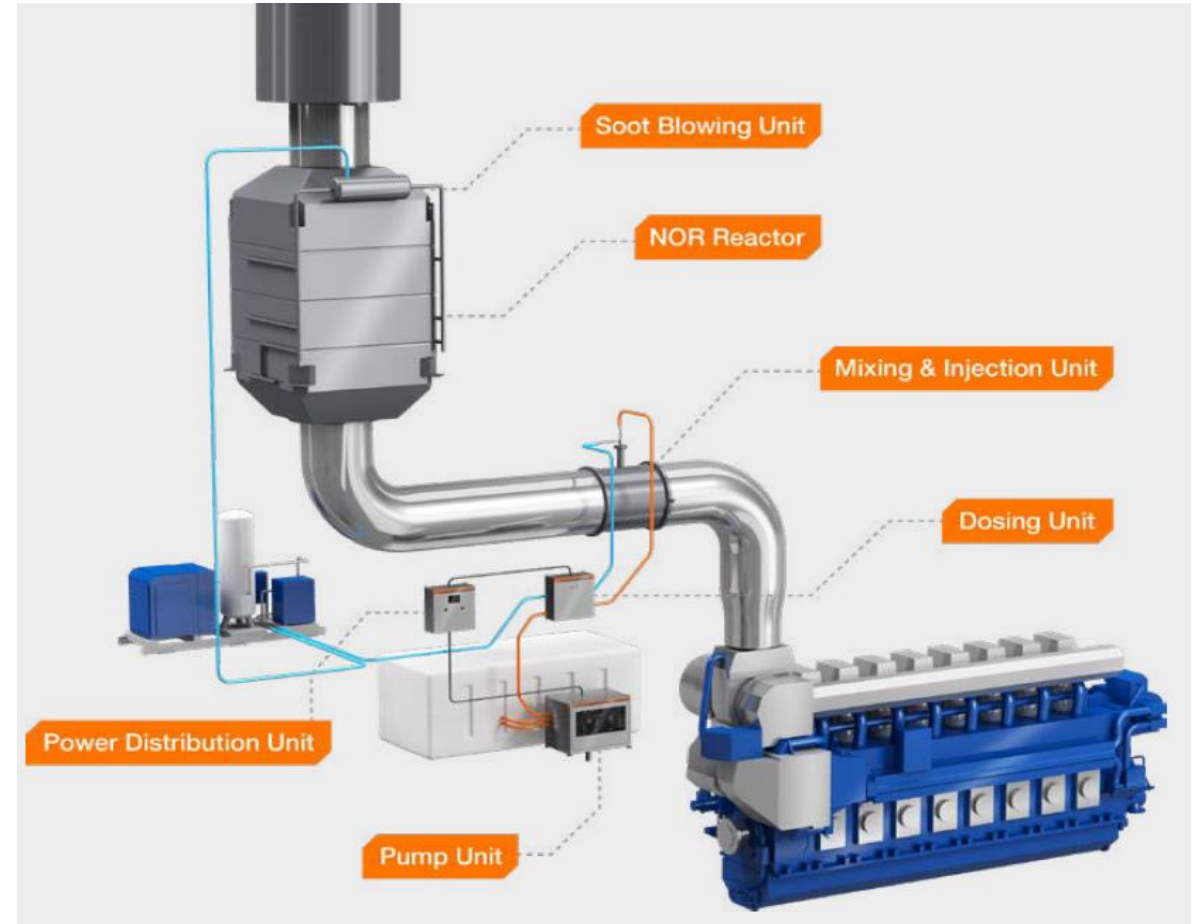
## Tratarea gazelor de ardere

Tehnologie de control al emisiilor	Tipul MAI	Performanța tipică de reducere a emisiilor, %			
		CO	NMHC	NOx	PM
Oxidarea catalitică	Motorină	90	80	0	20
Filtre de particule cu catalizare	Motorină	90	90	0	90
Reducerea catalitică non-selectivă	Gaze naturale	90	80	95	0
Oxidarea catalitică	Gaze naturale	95	95	0	0
Reducerea catalitică selectivă	Motorină sau gaze naturale	0	0	95	0

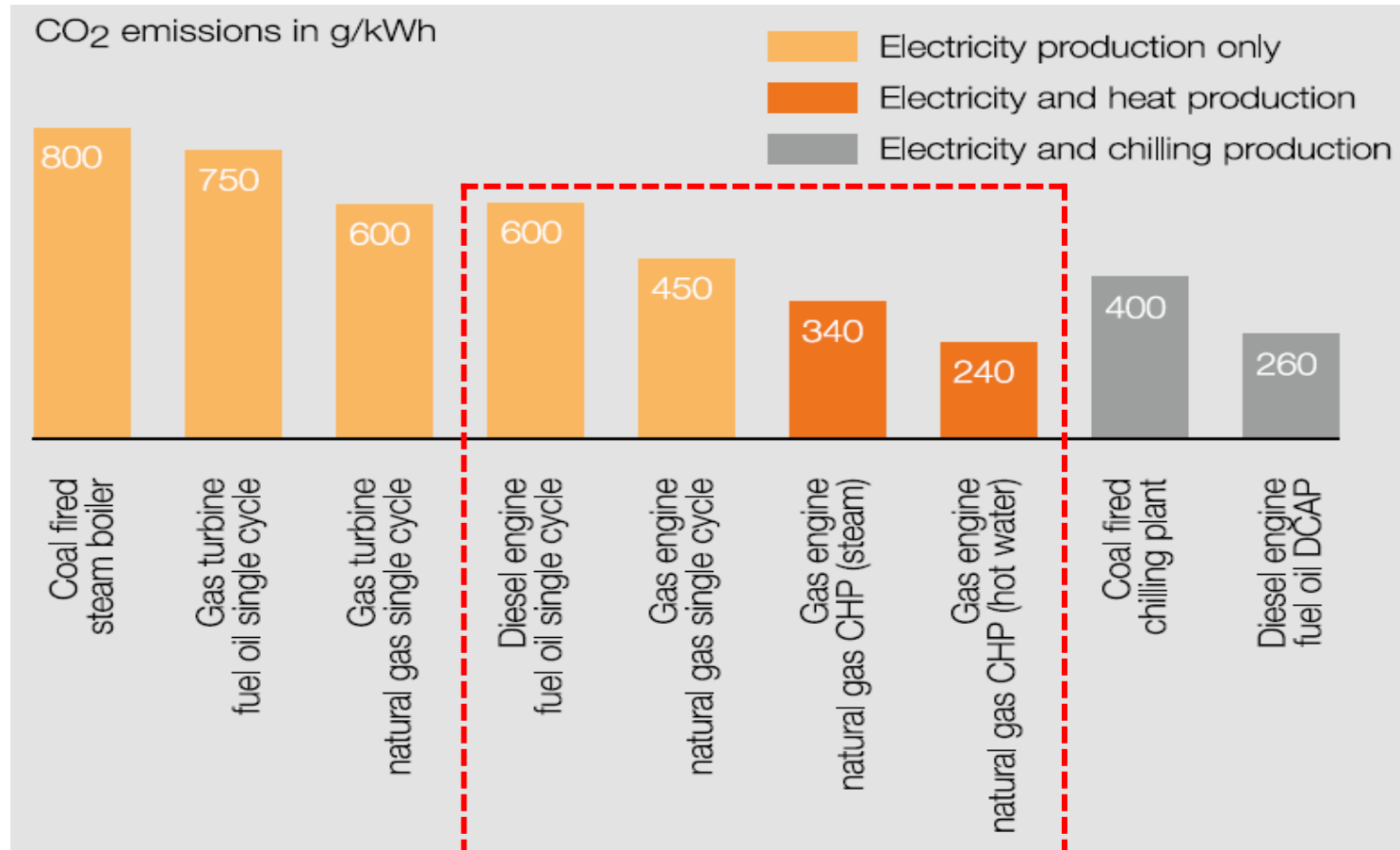
# Emisiile CHP cu MAI

## Emisii necontrolate de NOx versus Eficiență maximă

Caracteristicile MAI	NOx reduse	Performanță maximă
Puterea, MW	9,3	9,3
Eficiența electrică, %	44,1	45,7
<b>Emisii</b>		
NOx, kg/MWh	0,62	1,2
CO, kg/MWh	1,9	1,3
NMHC, kg/MWh	1,0	0,71



# Nivelul emisiilor CO<sub>2</sub> pentru CHP cu MAI



# Dezavantajele CHP cu MAI

---

Dezavantajele principale, în comparație cu alte tehnologii, includ:

- **Costuri de mentenanță mai înalte:**  
CHP cu MAI – 0,9 – 2,5 USD/MWh  
CHP cu TG 0,9 – 1,3 USD/MWh
- Limitarea la aplicații de **cogenerare de temperatură mai joasă** (apă caldă, apă fierbinte sau abur cu potențial scăzut)
- **Necesită răcirea instalației** chiar și în cazurile când energia termică nu se utilizează
- **Nivel înalt al zgomotului de frecvențe mici**

# Concluzii: Relevanță utilizării CHP cu MAI în Republica Moldova

---

Principalele  **motive pentru alegerea tehnologie CHP cu MAI:**

- ▶ **Eficiența maximă** → regim de cogenerare → prezența consumatorului termic → instalarea distribuită în conformitate cu sarcina termică.
- ▶ Sarcina termică redusă a SACET din centrele raionale → **cogenerare de mică și medie putere pentru termoficare**
- ▶ **Posibilitatea configurării puterilor CHP** în conformitate cu sarcina termică și **modificarea acestora în timp**
- ▶ **Valorificarea** a tuturor tipurilor **de deșeuri** (biomasă, municipale solide, ape reziduale)
- ▶ Valorificarea la nivel maxim a **surselor eoliene și fotoelectrice** = **surse intermitente** → necesită **echilibrarea și creșterea flexibilității** a SEE local și a SEN

---

**Vă mulțumesc pentru  
atenție!**