

Optimizarea Sistemelor cu Aburi Industriali

Seminar de 2-Zile pentru Utilizatori

Prezentată de:

Riyaz Papar, P.E., CEM

Hudson Technologies Company, USA

&

Greg Harrell, Ph.D., P.E.

Energy Management Services, USA

Recunoștințe și Mulțumiri

- Echipa UNIDO – Viena, Austria
- Echipa UNIDO – Moldova
- Departamentul de Energie– SUA
- Laboratorul Național Oak Ridge – SUA

Ven V. Venkatesan, PE, CEM

➤ Educație

- **M. Tech. (Inginerie Chimică), Universitatea din Madras, India**
- **B. Tech. (Inginerie Chimică), Universitatea din Madras, India.**
- **Diploma în I.E. (Inginerie Industrială), IIE, Mumbai.**

➤ Experiență Profesională

- **Director General, VGA Engineering Consultants Inc.**
 - Reducerea costurilor de energie în Procesul de Îmbunătățire a Fiabilității Sistemului de Abur și respectiv în Industrie
- **Director-Servicii Energetice, Armstrong Service Inc. (1996 – 2006)**
 - Servicii energetice naționale și internaționale
- **Inginer în Procesele Tradiționale, Refineria ISLA (Curazao). (1991 – 1996)**
 - Secretar la Comitetul de Directori “Energie și Pierderi ” și de asemenea un expert în Procesele de Ardere
- **Consultant în Energia Tradițională, M K Raju Consultants (P) Ltd. (1986 – 1991)**
 - Identificarea oportunităților de reducere a costurilor la diferite tipuri de energie pentru majoritatea proceselor industriale.
- **Manager Asistent, (Energie & Economie), Bokaro Steel Plant. SAIL (1978 – 1986)**
 - A lucrat în Eficiența consumului de combustibil, la Verificarea combustibilului gazos, la Întreprinderile de epurare a gazului, la Stațiile de Amestec și Producere a Gazului, la Întreprinderile de producere și utilizare în exces a gazului.

Ven V. Venkatesan, PE, CEM

➤ Alte Calificații și Atribuții

- **Licență Profesională de Inginer, în Statele din Florida & Wyoming**
- **Manager Specializat în Energie**
- **Inginer în domeniul Spațiilor Verzi**
- **Expert în Procesele de Abur și în procesele de energie termică din US DOE**
- **Expert în Procesele Sistemelor de Încălzire din US DOE**

Greg Harrell, Ph.D., P.E.

➤ Educație

- **Ph.D. Mechanical Engineering-Thermodynamics, Virginia Tech (VPI&SU) – 1997**

➤ Experiență Profesională

- **1987 to 1993 - Design Engineer, Utilities Process Engineer, BASF Corp.**
 - Supravegherea pentru activitățile tehnice ale întregului departament de utilități (producerea de abur, generarea de putere electrică, sisteme de aer comprimat, instalații industriale de refrigerare, sisteme industriale HVAC, facilități de filtrare a apei și epurarea apelor uzate)
- **At Virginia Tech – Mechanical Engineering Professor, Energy Management Institute (EMI)**
 - Din 1997 - 2001 - Director de Asistență Tehnică pentru EMI
 - Studii Universitare și Postuniversitare în Termodinamică
 - Direct implicat în aspecte importante ale managementului energiei pentru industriile mondiale
 - A efectuat numeroase studii de energie pentru clienții industriali din întreaga lume - pe 6 continente, în 22 de țări, iar în 36 de țări din Statele Unite ale Americii
 - Developed U.S. DOE Steam End User Training and U.S. DOE Steam Specialist Qualification Training
 - A jucat un rol important în dezvoltarea Instrumentelor de Abur din USDOE și pentru elaborarea Ghidului Sistemului de Abur, care a devenit un curs universitar pentru ingineria mecanică
 - Instructor certificat în domeniul sistemului de aer comprimat din U.S.DOE

Greg Harrell, Ph.D., P.E.

➤ Experiență Profesională

- **Curent – Consultant pentru Servicii de Management în Energie**

- Rolul principal de asemenea îi revine analizei sistemului industrial de energie și analizei individuale a procesului, cursuri industriale de formare, instruire universitară, modelarea sistemului de energie, și dezvoltarea unui software
- Instructor primar în Universitatea de Stat din Carolina de Nord la Programele de Dezvoltare a Managementului
- Domenii majore de concentrare a sistemelor - cazane, sisteme de abur, sisteme de producere combinată a puterii și energiei (cogenerare), turbine pe gaz, și sisteme de aer comprimat

Riyaz Papar, P.E., CEM

➤ Educație

- **M.S. (Inginerie Mecanică), Universitatea din Maryland, College Park**
- **B.Tech. (Inginerie Mecanică), Institutul Tehnologic din India, Mumbai**

➤ Experiență Profesională

- **Director - Energy & Carbon Services, Hudson Technologies**
 - Monitorizarea Performanțelor & Sistemele de Optimizare a Energiei
- **Consultant în Energie**
 - Sistemele Industriale de Abur, Sisteme de Răcire, Sisteme de Procesare și Răcire a Lichidelor, Recuperarea Căldurii Reziduale
 - Substanțe Chimice, Rafinăria de Petrol, Produse Alimentare, Industria de celuloză și hârtie – Industria Prelucrătoare
- **Manager în Dezvoltare, Enron Energy Services**
 - Proiectul de Dezvoltare pentru clienții industriali
- **Asociația Principală de Cercetare, Lawrence Berkeley National Laboratory**
 - Development of Tools & Resources, Technical Support to US DOE Best Practices
- **Senior Project Engineer, Energy Concepts Company**
 - Industrial Ammonia-Water Waste heat-fired refrigeration systems

Riyaz Papar, P.E., CEM

➤ Other Qualifications & Affiliations

- Professional Engineer, State of Maryland, USA
- Certified Energy Manager
- US DOE Steam BestPractices Lead Instructor & Technical Advisor
- US DOE Steam Energy Expert
- UNIDO Energy Expert – Steam, Refrigeration & Chillers and Waste Heat Recovery
- IFC Energy Expert for the Cleaner Production Team
- Chair, ASME Process Industries Division, 2003-04
- Chair, ASHRAE Technical Committee 8.2: Centrifugal Machines, 2009-10
- Chair, ASHRAE Technical Committee 1.10: Cogeneration Systems, 2010-11

Informații de contact

- Riyaz Papar, P.E., CEM
Director, Energy & Carbon Services
Hudson Technologies Company
USA
Phone: (281) 298-0975
E-mail: rpapar@hudsontech.com
- Greg Harrell, Ph.D., P.E.
EMSCAS
USA
Phone: (865) 719-0173
Email: gregharrell@emscas.com
- Ven V. Venkatesan, P.E., CEM
Engineering Manager
Hudson Technologies Company
USA
Phone: (407) 399-9316
E-mail: vvenkatesan@hudsontech.com

Obiectivele Cursului

- Ajuta industria să evalueze sistemele de abur și de a atinge economiile de costuri de energie
 - Funcționarea și verificarea corespunzătoare
 - Sistemul de Întreținere
 - Utilizarea aburului într-un proces ideal
 - Cogenerarea și
 - Aplicarea tehnologiilor specifice

- Introducerea și demonstrarea funcționării US DOE cu ajutorul instrumentelor software de evaluare a sistemului de abur disponibil

Rezumat

- Cusurile de instruire de 2 zile, training începe prin a defini abordarea sistemelor și modul în care aceasta se aplică pentru optimizarea unui sistem de abur industrial și / sau instituțional
- Cursurile date permit studiul operațiunilor sistemului de abur industrial:
 - Generarea
 - Distribuția
 - Consum final / Cogenerare
 - Recuperarea condensatului

Rezumat

- Cursurile date de instruire permit *identificarea oportunităților de îmbunătățire a performanței* care conduc spre optimizarea sistemului global de abur
- Echipa de lucru analizează metodele de îmbunătățire a eficienței sistemului, metodologiile de cuantificare energetică și economiile de cost din aceste îmbunătățiri, aspectele ale punerii în aplicare și a programelor de îmbunătățire continuă

Rezumat General

- Demonstrații și exemple funcționale de prezentare a sistemului US DOE. Acestea includ:
 - Instrument de Definire a Sistemului de Abur (SSST)
 - Instrument de Evaluare a Sistemului de Abur (SSAT)
 - Evaluarea izolației cu ajutorul 3E-Plus software

- Instrumentele “Software” sunt gratis și disponibile de download de pe websites

- Exemple și aplicații de utilizare a acestor programe”instrumente software” pentru evaluarea unui sistem de abur industrial

Model de Program de Instruire

Ziua I-a

- Aprovizionarea cu Laptop a participanților – instrumente software și programe specializate
- Prezentarea la UNIDO-Proiectul de eficiență a Energiei Industriale
- Introducere în “Abordarea de sistem”
- Revizuirea Bazelor Fundamentale a Sistemului de Abur – termodinamica
- Revizuirea Instrumentului de Definire a Sistemului de Abur (SSST) US DOE
- Exerciții practice pentru studenți – Evaluarea unui sistem de abur de la o centrală industrială utilizând sistemul SSST și determinarea zonelor de economisire a energiei
- Pauză de cafea/ceai

Model de Program de Instruire Ziua I-a

- Revizuirea Instrumentului de Evaluare a Sistemului de Abur (SSAT) US DOE
- Costul util
 - Putere
 - Combustibil
 - Apă
- Identificarea influenței cazanului – exemple de la centrale industriale
- Indicatorul de Cost al aburului
- Secția “Quick Start”- începere rapidă din SSAT

Model de Program de Instruire Ziua I-a

- Determinarea eficienței cazanului utilizând diverse măsurători
- Pierderile în cazan
 - Pierderi prin suprafața cazanului
 - Pierderi prin purjare
 - Pierderi prin coșul de fum
- Secția “Site Detail” din sistemul SSAT
- Dezvoltarea unui medel de sistem de abur Colector-1 din SSAT
- Esența costului marginal al aburului
- Pauză de masă

Model de Program de Instruire Ziua I-a

- Purjare & Abur produs
- Condiții de generare ale aburului
- Letdowns / PRV
- Degazorul
- Componentele de Recuperare a Căldurii
- Recuperarea Condensatului
- Pierderi de Distribuție
- Costul Marginal al Aburului / Comparare
- Pauză de cafea /ceai

Model de Program de Instruire Ziua I-a

- Bazele Fundamentale ale Turbinelor
- Turbinele cu Contrapresiune
- Modelarea Turbinelor cu Contrapresiune în SSAT
- Exerciții Practice pentru Studenți
- Turbinele cu Condensație
- Întrerupere

Model de Program de Instruire Ziua a II-a

- Revizuirea materialului din prima zi
- Întrebări și Răspunsuri ce țin de materialul prezentat în prima zi
- Optimizarea Sistemului de Abur – Suprafețe de generare
 - Îmbunătățirea Eficienței cazanului
 - Managementul de Purjare
 - Recuperarea Energiei din Purjare
 - Economizoare cu apa de alimentare / preîncălzitoare de aer de ardere
 - Verificarea excesului de aer
 - Modificarea combustibilului
- Exerciții practice pentru studenți
- Pauză de cafea/ceai

Model de Program de Instruire

Ziua a II-a

- Optimizarea Sistemului de Abur – Suprafețe de distribuție
 - Scurgerile de abur
 - Pierderi de căldură prin izolații
- Exerciții pentru studenți – Completați Exemplele de calcul ce țin de scurgerile de abur și de pierderile de căldură prin izolație utilizând instrumentul software din SSAT
- Evaluarea Izolației 3E Plus Software
- Optimizarea Sistemului de Abur – Suprafețe de consum final
 - Impactul Condițiilor de Generare a Aburului
 - Cerere de abur (consum final)
- Proiecte de Economisire a Cererii de Abur din SSAT
- Pauza de masă

Model de Program de Instruire

Ziua a II-a

- Optimizarea Sistemului de Abur – Suprafețe de Recuperare a Condensatului
 - Program de Gestionare a Captatorului de Abur
 - Evaluarea Sistemelor de Recuperare a Condensatului
 - Rezervoare de condensat (flash)
 - Rezervoare de condensat (orificii)
- Exerciții pentru studenți – Completați exemplele de calcul: recuperarea condensatului și recuperarea aburului produs prin condensare, utilizând instrumentele software a sistemelor SSAT

Model de Program de Instruire

Ziua a II-a

- Optimizarea Sistemului de abur – Producerea combinată de putere și energie
 - Turbine cu Contrapresiune – Operațiuni cu PRV
 - Proiectele Turbinelor de Economisire în SSAT
 - Impactul Turbinelor cu Condensație
 - Proiectele Turbinelor cu Condensație în SSAT
- Pauză de cafea/ceai
- Concluzii
- Instrumente și Resurse

Obiectivele Personale

- Introducerea de Participanți
- Orice probleme majore sau preocupări în ceea ce privește materialele de curs, cronologie, etc
- Identificarea zonelor posibile care necesită analize mai aprofundate pe baza de interesele participanților

Prezentare generală

Consumul Global de Energie

Utilizarea Energiei Aburului

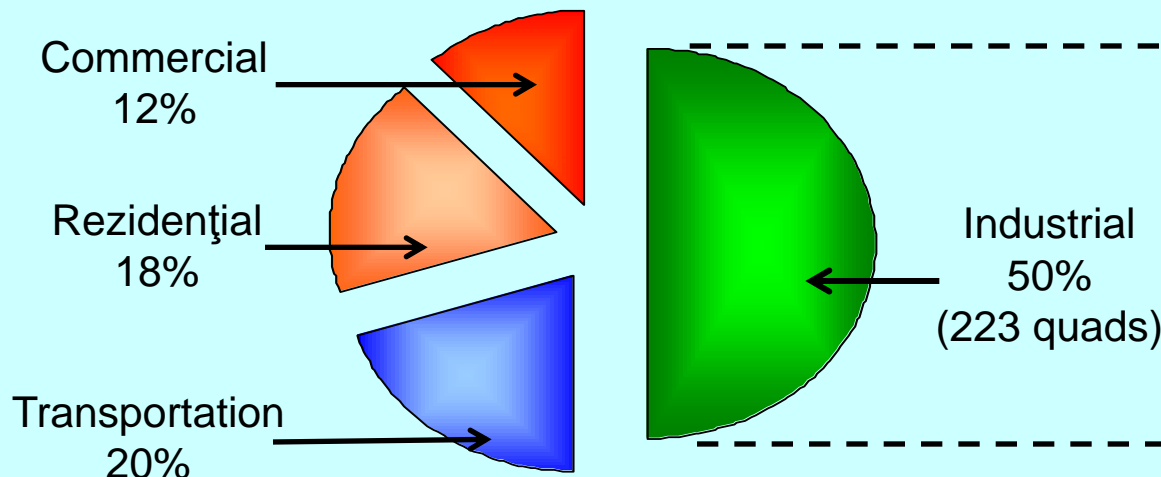
Abordarea de Sistem

Optimizarea Sistemului de Abur (SSO)

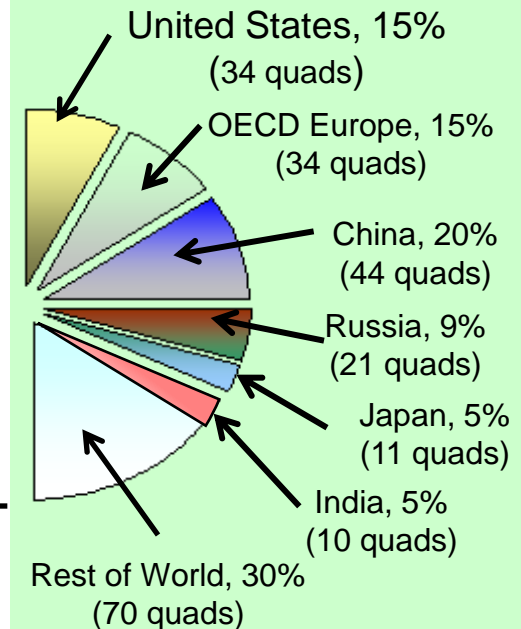
Energia Industrială = ½ din Energia Mondială

2004 World Energy Use: 447 Quads

Industry accounts for 50% of world energy use



Industry: 223 Quads



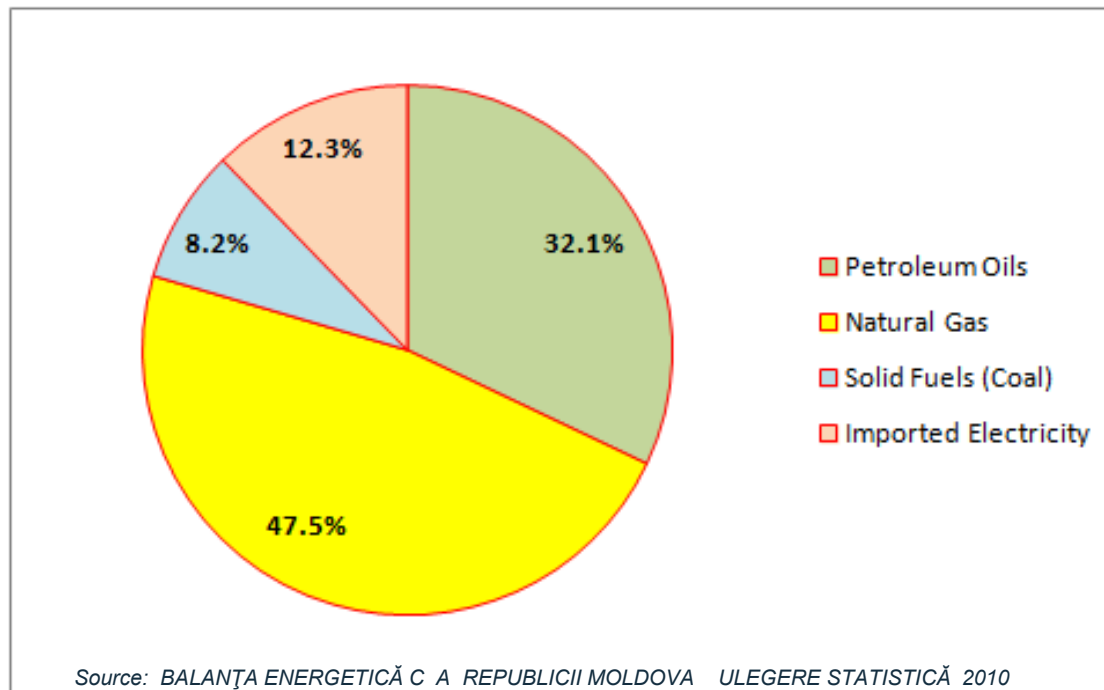
Sursa: EIA/International Energy Outlook 2007

1 quad Btu = 1.055 EJ

Sursa: Oak Ridge National Laboratory, USA

Energia Primară utilizată în Moldova

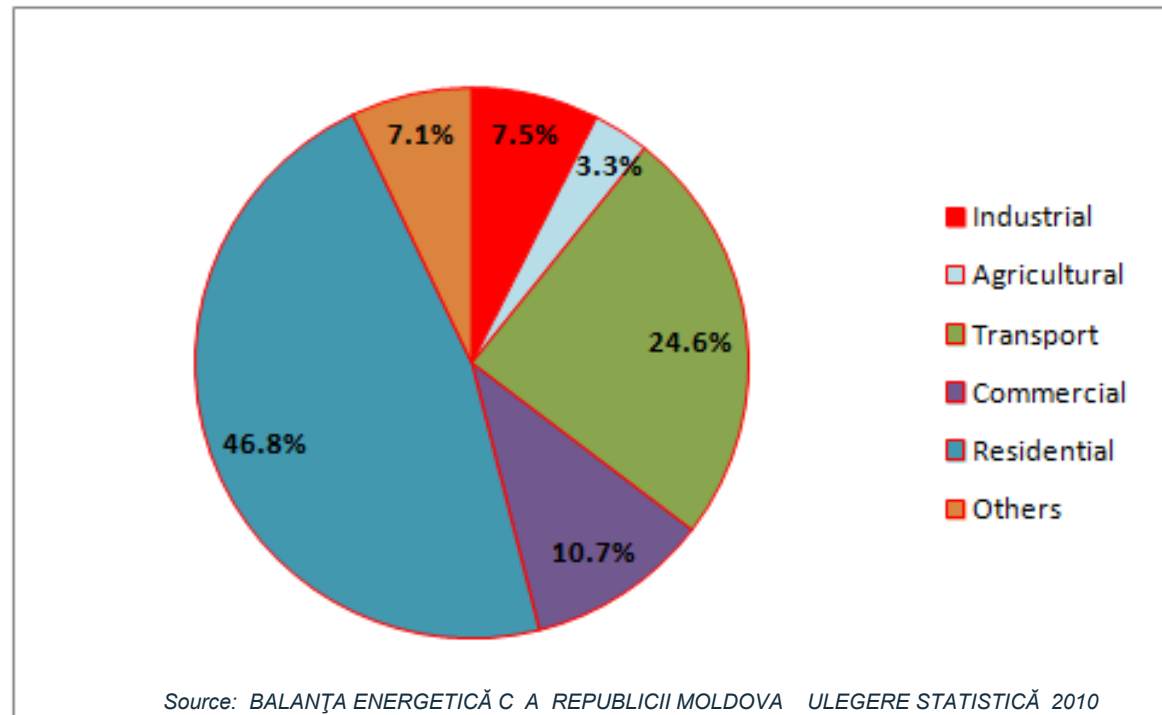
- Republica Moldova consumă anual în jur de 100,000 Tera Joule de energie primară



- Aproximativ 95% din energia primară este importată

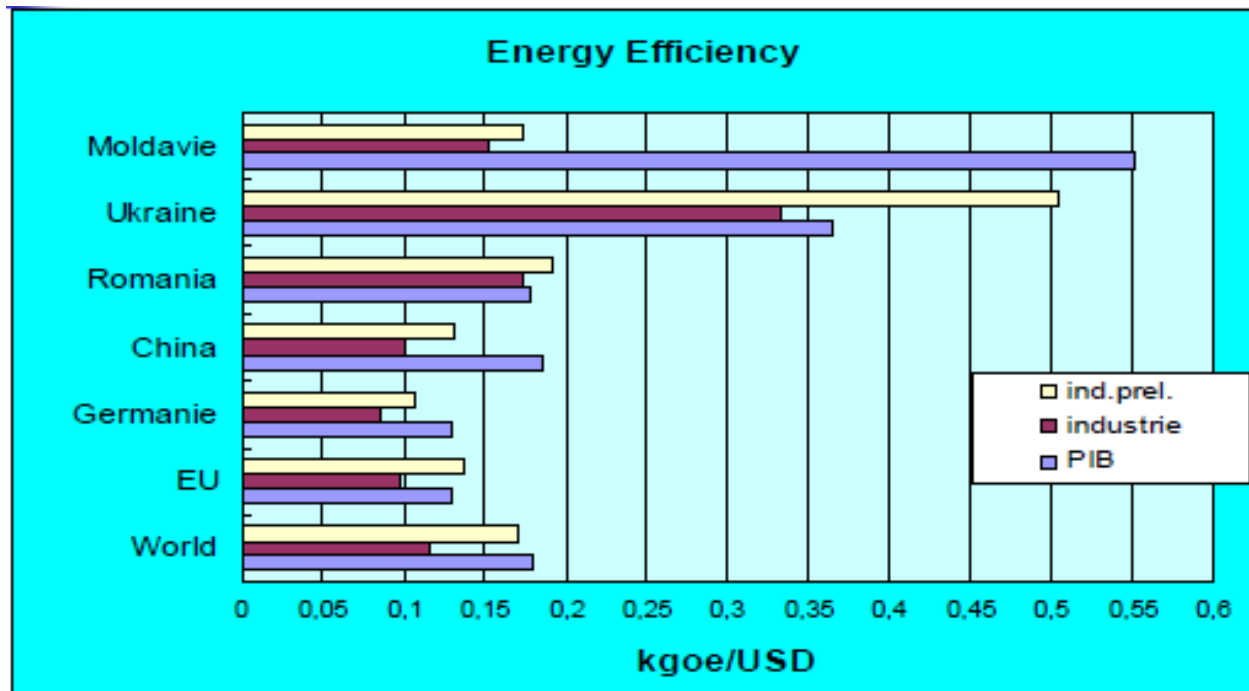
Energia utilizată în Republica Moldova

- Energia este esențială pentru creșterea economică și pentru penșinerea locurilor de muncă în industria prelucrătoare



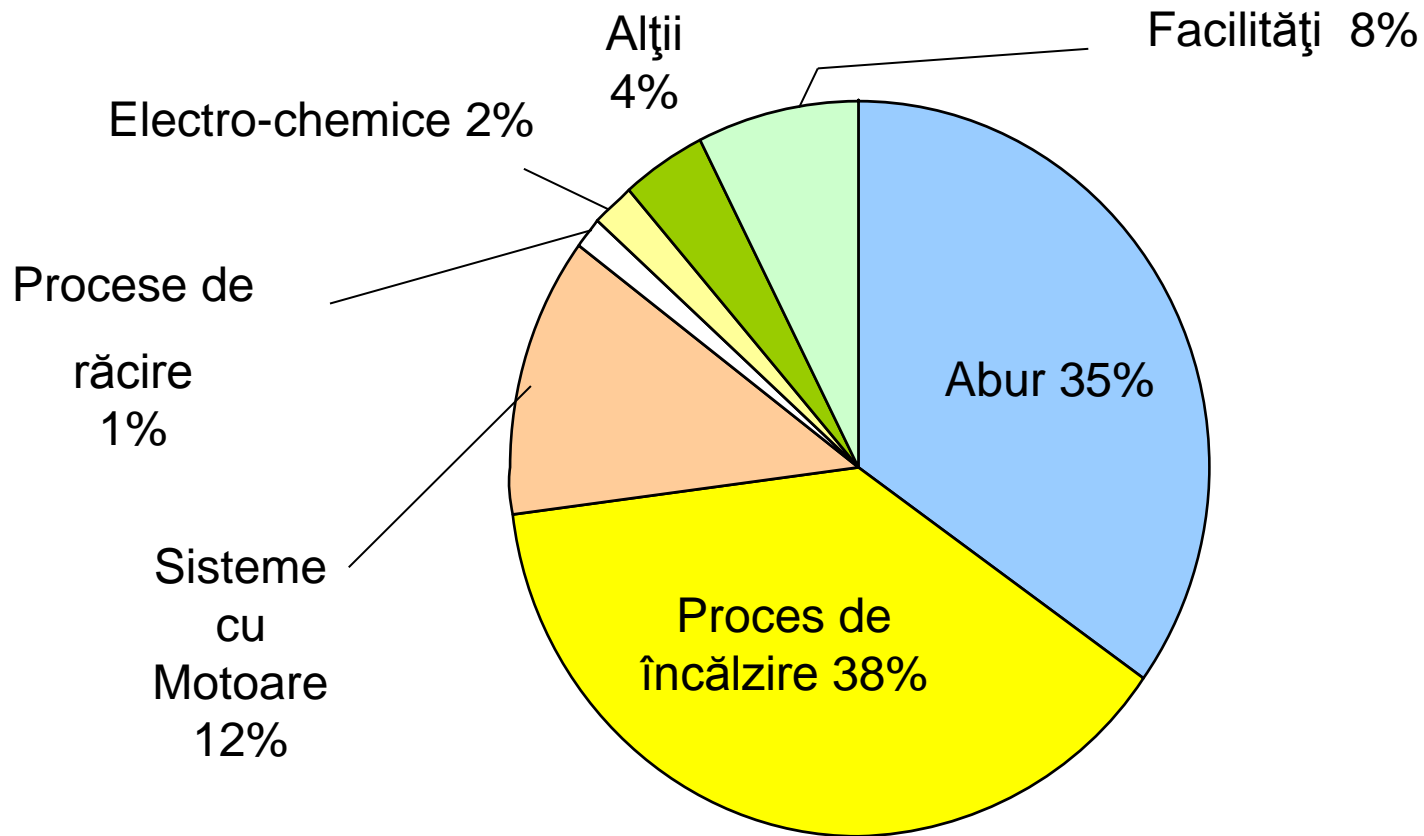
Consumul de Energie Electrică în Republica Moldova

- Eficiența consumului de energie în R.Moldova este mai redusă în comparație cu alte țări din UE & din lume.



- Prin urmare, în industrie trebuie să fie concentrate cele mai importante Programe de Eficiență Energetică

Consumul de Energie la o Centrală Industrială



Note: Does not include off-site losses

Sursa: DOE/EIA Monthly Energy Review 2004 (preliminary)

Utilizatorii de Abur

➤ Utilizatorii mari de abur

- Petrochimie
- Rafinarea Petrolului
- Produse forestiere (hîrtie & celuloză)
- Băuturi & Alimente
- Materiale Plastice
- Cauciucuri
- Textile
- Produse farmaceutice
- Asamblarea întreprinderilor



Utilizatorii de Abur

- Utilizatorii medii de abur
 - Centre mari de încălzire
 - Fabriци de bere
 - Spălătorii
 - Brutării
 - Pregătirea mâncării
 - Prelucrarea metalelor
 - Sisteme mari de răcire
- Utilizatorii mici de abur
 - Electronica
 - Sisteme de pictat
 - Sisteme de umidificare



De ce să folosim aburul?

- Extrem de eficient ca o sursă de căldură - temperatură constantă, coeficienți de transfer de căldură mari (cu condensare)
- Extrem de rentabilă pentru a distribui către punctul-de-utilizare
- Poate fi verificat cu o precizie înaltă
- Un mediu de transfer de energie foarte flexibil – poate fi utilizat pentru procesul de încălzire, precum și pentru producția de energie
- Tehnologia și aplicațiile sunt testate și dovedite la scară mare, precum și la scară mică
- Beneficii semnificative de sistem!

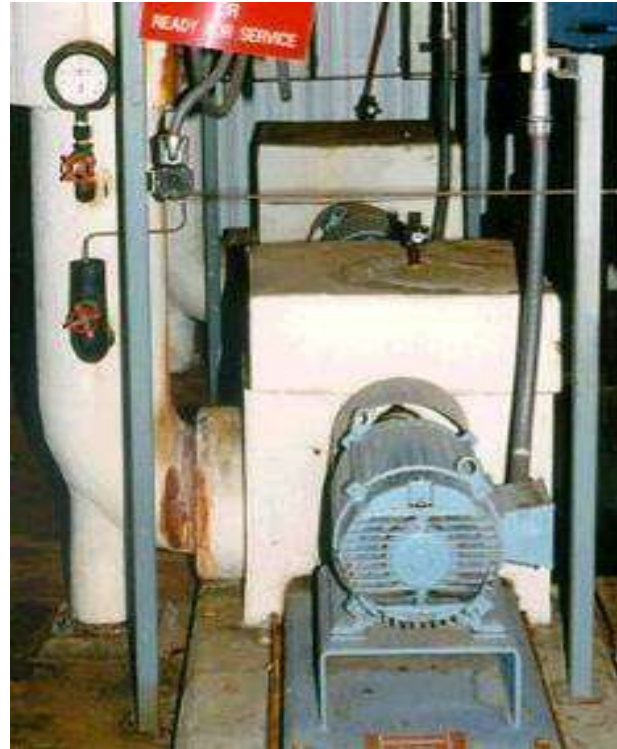
Abordarea Sistemului

- Soluția pentru costurile eficiente a menținerii și operării sistemului centralei
- Să acorde atenție sistemul ca un tot întreg, nu doar individual pentru o piesă din echipamentul sistemului
- Analizează atât oferta cât și cererea sistemului , precum și modul de interacțiune a lor
- Cele mai multe sisteme industriale vor avea nevoie de o nouă abordare a sistemelor pentru analiza propriu-zisă
- Va conduce către economii de costuri și producere de energii semnificative

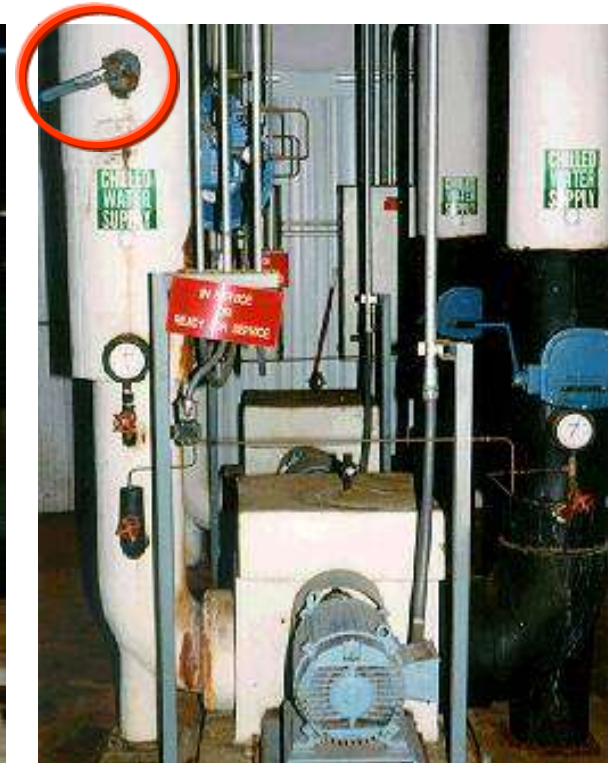
Abordarea Sistemului



**15 kW eficiența
motorului = 91%**



**Motor combinat &
eficiența pompei = 59%**



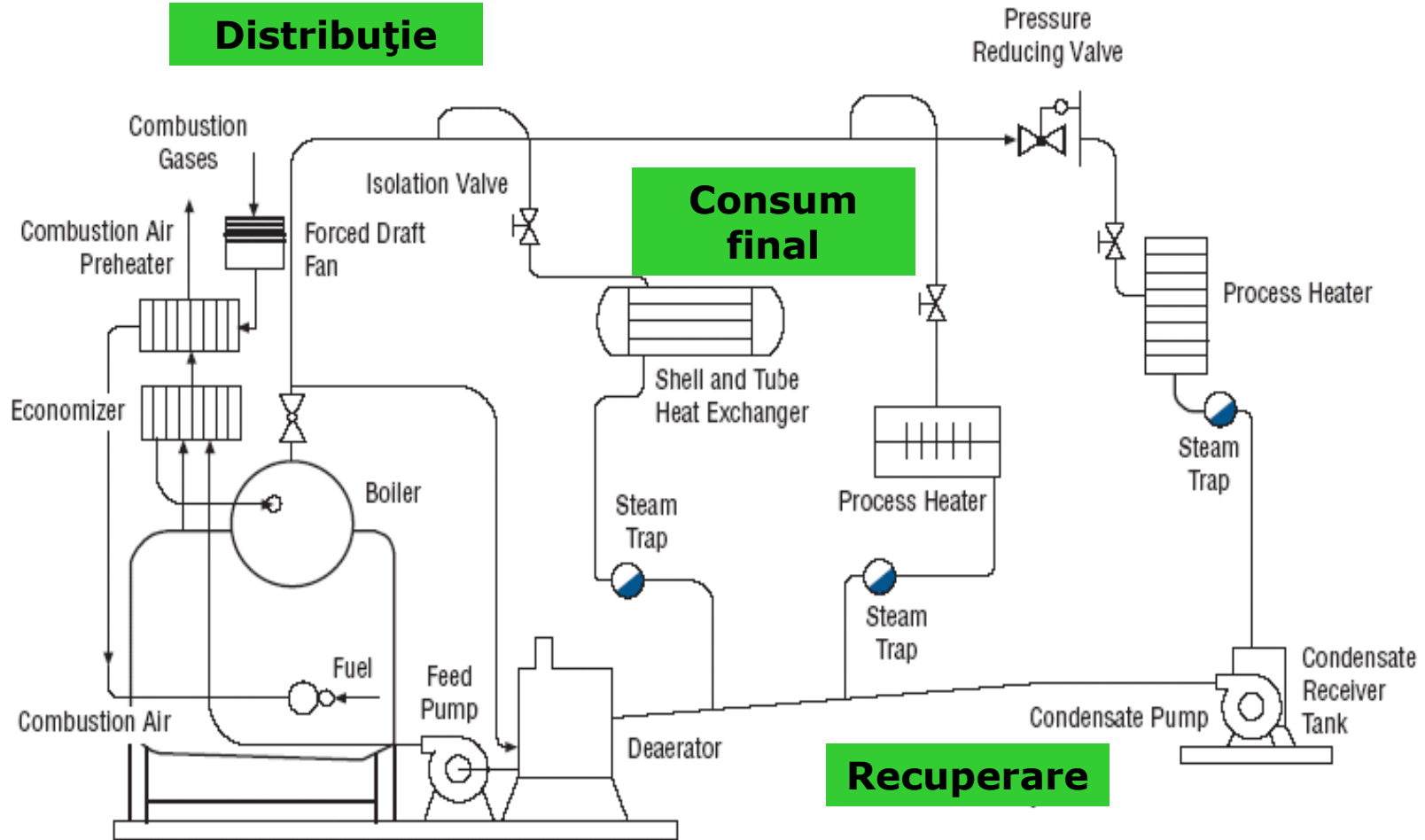
**Eficiența
sistemului = 13%**

Abordarea Sistemului

- **Stabilirea** condițiilor actuale de sistem, parametrilor de operare și a sistemului de consum a energiei
- **Investigarea** funcționării prezentului sistem
- **Identificarea** suprafeților potențiale de îmbunătățire a sistemului dat
- **Analiza** impactului potențialului de îmbunătățire a sistemului centralei
- **Implementarea** îmbunătățirii sistemului din centrală , ținând cont de criteriile financiare
- Continuarea **monitorizării** performanțelor sistemului

Sistemul General de Abur

Distributie



Generare

Source: US DOE ITP Steam BestPractices Program

Optimizarea Sistemului de Abur industrial

- Trebuie să urmeze o abordare sistemică
- Să se concentreze cum energia aburului din sistem va fi gestionată într-o centrală
- Cererile de abur industrial se modifică tot timpul și operațiunile active ale aburului din sistem trebuie să fie optimizate în mod continuu
- Timpul de proiectare a exemplurilor, achizițiile, operațiunilor și cel de menținere trebui să fie urmat continuu
- Cunoașterea bazelor fundamentale, instrumentelor și a resurselor disponibile este cheia spre programul SSO

Economisiți Energie Acum- toate centralele sunt evaluate (2006-2010)

Centralele totale evaluate: aproape de 2,445

Identificarea economiilor de cost: \$1.4 miliard (2,349 raportarea)

Identificarea economiilor de energie: 200 PJ (sursa)

Identificarea economiilor de CO₂ : 11.9 milioane de tone metrice

- **Implementat aproximativ 1/3 din economiile de cost**
- **O altă 1/3 este în curs de activitate și planificare**

<http://www1.eere.energy.gov/industry/saveenergynow/assessments.html>

Economiile Identificate în Rezumatele Centralelor(în SUA)

Tipul de sistem (No. of SENAs)	Economiile medii economisite recomandate (GJ/centrală pe an)	Economiile medii economisite recomandate (%)	Economiile de cost , economisite recomandate (\$/ centrală pe an)	Valorile medii economisite recomandate, GN (GJ/ centrală pe an)	Economiile recomandare, valoare medii CO2 (Tone/centrală pe an)
Aer comprimat (127)	30,800	2.2	\$177,000	440	1,700
Ventilatoare (40)	206,900	3.1	\$1,151,000	38,400	9,000
Proces de încălzire (213)	246,300	11.2	\$1,582,000	187,400	13,300
Pompe (80)	42,400	1.2	\$219,000	1,250	2,400
Steam (313)	270,100	7.0	\$2,075,000	220,000	18,000
Multi sisteme (hîrtie)(20)	420,200	4.7	\$2,782,000	217,900	21,000

Source: Oak Ridge National Laboratory, USA

Bazele Fundamentale ale Sistemului de Abur

Componentele Sistemului de Abur

Proprietățile Termodinamice ale Aburului

Conservarea Masei

Conservarea Energiei

Combustibili

Oportunități de Optimizare a Sistemului de Abur

Componentele Sistemului de Abur

➤ Producerea

- Cazan
- Cazane auxiliare
- Echipament de tratare a apei
- Degazor
- Pompe de apa de alimentare
- Echipament de dirijare și stocare a combustibilului

➤ Distribuția

- Conducte de abur
- Stații de reducere a presiunii

➤ Consum final

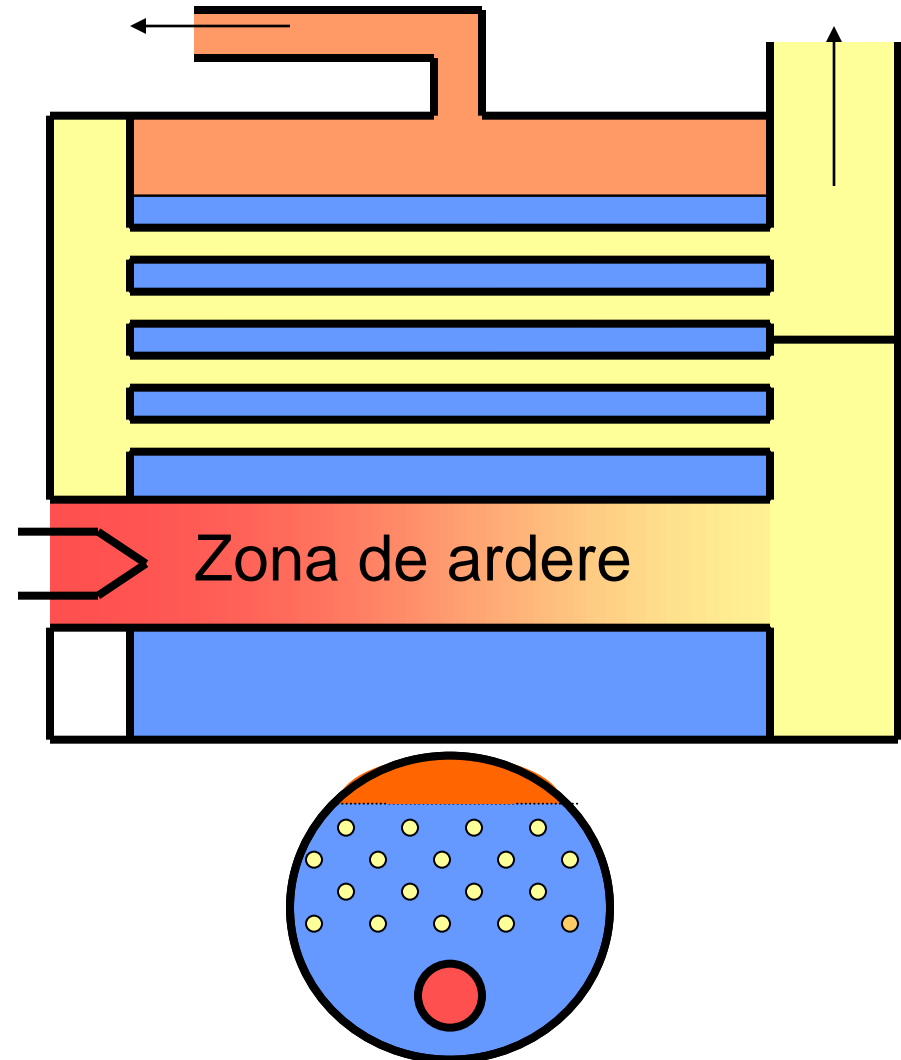
- Turbine cu abur
- Schimbătoare de căldură
- Injectarea de abur viu
- Coloane de stabilizare
- Evaporatoare, etc.

➤ Recuperare

- Captatoare de abur
- Recuperarea condensatului și inversarea sistemului
- Pompe de condensatie

Cazane de Tip Tub-Ardere

- Limitarea presiunii aburului
 - În general, max - 20 bari
- Limitarea Ratei debitului de abur
 - În general, max-1,200 BHp
 - 20 tons/h
- Abur saturat la ieșire
- Un avantaj deosebit îl are tubul de apă –pierderi prin suprafață minime
- În general, fabricate în exterior
- Multe stiluri diferite

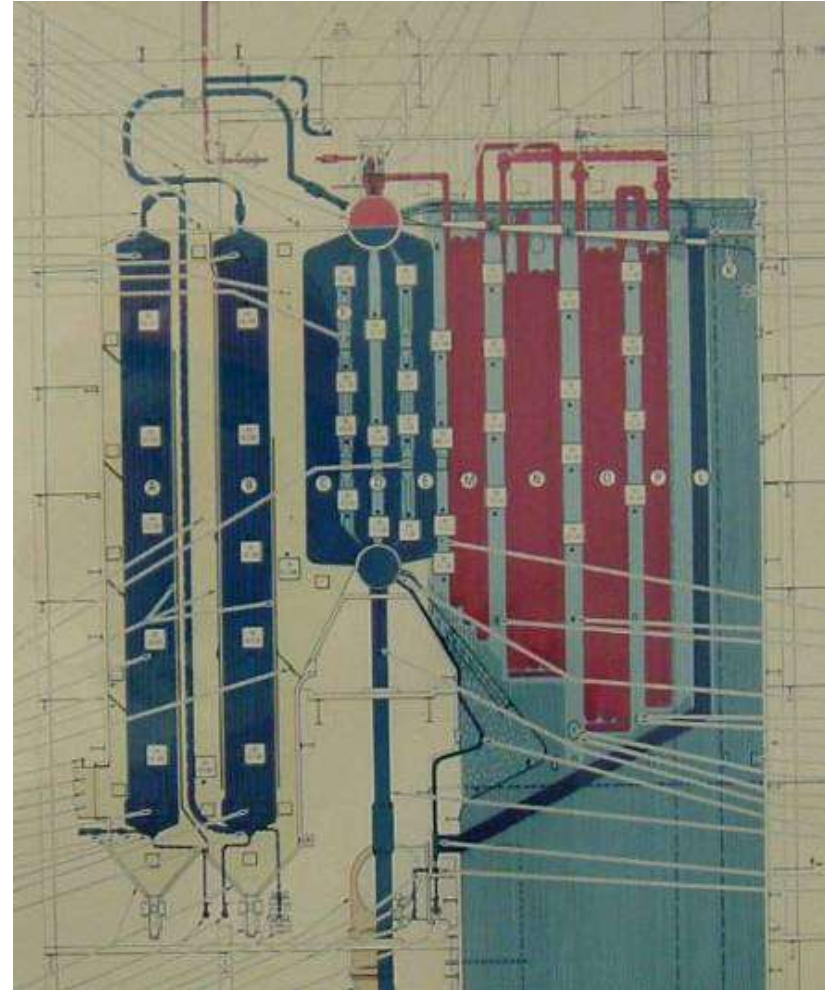


Cazane de Tip Tub-Ardere



Cazane de Tip Tub-Apă

- Presiunea de operare variază de la cea atmosferică pînă la ce în exces de 250 bari
- Producerea de abur variază între 2 Tph și 5,000 Tph
- Abur de ieșire saturat sau supraîncălzit
- Construcții pe loc sau în afară
- Multe stiluri diferite
- Unități compacte acum pe piața de desfacere!



Sursa: US DOE ITP Steam BestPractices Program

Cazane de Tip Tub-Apă



Cazane & Cazane Auxiliare

- Două tipuri de cazane de bază
 - Tub-ardere
 - Tub-apă
- Ventilatoare – configurația debitului
 - Proiect forțat
 - Proiect introdus
 - Proiect echilibrat/Balanced draft
- Preîncălzitoare de aer -ardere
- Economizoare cu apa de alimentare / economizoare cu condensatie
- Supapele debitului de combustibil și verificarea arderii
- Controlul excesului de aer
- Senzori
- Suflarea funigii – abur sau aer comprimat
- Echipament de verificare a poluării



Depozitarea Combustibilului & Echipamente Manuale

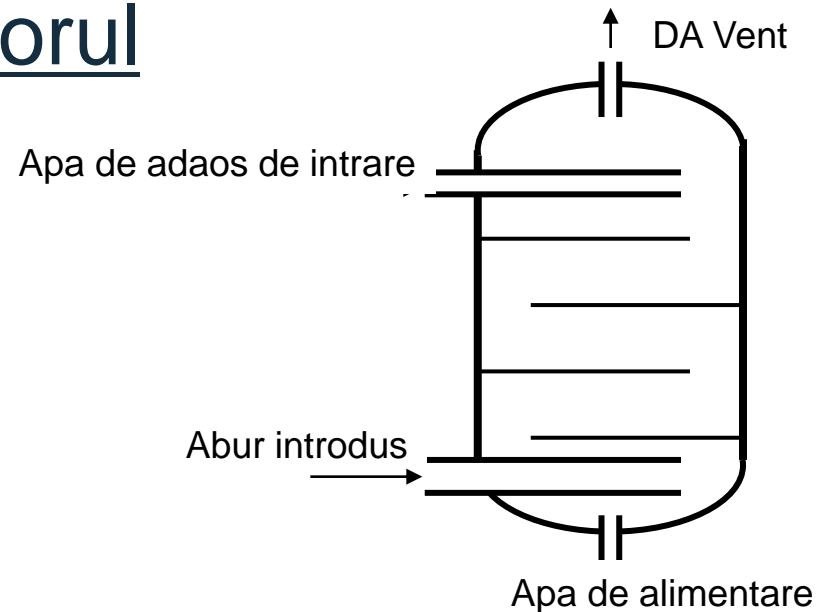
➤ Principalu pentru combustibilii lichizi și solizi

- Primară
- Back-up / Regim de asteptare



Degazorul

- Îndepărtează oxigenul dizolvat din apa de adaos și condensat
- Integritatea cazanului
- Există diferite stiluri
 - De tip pulverizator
 - De tip țeavă
- Poate fi combinat cu încălzitor de apa de alimentare și de stocare
- Va avea în permanență o evacuare de abur!



Pompele

- Apa de alimentare din cazan(BFW)
- Condensat
- Apa de adaos
- Alte servicii auxiliare



Echipament de Tratare a apei

- Extrem de important este tratarea chimică a apei
- Integritatea cazanului
- Depind de presiune și calitate a aburului
- Diverse opțiuni:
 - Umezire
 - Dealcalizare
 - Demineralizare
 - Osmoză inversă
 - Condensat
 - Tratare chimică



Conducte de Abur

- Transportarea aburului consumatorului final
 - Stelaj pentru țevi
 - Colectoare de presiune
 - Izolarea supapelor
 - Configurația supapelor
 - Puncte de scurgere,
- Etc.



Stații de Reducere a Presiunii

- Cunoscută sub numele supape de coorîre "Letdown"
- Oferă controlul fluxului de abur
- Furnizează presiune colectorului spre echilibru
- Operează ca buclă de feedback
- Mereu este nevoie de o derivație pentru situații de urgență și condiții de reparații



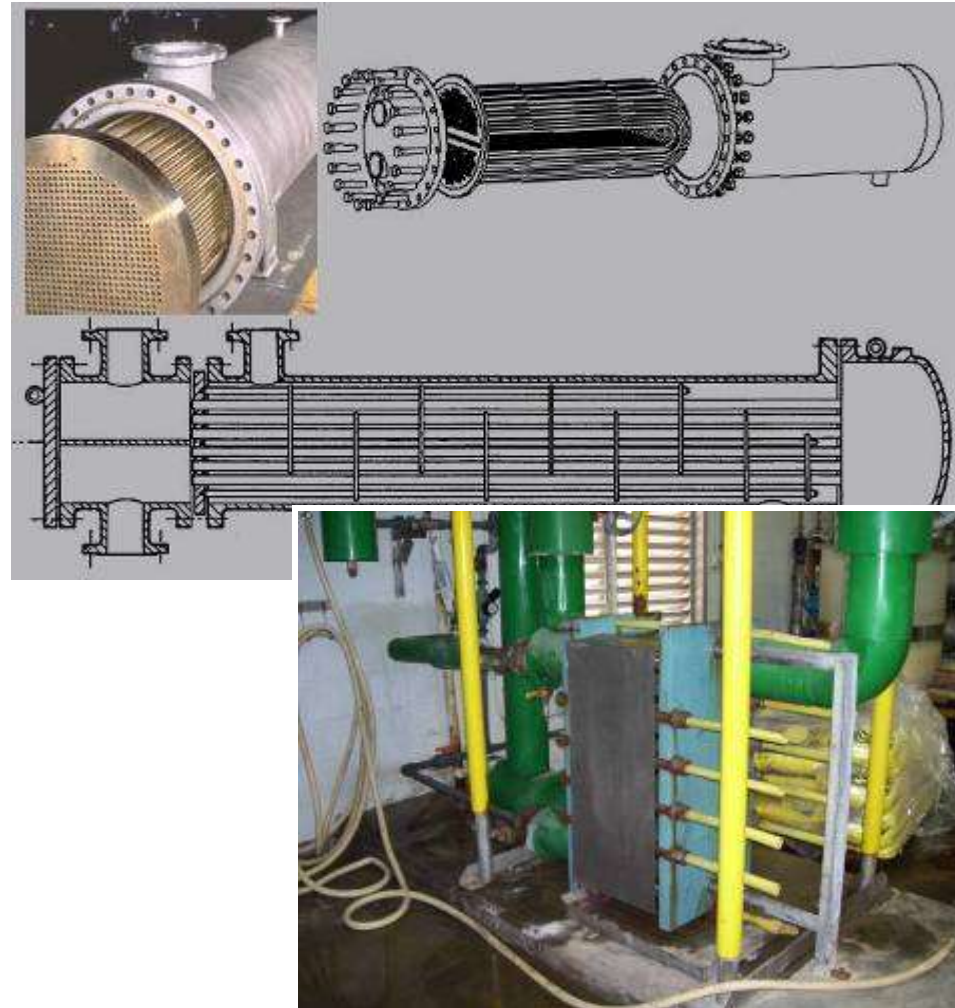
Turbine cu Abur

- Dispozitivul ce convertește energia termică în puterea arborelui
- Poate genera putere electrică printr-un generator
- Pot conduce un echipament mecanic – ventilator, pompă, compresor, răcitor, etc.
- Diferite tipuri:
 - Contrapresiune
 - Cu emisiune în atmosferă
 - Condensare
 - O combinație



Schimbătoare de Căldură

- Diferite tipuri:
 - Suprafață & Tub
 - Placă / Cadru
 - Tub în tub
 - Spirală, etc.
- Pe baza cererilor
- Aburul transferă energia termică pentru a procesa fluidul și a forma condensat
- Standardele industriale pentru modele și aplicații



Alte Echipamente de Consum



Alte Echipamente de Consum



Evaporatoare

- Turn de distilare
 - Stabilizare coloane
- Reformatorii
- Separatoare



Cazane

- Ejectoare de abur
- Injectoare de abur
- Termocompresoare

Captatoare de Abur

- Împiedica evadarea aburului fără transferul de căldură
- Există diferite tipuri de captatoare
 - Termostaticice
 - Mecanice
 - Termodinamice
 - Orificii
- Aplicația – foarte importantă
- Managementul Captatoarelor de



Rezervoare de Abur “Flash”

- Recuperarea aburului de la condensat
- Eliminarea problemelor potențiale de condensat returnat
 - Piston de apă
 - Contrapresiune
 - Debit în 2 faze
- Purjarea rezervoarelor reduce temperatura apei înainte să fie evacuată în canalizație



Sistem de Recuperare a Condensatului

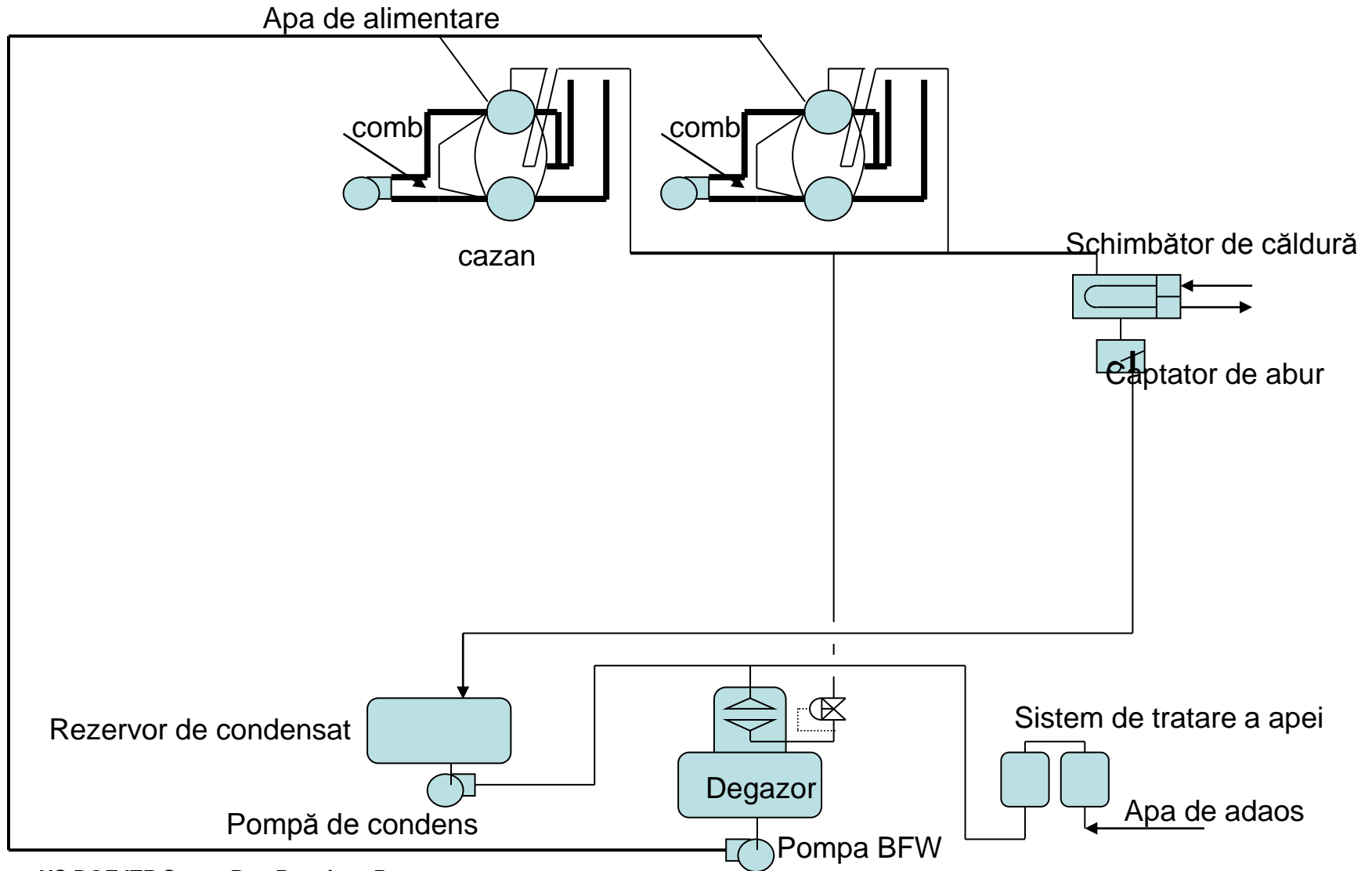
- Primar / Secundar
- Pompat / Conduc de presiune
- Pompat – Conduc electric sau conduc de abur
- Returnează condensatul înapoi cu o energie termică mai ridicată Returns condensate back with the highest thermal energy to the boiler house



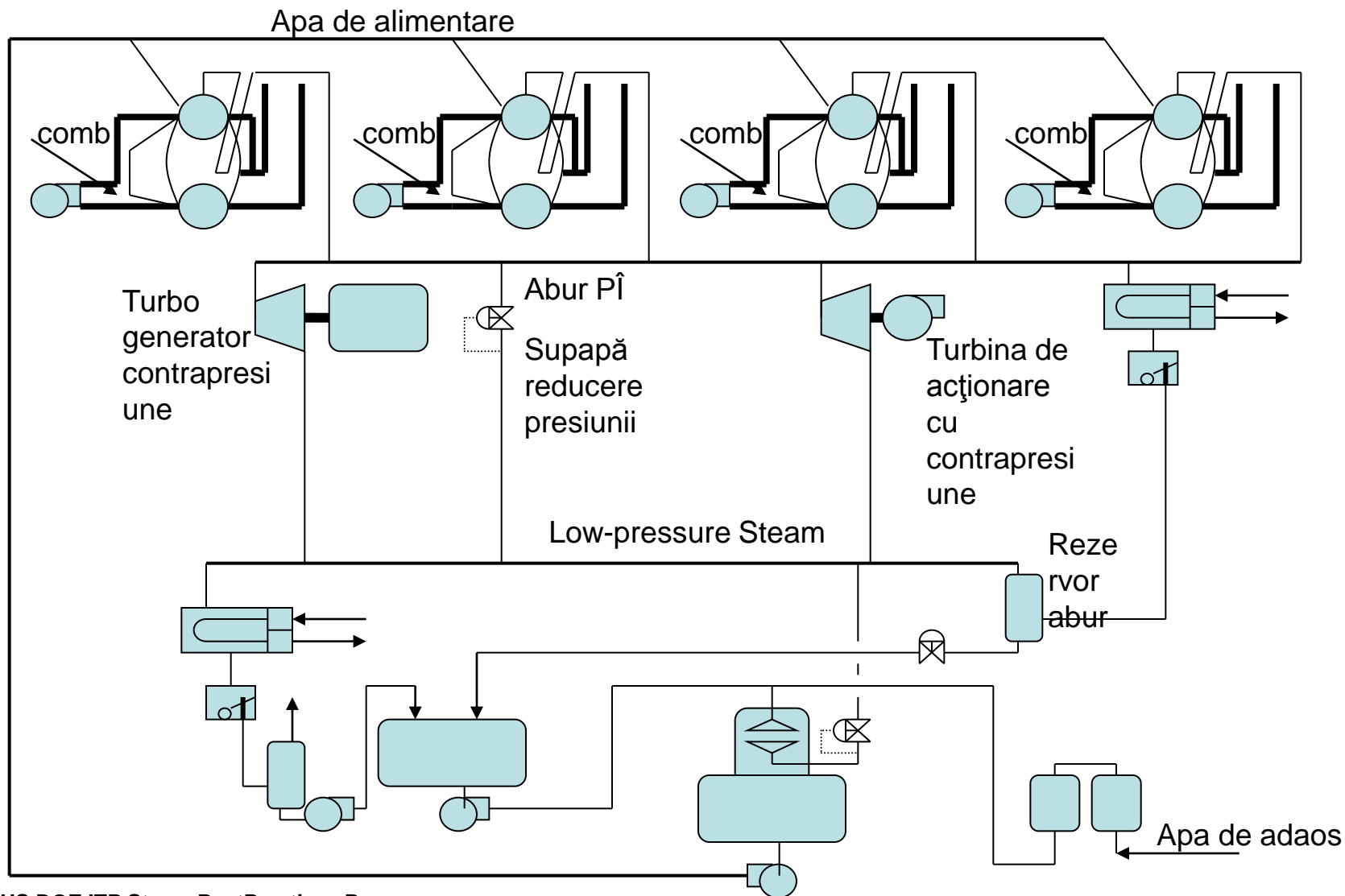
Rezervor de Condensat

- Poate fi folosit pentru toți utilizatorii
- În general, este localizat mai sus de pompa de condensat
- Poate fi combinat cu un degazor încălzitor de apa de alimentare și respectiv stocare

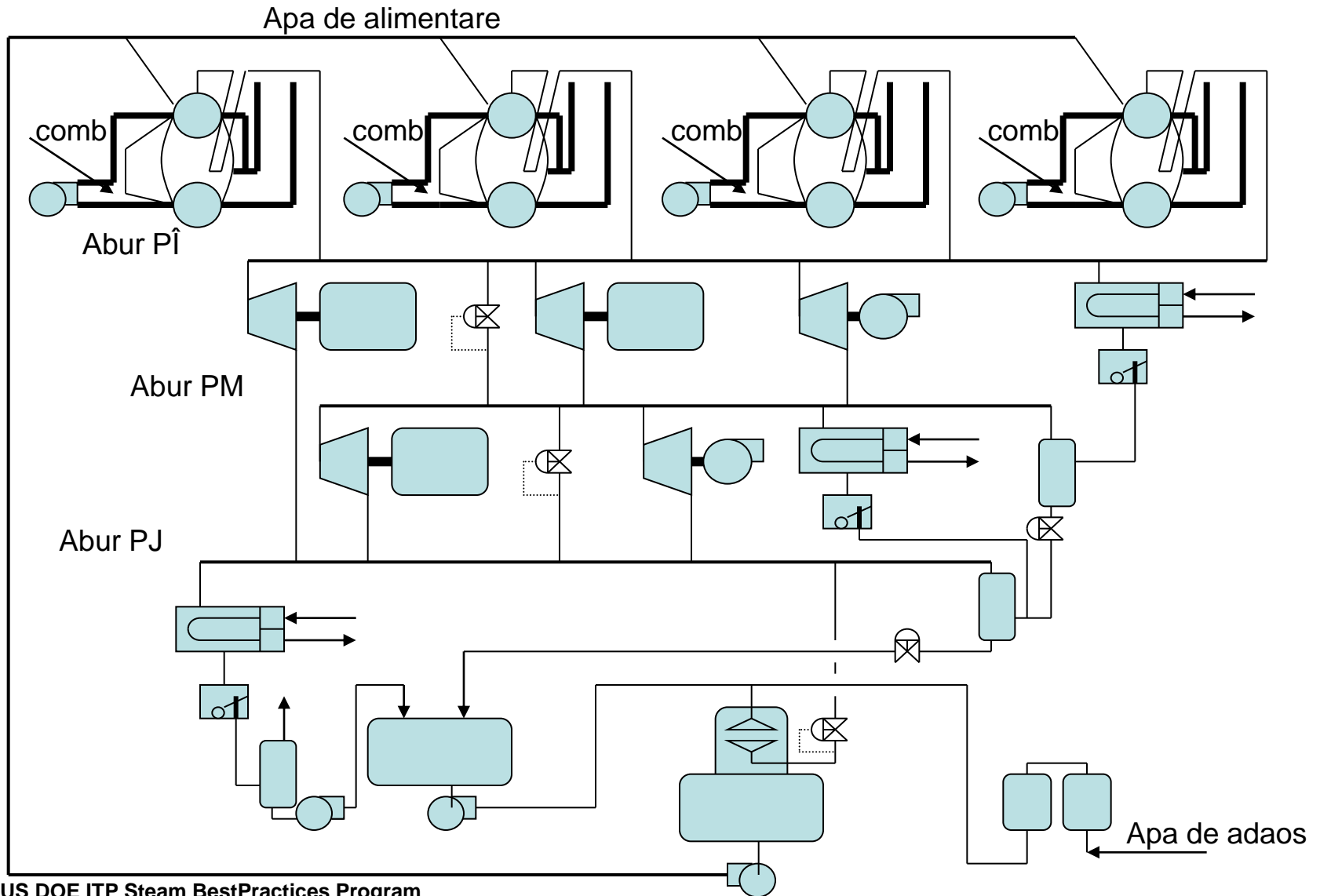




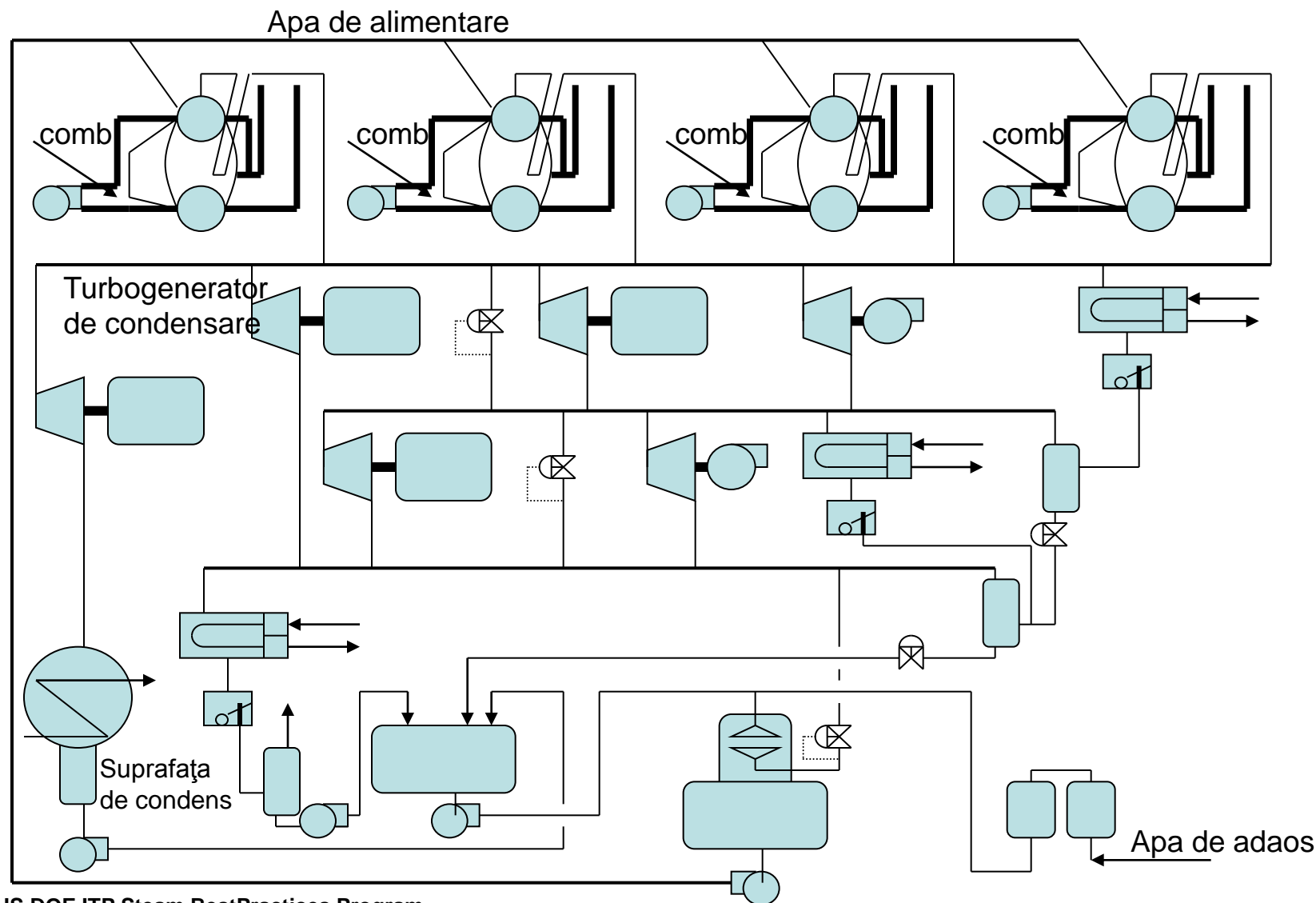
Source: US DOE ITP Steam BestPractices Program



Sursa: US DOE ITP Steam BestPractices Program



Sursa: US DOE ITP Steam BestPractices Program



Sursa: US DOE ITP Steam BestPractices Program

Abur

- Ce este Aburul?
 - Vapori de Apă Saturați sau Supraîncălziți
- Când apa este încălzită pînă la sau mai sus de punctul de fierbere, se formează Aburul

Apa lichidă



Abur gazos



Termodinamica Aburului

- Starea Termodinamică a unei Substanțe Pure
 - Subrăcire
 - Lichid (apă)
 - Temperatura și Presiunea sunt independente
 - Conținut de Energie \propto Temperatura
 - Saturație
 - Lichid / 2-faze / Vapor
 - Temperatura și Presiunea sunt **dependente**
 - $0 \leq \text{calitatea} \leq 1$
 - Supraîncălzire
 - Vapor (abur)
 - Temperatura și Presiunea sunt independente
 - Conținut de energie \propto Temperatură & Presiune



Termodinamica Aburului

➤ Proprietățile Termodinamice ale Aburului

- P - Presiunea (bari, atm., kPa, MPa)
- T - Temperatura (°C)
 - Temperatura absolută (K)
- X - calitatea
- ρ - Densitatea (kg/m^3)
- V - Volumul (m^3/kg)
- H - Entalpia (kJ, kcal)
 - h – entalpia specifică (kJ/kg , kcal/kg)
- S - Entropia (kJ/K , kcal/K)
 - s – entropia specifică (kJ/kg-K , kcal/kg-K)

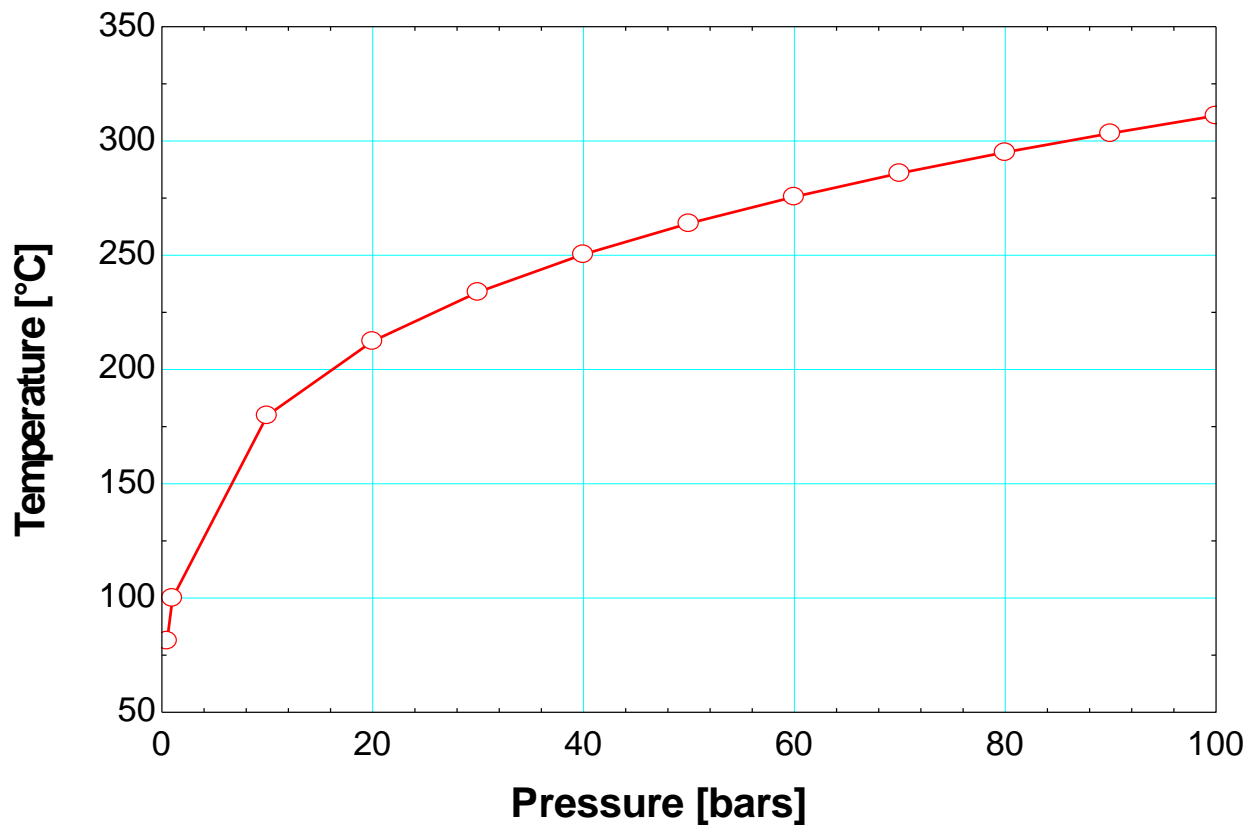
Termodinamica Aburului

- Proprietățile Termofizice ale Aburului
- C_p - căldura specifică la presiune constantă (kJ/kg-K, kcal/kg-K)
 - C_v – căldura specifică la volum constant (kJ/kg-K, kcal/kg-K)
 - V_s – viteza sunetului (m/s)
 - μ - Vîscozitatea (Pa.s)
 - K – Conductivitatea termică (W/m-K)

Termodinamica Aburului

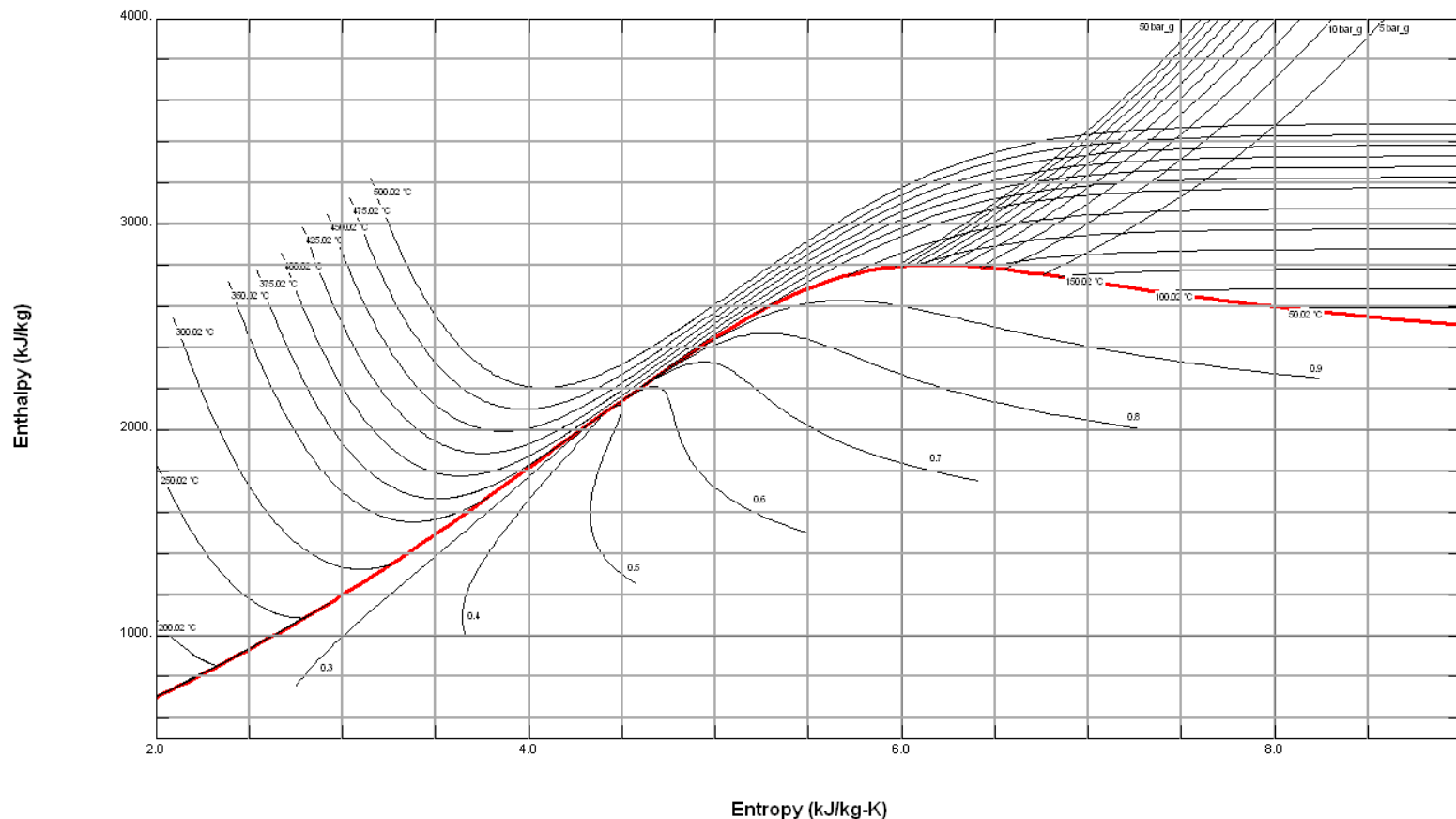
➤ Dependența dintre Presiune – Temperatură

- Dacă Presiunea ↑ - Temperatura ↑



Termodinamica Aburului

➤ Diagram H-S (Diagrama Mollier)



Termodinamica Aburului

➤ Tabele pentru Abur

p abur (bars)	t abur (C)	Pf (kg/m ³)	Vf (m ³ /kg)	Hf (kJ/kg)	Hfg (kJ/kg)	Hg (kJ/kg)	Sg (kJ/kgK)	Sfg (kJ/kgK)	Sg (kJ/kgK)
0.5	81.31	971	3.244	340.4	2,305	2,676	1.091	6.502	7.593
1.0	100	958.4	1.672	419.2	2,257	2,676	1.307	6.047	7.354
10.0	179.9	887.2	0.1945	762.8	2,015	2,778	2.139	4.447	6.586
20.0	212.4	849.9	0.09962	908.6	1,890	2,799	2.447	3.893	6.34
30.0	233.9	822	0.06667	1,008	1,795	2,803	2.645	3.54	6.186
40.0	250.4	798.5	0.04978	1,087	1,713	2,801	2.796	3.273	6.069
50.0	264	777.5	0.03944	1,154	1,640	2,794	2.92	3.053	5.973
60.0	275.6	758.2	0.03244	1,213	1,571	2,784	3.027	2.862	5.889
70.0	285.9	739.9	0.02737	1,267	1,505	2,772	3.121	2.692	5.813
80.0	295	722.4	0.02352	1,317	1,441	2,758	3.207	2.536	5.743
90.0	303.4	705.4	0.02048	1,363	1,379	2,742	3.285	2.392	5.677
100.0	311	688.6	0.01802	1,407	1,317	2,724	3.359	2.255	5.614

Termodinamica Aburului

- Proprietățile aburului
 - Tabelele de abur
 - Diagramele Mollier
 - Baze Fundamentale a manualului ASHRAE
 - Date tabelare
 - Diagrama P-h
 - Programe de Software
 - Ecuația de stare pentru agenți frigorifici diferiți
 - Rezolvarea ecuației ingineresti (EES)
 - Institutul Național de teste și standarde REFPROP
- Puncte de referință
 - Acestea pot fi diferite pentru diferite surse!!

Analiza Sistemului de Abur

- Analiza (SSSF) debit constant, stare constantă
 - Sunt neglijate variabilele ce depind de timp
 - Variabilele dinamice nu sunt luate în considerație
 - Condițiile de deschidere, închidere sau oprire (sau declanșare) sunt neglijate
- Condiții medii de operare sunt utilizate
- Ratele de producție și cele de sezon pot fi obținute utilizând metodologia “bin analysis”
- Analiza de IMPACT este efectuată pe sisteme

Analiza Sistemului de Abur

- În scopul de a evalua sistemele de abur, este necesar de a înțelege procesele fizice date.
 - Termodinamice
 - Transfer de căldură
 - Debitul de fluid
- Măsurările proceselor
 - Temperaturile, Presiunile, debitele, etc.
- Instrumentele U.S.DOE
 - Instrument de definire a Sistemului de Abur (SSST)
 - Instrument de Evaluare a Sistemului de Abur (SSAT)
 - Evaluarea de Izolare software – 3E-Plus
- Disponibilitatea Comercială software
 - Aspecte tehnologice
 - Pentru Abur(KBC Linhoff March)
 - MESA vizuală, etc.

Conservarea Masei

- Legea: Masa nu poate fi nici creată nici distrusă într-un volum decontrol.

- Matematic,
 - Fluxul de masă, intrat = fluxul de masă ieșit

- Structura ecuației:

- $\Sigma M_{in} = \Sigma M_{out}$

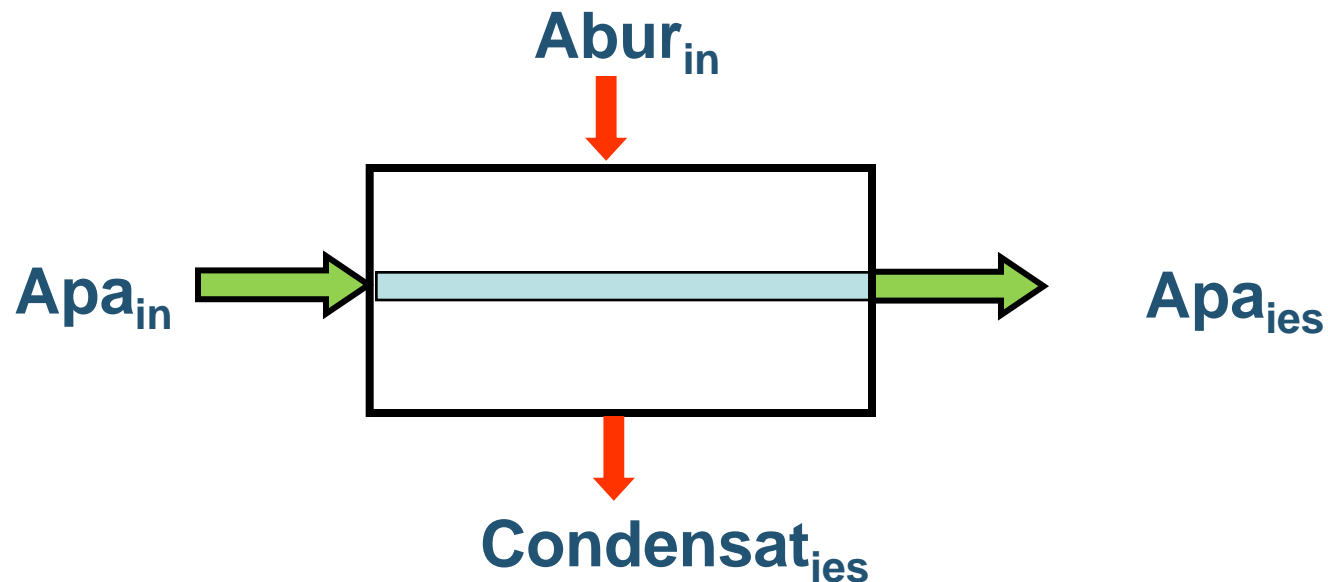
- Starea fluxului de substanță & fluxului de volum poate fi modificat

Stare const, flux const



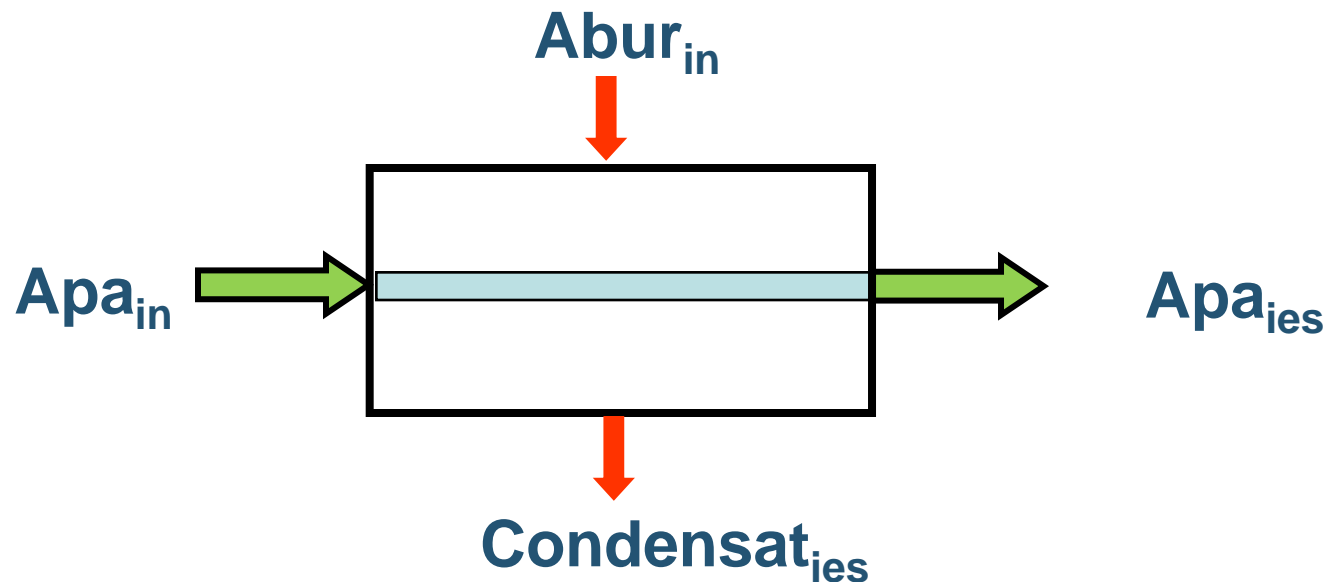
Exemplu: F1

- Un schimbător de căldură de suprafață – tub, este utilizat pentru a încăzi apa cu ajutorul aburului
- Rata fluxului de apă măsurat 600 litri/min
- Rata fluxului de abur este necunoscută



Exemplu: F1

- Stare constantă, flux constant – **Conservarea Masei**
- Partea-apei: flux de apă in = debit de apă ieșit
- Partea-abur: flux de abur in = debit de condens ieșit

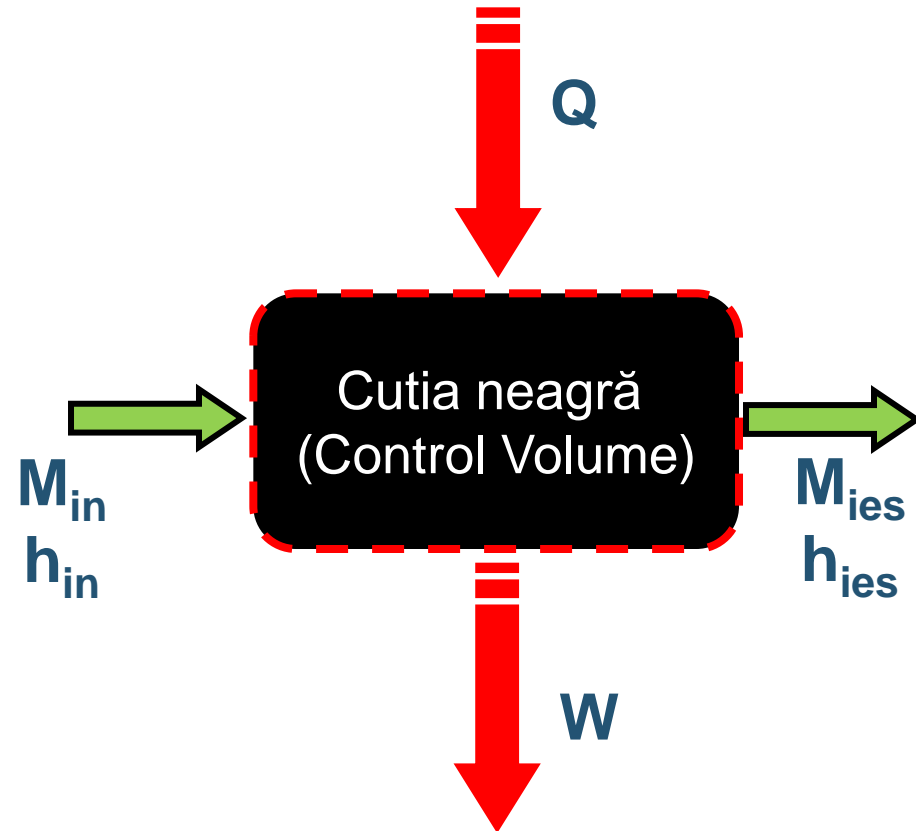


Exemplu: F1

- Stare constantă, flux constant – **Conservarea Masei**
- Partea-apei:
 - fluxul de apă intrat = 600 litri/min
= 600 kg/min
 - Water flow out = 600 litri/min
= 600 kg/min
- Partea-aburului: flux de abur intrat = Condensat de ieșire

Conservarea Energiei

- Legea: Energia totală a unui sistem fizic rămîne nemodificată în timp, indiferent de procesele interne care au loc. Poate trece doar dintr-o stare în alta.
- Matematic,
 - Fluxul de Energie intrat + Căldura = Fluxul de Energie ieșit + Lucru
- Forma ecuație
 - $\sum M_{in} \cdot h_{in} + Q = \sum M_{out} \cdot h_{out} + W$



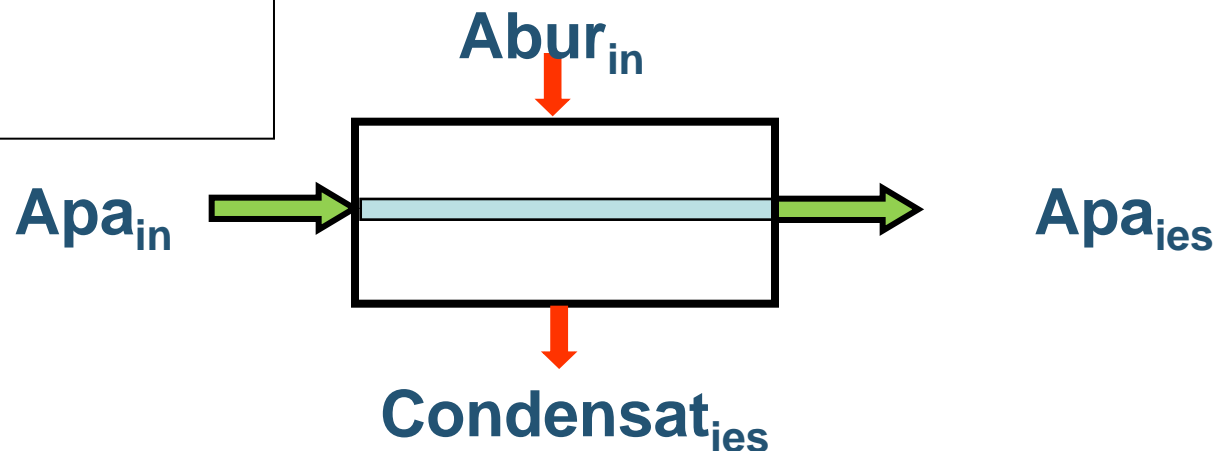
Stare const, debit const

Exemplu: F1

- Temperatura apei de intrare = 25°C
- Temperatura apei de ieșire = 75°C
- Căldura specifică a apei = 4.183 kJ/kg-K
- Căldura transmisă apei = $M_{\text{water}} * C_p * (T_{\text{out}} - T_{\text{in}})$

$$Q = \frac{600}{60} \times 4.183 \times (75 - 25) \text{ kW}$$

$$Q = 2,091 \text{ kW}$$



Exemplu: F1

- Condiții de intrare a aburului: aburul saturat la presiunea atmosferică (1.0 bar)
- Condiții de ieșire a condensatului: Saturat la $T = 100^{\circ}\text{C}$
- Căldura transferată de abur =
$$M_{\text{abur}} * h_{\text{abur}} - M_{\text{condensat}} * h_{\text{condensat}}$$
- Fără lucru mecanic efectuat: $W = 0$
- Căldura transferată apei = Căldura transferată aburului
- Conservarea Masei: $M_{\text{abur}} = M_{\text{condensat}}$

Exemplu: F1

- $Q = M_{\text{abur}} * (h_a - h_{\text{condensat}})$
- Tabela “Proprietățile Aburului”, prevede informații despre entalpiile aburului și condensatului
- h_{abur} – Abur Saturat la 1.0 bar = 2,676 kJ/kg
- $h_{\text{condensat}}$ – Condensat Saturat la 100°C = 419 kJ/kg

$$Q = M_{\text{steam}} \times (2,676 - 419)$$

$$2,091 = M_{\text{steam}} \times (2,257)$$

$$M_{\text{steam}} = 0.927 \frac{\text{kg}}{\text{s}} = 3,336 \frac{\text{kg}}{\text{h}} = 3.34 \text{ Tph}$$

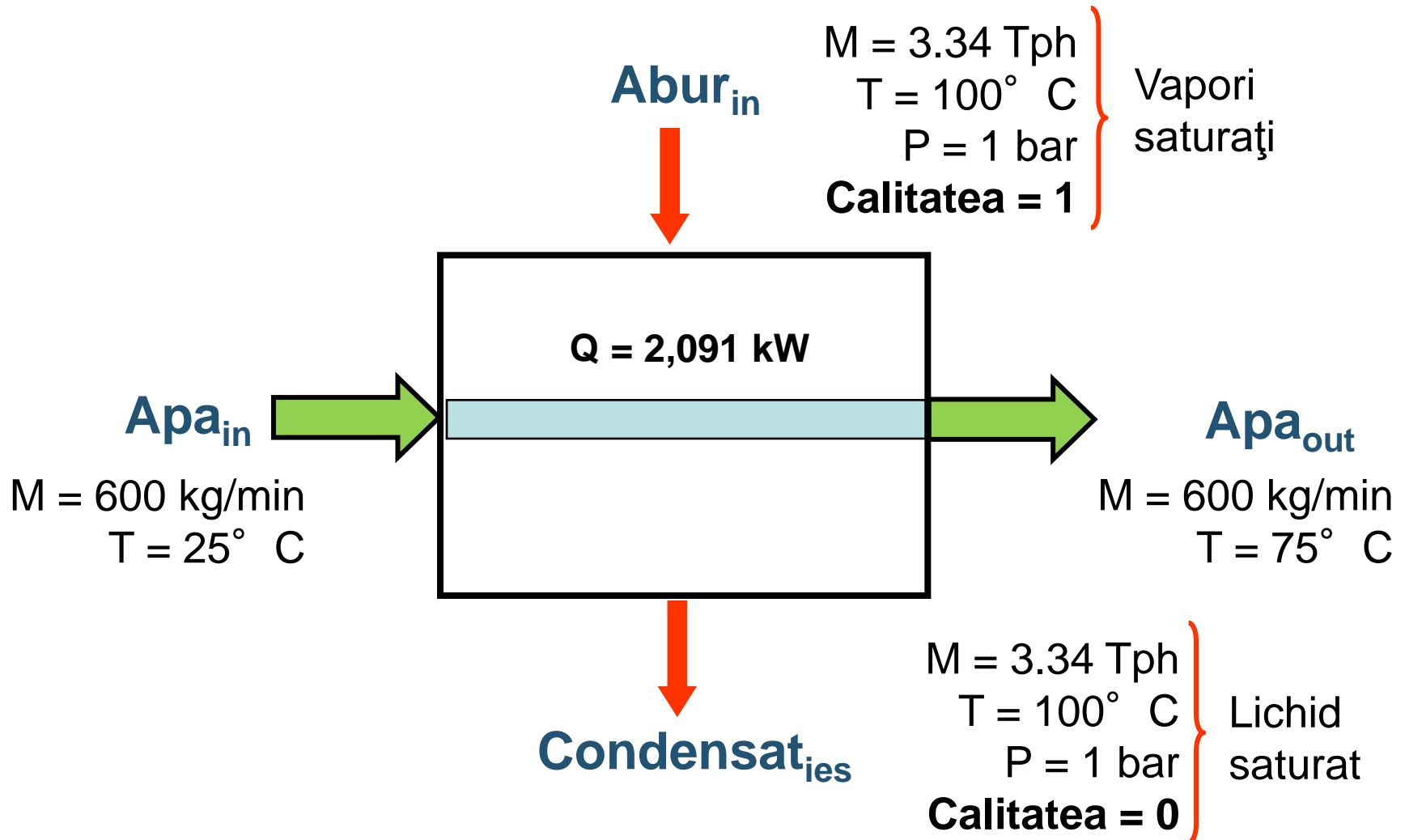
Exemplu: F1

Presiune (bar)	t sat (C)	Calitatea	Entalpia (kJ/kg)
0.5	81.3	0	340.4
0.5	81.3	1	2,645
1.013	100.0	0	419
1.013	100.0	1	2,676
1.5	111.4	0	467.1
1.5	111.4	1	2,693
2	120.2	0	504.7
2	120.2	1	2,707
2.5	127.4	0	535.4
2.5	127.4	1	2,717

Lichid saturat

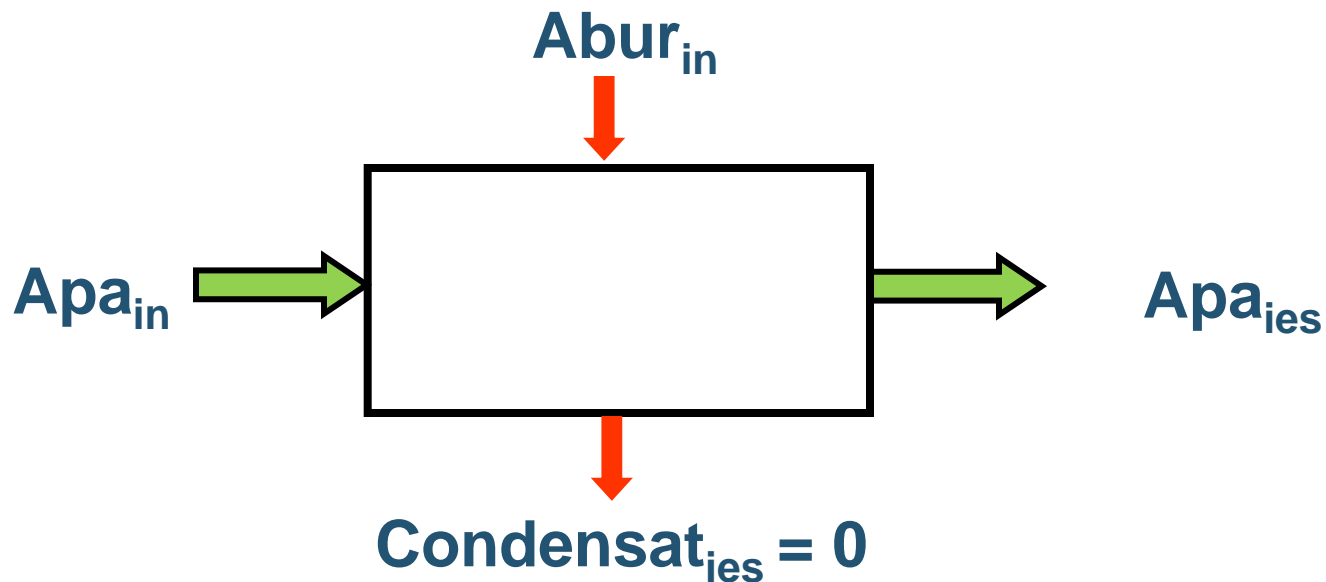
Vapori Saturați
(Abur uscat)

Exemplu: F1



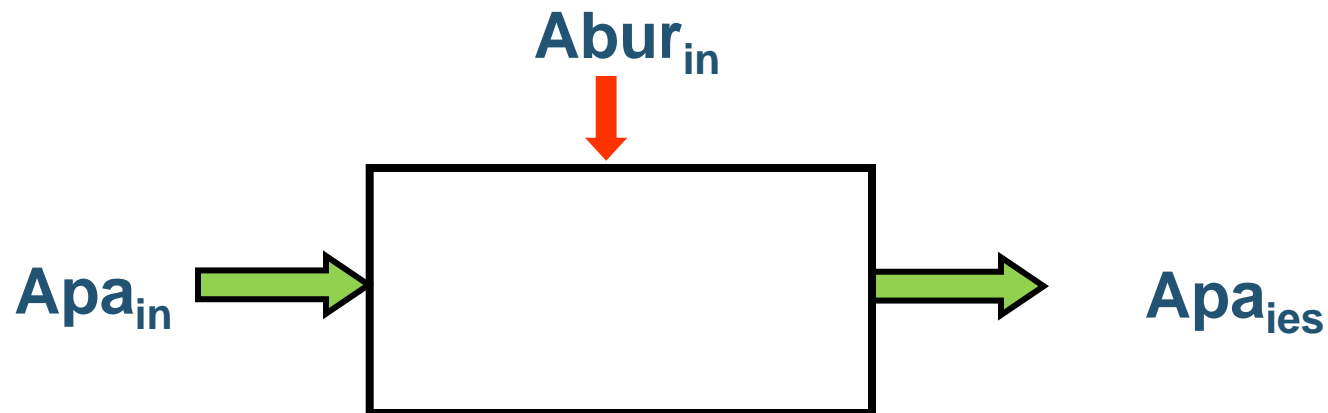
Exemplu: F2

- Aburul este direct injectat într-un recipient de apă caldă
- Rata de curgere a apei necesară procesului (&măsurată) este de 600 litri/min
- Rata de curgere a aburului este constantă



Example: F2

- La aplicarea stării de echilibru, avem starea debitului const – **Conservarea Masei**
- Debit de apă intrat+ Debit de abur intrat = Debit de apă ieșit



Exemplu: F2

- Plicarea stării de echilibru, flux constant—Conservare de **Masă**

- Debit de apă, in $= M_{\text{apa.in}}$ = necunoscută

- Debit abur, in $= M_{\text{abur}}$ = necunoscută

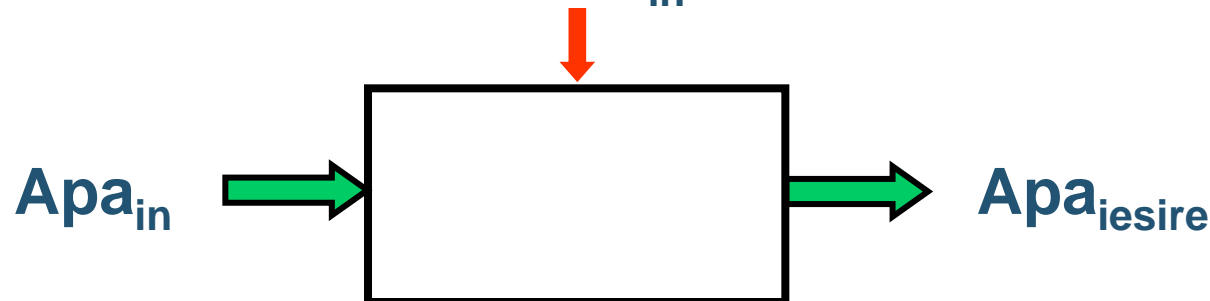
- Debit de apă ies $= M_{\text{apa.ies}}$
 $= 600 \text{ litre/min}$
 $\sim 600 \text{ kg/min}$

- $M_{\text{apa.in}} + M_{\text{abur}} = M_{\text{apa.ies}}$ Ecuția 1

Exemplu: F2

- Temperatura de intrare a apei = 25°C
- Temperatura de ieșire a apei = 75°C
- Condițiile anurului de intrare: Abur saturat la presiunea atmosferică (1.0 bar)
- Fără lucru mecanic efectuat : $W = 0$
- Aplicarea stării de echilibru, stării fluxului constanta -
Conservarea **Energiei**

$$M_{\text{apa,in}} * h_{\text{apa,in}} + M_{\text{abur}} * h_{\text{abur}} = M_{\text{apa,ies}} * h_{\text{apa,ies}} \quad \text{..Ecuția 2}$$



Exemplu: F2

- Tabela Proprietăților Aburului, prevede informații cu privire la entalpia Aburului și a apei subrăcite
- $h_{\text{apa,in}}$ – Apă subrăcită (1.0 bar, 25°C) = 104.8 kJ/kg
- h_{abur} – Abur saturat la 1.0 bar = 2,676 kJ/kg
- $h_{\text{apa,ies}}$ – Apă subrăcită (1.0 bar, 75°C) = 314 kJ/kg

Presiune i (bar)	Temp i (C)	Calitatea i	Entalpia i (kJ/kg)	Densitatea i (kg/m ³)
1.013	25.0	-100	104.8	997.1
1.013	75.0	-100	314	974.9
1.013	100.0	1	2,676	0.597

Exemplu: F2

➤ Ecuația 1 este acum scrisă în așa mod:

$$M_{waterin} + M_{steam} = M_{waterout}$$

$$M_{waterin} + M_{steam} = \frac{600}{60} \times \frac{974.9}{1,000}$$

$$M_{waterin} + M_{steam} = 9.75$$

$$M_{waterout} = 9.75 \frac{kg}{s}$$

Exemplu: F2

➤ Ecuația 2, acum poate fi scrie astfel:

$$M_{waterin} \times (104.8) + M_{steam} \times (2,676) = M_{waterout} \times (314)$$

$$M_{waterin} \times (104.8) + M_{steam} \times (2,676) = 9.75 \times (314)$$

$$M_{waterin} \times (104.8) + M_{steam} \times (2,676) = 3,061.5$$

➤ Rezolvînd ecuația 1 și 2 simultan obținem:

$$M_{waterin} = 8.96 \frac{kg}{s} = \frac{8.96}{997.1} \times 1,000 \times 60 \frac{l}{min} = 539 \frac{litres}{min}$$

$$M_{steam} = 0.793 \frac{kg}{s} = 2,855 \frac{kg}{h} = 2.85 Tph$$

Exemplu: F2

Abur_{intrare}



$M = 2.85 \text{ Tph}$

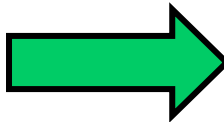
$T = 100^\circ \text{ C}$

$P = 1 \text{ bar}$

Calitatea = 1

Vapori saturați

Apă_{intrare}



$M = 8.96 \text{ kg/s}$

$V = 539 \text{ l/min}$

$T = 25^\circ \text{ C}$



Apă_{ieșire}

$M = 9.75 \text{ kg/s}$

$V = 600 \text{ l/min}$

$T = 75^\circ \text{ C}$



Puncte Cheie / Itemi de Acțiune

1. *Utilizați o abordare sistemică pentru a optimiza sistemele de abur*
2. *Există patru domenii majore ale unui sistem de abur - producție, distribuție, utilizare finală și recuperare*
3. *Pentru analiza sistemului de abur este necesar cunoașterea legilor termodinamice, a transferului de căldură, a curgerii fluidului și respectiv cunoașterea proprietăților aburului*
4. *Aburul este utilizat deseori în industrie pentru diverse sarcini și este mediul cel mai eficient de transport al energiei și producere a lucrului mecanic (sau putere)*

