

Modul 7 - Intocmirea si analiza auditurilor termoenergetice

7.1. Aspecte generale privind auditul energetic

Auditul energetic este o componentă fundamentală, un instrument de lucru al unui program de acțiune având ca obiectiv economisirea energiei, creșterea eficienței energetice.

Termen echivalent din limba engleză este *energy audit* echivalează cu “**analiză critică a eficienței utilizării energiei**” sau cu sintagma **audit energetic**.

Întocmirea unui audit energetic permite obținerea unei imagini accesibile a modului în care fluxurile de purtători de energie intră, se distribuie, se transformă și se consumă în interiorul conturului de bilanț.

Auditul energetic pune în evidență:

- schimburile energetice cu exteriorul;
- schimburile energetice între părțile care alcătuiesc subiectul analizei și modul în care sunt în final valorificate resursele preluate din exterior;
- punctele unde se manifestă ineficiența energetică, mărimea pierderilor energetice;
- premisele de bază a viitoarelor decizii având drept scop eficientizarea energetică a întregului sistem: reorganizări, raționalizări, îmbunătățiri, modernizări, re tehnologizări, etc.

Scopul întocmirii unui audit energetic este:

- evaluarea eficienței energetice în interiorul unui contur la un moment dat și întocmirea unui plan de măsuri pe termen mediu ;
- monitorizarea conținută a consumurilor de energie și utilități în scopul evaluării și ameliorării eficienței energetice și în final a minimizării cheltuielilor specifice cu energia;
- evaluarea soluției tehnice și a condițiilor de alimentare cu energie (conținutul contractelor de furnizare, mod de tarifare etc.) în vederea minimizării facturii energetice pe termen lung (cel puțin 10 ani).

Auditorul energetic reprezintă deci, persoana fizică sau juridică atestată/autorizată, în condițiile legii, care are dreptul să realizeze auditul energetic prevăzut conform normelor impuse prin legislație. Auditorii energetici persoane fizice își desfășoară activitatea ca persoane fizice autorizate sau ca angajați ai unor persoane juridice, conform legislației în vigoare.

7.2. Analiza internă

Auditul energetic este o componentă fundamentală și în același timp un instrument de lucru al oricărui program de acțiune având ca obiectiv economisirea energiei. Procedură complicată, uneori chiar meticuloasă, dar absolut necesară, întocmirea unui audit energetic permite în final obținerea unei imagini accesibile a modului în care fluxurile de purtători de energie intră, se distribuie, se transformă și se consumă în interiorul conturului de bilanț.

Auditul energetic pune în evidență schimburile cu exteriorul, schimburile între părțile care alcătuiesc subiectul analizei și modul în care sunt în final valorificate resursele preluate din exterior. Sunt astfel identificate punctele unde se manifestă ineficiența, precum și mărimea pierderilor cauzate de aceasta. Se constituie astfel baza viitoarelor decizii având drept scop eficientizarea energetică a întregului sistem, care pot consta în reorganizări, raționalizări, îmbunătățiri, modernizări, re tehnologizări etc.

Este evident faptul că atât eforturile de identificare a punctelor de ineficiență cât și baza de stabilire a unei strategii pe termen mediu prin intermediul planului de măsuri de conservare a energiei vor avea o eficacitate cu atât mai mare cu cât analiza eficienței energetice pe bază de bilanț este mai detaliată.

Situația existentă inițial într-o organizație înainte de întocmirea primului audit energetic este stabilită prin analiza internă. Analiza internă a organizației urmărește mai multe aspecte importante ale activității desfășurate în interiorul conturului analizat din punctul de vedere al modului de utilizare a energiei :

- mărimea și structura facturii energetice;
- reacția personalului la mărimea consumurilor și deci a facturii energetice;
- complexitatea, starea tehnică și modul de funcționare a sistemului de monitorizare și evaluare în ansamblul său.

Situația existentă în interiorul conturului analizat sub aspectul eficienței utilizării energiei poate fi definită prin formularea unor răspunsuri la o serie de întrebări precum :

1. Cine răspunde de managementul energiei în organizația respectivă (nume, funcție, calificare, experiență, numărul de persoane din care este format colectivul pe care îl conduce, etc) ?
2. În fața cui răspunde acesta, cât de dese sunt și ce conțin rapoartele sale?
3. Cum este organizată măsurarea fluxurilor de energie care intră în contur (număr de aparate de măsură, amplasare, frecvența de citire/înregistrare, clasa de precizie, etc) ?
4. Sunt aceste aparate de măsură adecvate, precise și fiabile ?

5. Un sistem central de achiziție automată sau semiautomată a datelor ar fi eficient economic ?
6. A fost stabilită pe bază de măsurători o relație directă între mărimea și structura facturii energetice și volumul și structura activității prestate în conturul respectiv (producție, vânzări, timp de lucru, etc) ?
7. Cât de des este calculat și cui este raportat consumul specific de energie?
8. S-au stabilit limite ale consumului de energie (detalii) ?
9. Există o prognoză a consumurilor de energie sau un buget limită pentru procurarea energiei ?
10. Urmărirea consumurilor energetice se practică la intervale regulate și în mod organizat ?
11. Există stabilit un program de măsuri de conservare a energiei la nivelul organizației ?
12. A stabilit conducerea executivă obiective pentru reducerea facturii energetice ?
13. Ce pași au fost făcuți în vederea recuperării și reciclării resurselor energetice secundare, în ipoteza că acestea sunt cunoscute și inventariate ?
14. Termenii contractelor de livrare a energiei, în special modalitățile de tarifare, sunt considerați convenabili și corespunzători specificului organizației ?

Trebuie subliniat faptul că răspunsurile la o parte dintre aceste întrebări vor putea fi formulate mai corect și mai complet după întocmirea auditului preliminar sau chiar după întocmirea auditului propriu-zis. La momentul analizei interne este totuși importantă percepția conducerii și a restului colectivului în legătură cu fiecare dintre aspectele și problemele amintite mai sus.

Precizarea aspectelor calitative și cantitative ale alimentării cu energie a activităților desfășurate în perimetrul respectiv include următoarele aspecte :

- stabilirea naturii purtătorilor de energie care intră în conturul de bilanț;
- stabilirea ordinului de mărime al consumului pentru fiecare categorie de purtător de energie;
- stabilirea modalității de plată (de tarifare) pentru fiecare dintre aceștia.

Mărimea și structura facturii energetice, precum și prevederile contractelor de furnizare privind modalitatea de tarifare aleasă reprezintă deci primul aspect al analizei interne.

Al doilea aspect avut în vedere este reacția personalului la mărimea facturii energetice. Experiența acumulată în țările dezvoltate a arătat că, la nivelul conducerii executive a unei organizații, atitudinea în raport cu factura energetică se poate încadra într-una dintre următoarele situații :

- facturile energetice sunt plătite la timp fără nici un fel de analiză sau de control intern;

- facturile energetice lunare sunt comparate cu citirile (înregistrările) lunare ale aparatelor de măsură montate la intrarea în conturul de bilanț;
- citirile (înregistrările) lunare sunt raportate la volumul activității din luna respectivă, calculându-se un consum specific global de energie;
- există un sistem de achiziție (nu neapărat automat) a datelor, care realizează cel puțin săptămânal monitorizarea consumurilor energetice ale principalilor consumatori interni și raportarea acestora la partea care le revine din volumul activității;
- este implementat și funcționează un sistem automatizat/informatizat de supraveghere și evaluare continuă a eficienței utilizării energiei, eventual și a altor resurse materiale.

Atitudinea conducerii executive și a restului personalului organizației față de eficiența cu care este utilizată energia este reflectată de gradul de conștientizare a importanței problemei, calitatea și eficacitatea sistemului de monitorizare, modul de valorificare a rezultatelor astfel obținute și reacția așteptată din partea fiecăruia dintre nivelurile de autoritate la mărimea și evoluția în timp a cheltuielilor cu energia.

Al treilea aspect important este legat de modul de funcționare și eficacitatea sistemului de monitorizare și evaluare a eficienței utilizării energiei în interiorul conturului dat. Trebuie avute în vedere concepția, baza materială aferentă și importanța acordată sistemului la nivelul organizației. În acest sens trebuie urmărite următoarele aspecte :

- modul și frecvența de citire/înregistrare a aparatele de măsură, cu deosebire a celor care constituie baza de facturare;
- modul de transmitere la centru a datelor citite sau înregistrărilor (pe formulare tip, prin semnale electrice, printr-o rețea informatică, etc.);
- modul de prelucrare a informațiilor (modelul, algoritmul, mărimile calculate etc.);
- conținutul, frecvența întocmirii și destinatarii rapoartelor;
- efectele raportării și modul în care se iau deciziile privind eficiența energetică.

Trebuie subliniat că toate cele trei aspecte ale analizei sunt interdependente și la fel de importante. Dacă mărimea facturii energetice reprezintă elementul determinant, la reducerea ei contribuie în egală măsură angajamentul sincer al întregului personal și un sistem eficient de monitorizare.

Din analiza sistemului de monitorizare și evaluare poate decurge necesitatea suplimentării numărului de aparate de măsură, reorganizării modului de citire, de înregistrare și de transmitere a datelor, elaborării unor formulare tip în acest scop, implementării unui sistem automat sau semiautomat de achiziție a

datelor măsurate, elaborării unui algoritm unic de prelucrare a datelor, stabilirii unei noi formule de prezentare a raportului, etc.

7.3. Modele de chestionare pentru analiza internă

Pentru a exemplifica modul în care se desfășoară o analiză internă într-un contur dat sunt prezentate două chestionare care se pot aplica în această etapă a analizei.

Tabelul 7.1.

Chestionar de evaluare a caracteristicilor arhitecturale în vederea creșterii eficienței energetice a alimentării cu căldură

Nr	Elementul vizat	Întrebări posibile	Răspuns	
			Acțiune propusă	
1	Izolarea pereților (tipul și starea de degradare a izolației)	Peretele este izolat adecvat ?	DA	NU
		Există gheață și condens pe perețele exterior respectiv interior ?	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare	Se mărește gradul de izolare la interior și/sau exterior (conform indicații specialist)
2	Starea tehnică a acoperișului (tip constructiv, grad de degradare a izolației)	Acoperișul este adecvat?	DA	NU
		Sunt acumulări de zăpadă pe acoperiș?	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare	Refacerea izolației
3	Tipul și starea ferestrelor	Aveți ferestre simple?	DA	NU
		Aveți ferestre sparte, crăpate,	Înlocuiții ferestrele simple cu ferestre duble și triple	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare
			DA	NU

		interstiții între ferestre și pereți?	Remediați deficiențele	Verificați periodic la 6 luni starea acestora
		Aveți multe ferestre orientate în direcțiile Est, Sud și Vest ?	DA	NU
			Montare de sticlă reflectorizantă sau acoperirea cu perdele sau obloane	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare
4	Infiltrarea aerului	Ați detectat scăpări în jurul ușilor și ferestrelor de ieșire precum și a ușilor și rampelor de încărcare?	DA	NU
			Montați chedere, izolații în jurul ramelor	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare
		Există holuri la intrare?	DA	NU
			Nu sunt necesare acțiuni suplimentare	Construiți holuri, montați uși automate
		Sunt lăsate deschise necontrolat ușile și ferestrele?	DA	NU
			Minimizați deschiderile fără rost a acestora, montați uși automate	Nu sunt necesare acțiuni suplimentare
		Ușile de la rampele de încărcare sunt prevăzute cu izolații speciale?	DA	NU
			Verificați periodic starea tehnică	Instalați perdele de izolare

Chestionar de evaluare a instalațiilor de cazane de abur în vederea creșterii eficienței energetice

Nr.	Elementul vizat	Întrebări posibile
1	Management	<p>Există monitorizarea consumului actual pe tipuri de agent termic (abur, apă fierbinte)?</p> <p>Care sunt previziunile de consum?</p> <p>Există proceduri și instrucțiuni aprobate care să gestioneze producerea și distribuția energiei termice?</p> <p>Cum sunt instruiți angajații în vederea conștientizării necesității conservării energiei (mod de lucru)?</p> <p>Sunt informați cu mărimea și componenta facturii energetice?</p> <p>Există sisteme de comunicare și informare a angajaților în ceea ce privește rezultatele obținute?</p>
2	Consumuri de caldură	<p>Sunt implementate proceduri de oprire a consumului de căldură și de montare a instalațiilor auxiliare?</p> <p>Aburul și apa fierbinte sunt produse la parametrii mai mari decât cei impuși de consumator?</p> <p>Cine preia variațiile de producții pe diferite perioade caracteristice?</p>
3	Combustibil (tip, calitate, stocare)	<p>Există surse alternative de combustibil mai ieftin?</p> <p>Pot fi folosite produse obținute în perimetrul industrial analizat ca surse de combustibil suplimentar?</p>

		<p>Au fost evaluate costurile de alimentare continuă și discontinuă de gaz natural?</p> <p>Există posibilitatea utilizării combustibilului gazos și lichid în vederea evitării întreruperii alimentării cu combustibil a instalației?</p> <p>Tancurile și conductele de combustibil sunt izolate corespunzător?</p> <p>Izolația exterioară este impermeabilă la apă?</p> <p>Combustibilul este încălzit la temperatura corectă?</p> <p>Combustibilul solid (sau biomasa) este protejată împotriva ploii?</p>
4	Cazanul și sistemele de distribuție a aburului	<p>Se semnalizează prezența combustibilului la coș?</p> <p>Eficiența cazanului este verificată periodic, în mod consecvent?</p> <p>Se utilizează o metodă specifică de determinare a eficienței cazanului?</p> <p>Eficiența energetică determinată are valori acceptabile în concordanță cu tipul cazanului și a combustibilului utilizat?</p> <p>Arzătoarele lucrează în zona de maximă eficiență a arderii?</p> <p>Pierderile cazanului și sistemelor conexe sunt cunoscute și cuantificate?</p> <p>Sunt făcute determinări periodice a emisiilor la coș? Au valori acceptabile?</p> <p>Care este nivelul de NO_x în gazele de ardere? Este în limitele impuse?</p> <p>Flacăra este luminoasă și clară?</p> <p>Cum se gestionează excesul de aer? Cât de frecvent?</p> <p>Unde este amplasată priza de aer?</p>

		<p>Aerul comburant este preîncalzit? Cum?</p> <p>Se recuperează cât mai eficient căldura gazelor de ardere? Cum?</p> <p>Există programe de verificare și înlocuire a suprafețelor de transfer de căldură?</p> <p>Cre este nivelul de impurificare a condensului?</p> <p>Care este cota de condens returnat?</p> <p>Care este nivelul de tratare a condensului?</p> <p>Cum se controleaza returul de condens?</p> <p>Se face recuperarea căldurii condensatului?Cum?</p> <p>Există conducte de abur și condensat dimensionate necorespunzător?</p> <p>Exista programe de inspecție a conductelor?</p> <p>Conductele de abur și condensat sunt dimensionate corespunzător:</p> <p>Izolația este uscata și protejata la infiltrații?</p> <p>Există pierderi de abur și condensat?</p> <p>Este preîncălzită apa de alimentare a cazanului? Cum?</p>
--	--	---

7.4. Auditul energetic preliminar

Auditul energetic preliminar este de regulă unul general, în care întreg sistemul analizat este considerat ca o "cutie neagră". Nu se iau în considerare nici componența și structura sistemului, nici relațiile și

interdependențele între subsistemele care îl compun. Intrările și ieșirile sunt deci definite numai în raport cu conturul general.

Datele necesare pentru întocmirea auditului preliminar, care este recomandabil, cel puțin pentru obiectivitate, să fie întocmit de cineva din afara organizației respective, sunt următoarele :

1. Numele și adresa organizației (firmei, companiei, întreprinderii).
2. Natura activității sau activităților organizației (aspecte calitative).
3. Statutul juridic și comercial (forma de organizare, forma de proprietate, sectorul de activitate, tipul afacerii, etc).
4. Numele, funcția și adresa persoanei de legătură (telefon, fax, e-mail).
5. Numărul angajaților.
6. Programul de lucru (zilnic, săptămânal, lunar, anual, număr de schimburi, etc).
7. Istoricul consumurilor de energie pe o anumită perioadă de funcționare normală (cel puțin pentru ultimii 5 ani de activitate).
8. Factura energetică anuală detaliată pentru ultimul an financiar.
9. Oricare alte date disponibile, brute sau prelucrate, privind consumurile absolute și specifice de energie ale organizației pentru ultimul an financiar (provenind din sistemul propriu de monitorizare).
10. Date privind volumul și structura activității organizației pentru aceeași perioadă de timp.

Formularele tip pentru datele numerice necesare sunt prezentate în anexă. Un istoric al consumurilor energetice din ultimii 5 sau chiar 10 ani de activitate normală este necesar pentru stabilirea unui eventual raport între volumul și structura activității și volumul și structura facturii energetice. Aceste date provin din evidențele contabile ale organizației, care înregistrează facturile energetice la capitolul cheltuieli. Ele permit calcularea unor indicatori globali (consumuri specifice de energie, cheltuieli specifice cu energia, etc) pe baza cărora rezultatele obținute de către organizația analizată se pot compara cu un set de valori de referință (cifre de proiect, rezultatele altor organizații aparținând aceluiași segment de activitate, valorile minime teoretice ale consumurilor specifice de energie, realizări anterioare ale organizației respective în anumite condiții, etc). Indicatorii specifici prezintă avantajul că nu sunt influențați de modificări ale valorilor absolute ale consumurilor de energie determinate de modificări în structura producției, de extinderea sau diversificarea activității, etc.

Auditul energetic se întocmește pentru o perioadă de timp egală cu durata unui întreg ciclu de activitate (ciclu de fabricație, ciclu climatic, etc). Eficiența energetică nu se evaluează pentru perioade mai scurte (o oră, o zi, o săptămână, o lună, etc) deoarece rezultatele astfel obținute nu sunt în general relevante.

7.5. Auditul energetic propriu-zis

Auditul energetic propriu-zis urmează întocmirii auditului preliminar și corectării și complectării sistemului de monitorizare cu toate elementele cerute de către auditorul extern. În comparație cu auditul preliminar, auditul energetic propriu-zis este mai detaliat, oferind posibilitatea identificării subsistemelor unde se consumă cea mai mare parte din energia intrată în conturul care delimitează organizația analizată și a evaluării separate a fiecăruia dintre ele. Denumite centre de consum energetic, acestea vor constitui zonele care în mod obligatoriu trebuie monitorizate separat. Definirea limitelor fiecărui centru de consum energetic se face într-un mod convenabil, luându-se în considerare criteriile tehnologice, funcționale, economice, administrative sau de altă natură. Pentru fiecare astfel de centru de consum se prevede posibilitatea măsurării și consemnării separate a consumurilor pe tipuri de purtători de energie și a volumului activității.

În acest fel sunt apoi identificate subsistemele unde se manifestă ineficiență și poate fi evaluată mărimea pierderilor cauzate la nivelul fiecăruia. Este evident faptul că atât eforturile de identificare a punctelor de ineficiență cât și baza de stabilire a unei strategii pe termen mediu materializată printr-un plan de măsuri de conservare a energiei vor avea o eficacitate cu atât mai mare cu cât amploarea analizei și implicit gradul de detaliere (numărul de centre de consum energetic) sunt mai mari.

Întocmirea auditului energetic implică un inventar al surselor de alimentare cu purtători de energie exterioare conturului, care trebuie să acopere următoarele aspecte :

- tipul și caracteristicile purtătorului de energie furnizat de sursa externă;
- caracteristicile cererii de energie acoperite de către sursa externă;
- tariful actual stabilit prin contractul de livrare și tarifele alternativele disponibile;
- alte aspecte legate de statutul, amplasarea și capacitatea sursei externe, de condițiile și de restricțiile de livrare, stabilite sau nu prin contract.

În interiorul conturului analizat se întocmește un inventar al consumatorilor finali de energie, organizații sau nu pe centre de consum energetic, precum și un inventar al transformatorilor interni de energie. Inventarul consumatorilor finali trebuie să pună în evidență următoarele aspecte :

- natura activității sau procesului tehnologic care primește fluxul de energie;

- tipul, parametrii și sursa din care provine fiecare flux purtător de energie;
- caracteristicile cererii de energie, pentru fiecare tip de purtător de energie;
- legăturile tehnologice cu alți consumatori finali și consecințele acestor legături asupra caracteristicilor cererii de energie;
- natura și potențialul resurselor energetice secundare disponibilizate din motive tehnologice;
- starea tehnică a instalațiilor la momentul întocmirii auditului.

Transformatorii interni de energie (centrale termice, centrale electrice de termoficare, instalații frigorifice, stații de aer comprimat, stații de pompare etc.) alimentează de obicei mai mulți astfel de consumatori finali. Pentru fiecare transformator intern de energie se recomandă a fi specificate următoarele aspecte :

- natura, sursa și caracteristicile fluxurilor de energie care intră;
- tipul transformării suferite, randamentul realizat, alte caracteristici tehnice;
- natura și parametrii fluxului sau fluxurilor de energie care ies;
- capacitatea instalată a transformatorului energetic;
- consumatorii sau centrele de consum alimentate;
- modalitatea de alimentare a consumatorilor și consecințele ei (direct, prin intermediul unei rețele de distribuție, etc.);
- natura, potențialul energetic și impactul asupra mediului pentru fiecare dintre fluxurile de energie evacuate în atmosferă;
- starea tehnică a instalațiilor și a sistemului de distribuție la momentul întocmirii auditului.

Întocmirea auditului energetic nu presupune în mod obligatoriu întocmirea în prealabil a unuia sau mai multor bilanțuri energetice. Auditul energetic propriu-zis include anumite părți din bilanțul energetic întocmit pe durata ciclului de activitate. Termenii bilanțurilor energetice pe perioade scurte (o oră, un schimb, o șarjă, etc) nu se regăsesc ca atare în valorile care stau la baza întocmirii auditului. În ciuda caracterului lor detaliat, aceste bilanțuri nu sunt relevante pentru auditor decât în cazurile în care rezultatele obținute pentru un an sau o perioadă mai lungă de timp indică existența unor puncte de ineficiență energetică în interiorul conturului analizat. Ele stau la baza analizei care succede auditul propriu-zis și care are ca obiectiv stabilirea măsurilor și acțiunilor destinate să îmbunătățească situația sub aspectul eficienței energetice.

Consumurile de energie consemnate într-un prim audit energetic nu trebuie să provină nici măcar în parte din indicațiile unor aparate de măsură instalate de auditor în mod special numai pentru perioada întocmirii

auditului energetic. Ele trebuie să fie obținute exclusiv prin intermediul sistemului propriu de monitorizare al organizației, ale cărui concepție și structură rămân ca atare și după întocmirea auditului. Rolul auditorului extern nu este acela de a-și instala propriile sale aparate de măsură pe durata întocmirii auditului. Unul dintre efectele benefice ale întocmirii unui audit energetic constă în complectarea în prealabil a sistemului de monitorizare intern cu acele aparate absolut necesare și după întocmirea auditului.

În același timp trebuie subliniat faptul că practica actuală a celor mai multe întreprinderi industriale din România în domeniul monitorizării consumurilor de energie lasă încă mult de dorit. În cele mai multe cazuri este monitorizat și înregistrat consumul global de combustibil și cel de energie electrică, care sunt mai ușor de măsurat, dar lipsesc multe date legate de consumurile de căldură, frig, aer comprimat, etc. Stabilirea unor centre de consum energetic și monitorizarea tuturor consumurilor de energie pentru fiecare astfel de centru constituie încă un deziderat pentru viitor.

Această situație nu este de natură să contribuie la eficientizarea activității sub aspect energetic, iar comandarea și întocmirea unui audit energetic nu este utilă în absența unui sistem de monitorizare și evaluare complet. Acest lucru trebuie bine înțeles de către toți cei care au responsabilități la diverse niveluri în acest domeniu.

Economisirea energiei consumate presupune mai întâi măsurarea ei. Instalarea unor aparate de măsură sigure și precise (în limitele tehnologiilor actuale) presupune o cheltuială de capital care va produce efecte ulterior, nu de la sine ci ca urmare a angajării întregului personal într-o acțiune al cărui scop îl înțelege și îl aprobă fiecare sau cât mai mulți dintre angajați. Întocmirea auditului propriu-zis se bazează pe indicațiile aparatelor de măsură care fac parte în mod normal din dotarea sistemului intern de monitorizare al organizației. Unele dintre aceste aparate constituie baza de facturare în raport cu furnizorii externi de energie. Dacă acuratețea indicațiilor unuia sau mai multor aparate de măsură care constituie baza de facturare este pusă la îndoială, fie de către furnizor, fie de către consumator, întocmirea unui audit energetic este prematură. Reglementarea statutului acestor aparate de măsură este o problemă a cărei rezolvare trebuie să fie prevăzută în contractul de furnizare a energiei și care trebuie rezolvată înainte de întocmirea auditului energetic propriu-zis.

Modul de întocmire, gradul de detaliere și modul de exprimare a mărimilor prezentate și calculate depind de scopul auditului și trebuie să fie pe înțelesul celui cărui îi este destinat. Auditul energetic, întocmit pe baza datelor măsurate sau pe baza prelucrării acestora, poate conține mărimi exprimate în unități fizice (de putere sau de energie) sau în unități valorice (monetare). Trebuie precizat faptul că în bilanțurile energetice, mărimile care intră și care ies se exprimă numai în unități fizice de putere sau de energie. În cadrul auditului energetic se obișnuiește recurgerea la exprimarea valorică a acestora, care prezintă avantajul că asigură cea mai corectă echivalare a tuturor formelor de energie consumate și are și un

caracter mai accesibil. Indicatorii valorici de performanță sunt mai ușor de interpretat de către cei mai mulți dintre cei cărora le este destinat raportul.

Întocmirea unui singur audit energetic nu rezolvă definitiv problema eficienței energetice într-un perimetru dat. Aplicarea tehnicilor managementului energiei trebuie să fie o preocupare continuă, ceea ce conduce printre altele la necesitatea repetării auditului energetic cu o anumită ciclicitate. Experiența acumulată în țările dezvoltate în acest domeniu demonstrează că cea mai nimerită continuare a acțiunii demarate prin întocmirea unui audit energetic constă în implementarea în cadrul organizației a unui sistem informatizat de monitorizare și evaluare continuă de tip M&T.

În tabelele următoare sunt prezentate modele de formulare pentru întocmirea auditului energetic.

Tabelul 7.3.

Situația statistică a consumurilor energetice anuale pe ultimii 5 ani de activitate

Tipul purtătorului De energie consumat	Consumul anual de energie (MWh, MJ, Gcal)				
	2010	2011	2012	2013	2014
Combustibil gazos tip A					
Combustibil gazos tip B					
Combustibil lichid tip A					
Combustibil lichid tip B					
Combustibil solid tip A					
Energie electrică tip A					
Energie electrică tip B					
Abur tip A					

Abur tip B					
Apă fierbinte tip A					
Apă fierbinte tip B					
Aer comprimat tip A					
Aer comprimat tip B					

Observații : Purtătorii de energie de tipul A, B sau C se deosebesc prin putere calorifică, compoziție, preț (tarif), tensiune, parametrii, sursă de livrare, etc.

Tabelul 7.4.

Analiza fiecăruia dintre transformatorii interni de energie din interiorul conturului de bilanț general

Sensul fluxului de energie	Natura fluxului de energie	Cantitate anuală	Cost unitar	Cost anual
Intrări în contur	Energie electrică			
	Combustibil tip A			
	Combustibil tip B			
	Aer comprimat			
	Alte cheltuieli de funcționare			
	Cheltuieli totale anuale			
	Energie utilă A (electrică, mecanică, termică, etc)			

leșiri din contur	Energie utilă B (electrică, mecanică, termică, etc)			
	Consum propriu tehnologic A			
	Consum propriu tehnologic B			
	Pierderi energetice			

Observație : Acest tabel trebuie însoțit de lista consumatorilor alimentați și de schema sistemului de distribuție a energiei, după caz.

Tabelul 7.5.

Consumul energetic aferent activității direct productive (consumatori finali, eventual organizați pe centre de consum energetic)

Felul purtătorului de energie consumat	UM	Cost Unitar	Consumuri defalcate pe sisteme			Total consum productiv	
			A	B	C	Cantitate	Cost
Energie electrică							
Combustibil gazos							
Combustibil lichid							
Abur							
Apă fierbinte							
Aer comprimat							
Total							
Volum activitate							

Observație : Consumatorii finali pot fi alimentați cu două feluri de combustibili, cu două feluri de energie electrică, etc.

Tabelul 7.6.

Consumul energetic aferent activităților considerate neproductive sau indirect productive (consumatori finali, eventual organizați pe centre de consum energetic)

Scopul consumului și tipul purtătorului de energie	UM	Cost unitar	Consumuri defalcate pe subsisteme			Total consum neproductiv	
			A	B	C	Cantitate	Cost
Iluminat (electric)							
Încălzire spații							
Apă caldă menajeră							
Ventilare							
Condiționare aer							
Apă rece							
Total							

Observație. Defalcarea consumurilor energetice la nivelul unui centru de consum în două categorii și anume direct productive și respectiv neproductive sau indirect productive nu este obligatorie, dar poate fi relevantă în anumite cazuri. Dacă acest lucru nu este posibil dintr-un motiv oarecare, se reține numai formularul , în care se vor consemna consumurile totale.

Tabelul 7.7.

Consumul de energie pentru activitatea de transport intern și extern

Felul purtătorului de energie consumat	UM	Cost unit.	Consumuri defalcate pe categorii			Total consum transport	
			Intern	Aprovi.	Desfac.	Cantit.	Cost
Benzină							
Motorină							
Ulei							
Energie electrică							

Total							
Greutate transportată x kilometraj parcurs							
Consum specific cumulat							

7.6. Bilanțul energetic, instrument al analizei energetice

Clasificarea bilanțurilor energetice

Bilanțurile energetice pot fi clasificate pornind de la mai multe criterii. Unul dintre ele este natura activității desfășurate în conturul analizat. Sub aspectul destinației consumului de energie, procesele tehnologice pot fi clasificate în două mari categorii :

- a. procese de transformare a energiei;
- b. procese de consum final de energie.

Procesul de transformare energetică are drept scop fie trecerea de la o formă de energie la o altă formă de energie, fie modificarea parametrilor caracteristici ai aceleiași forme de energie. Procesul de consum final de energie este procesul în care energia este folosită în scopul realizării unuia sau mai multor produse sau al prestării unuia sau mai multor servicii neenergetice. Eventualele fluxuri de energie ieșite dintr-un proces de consum final de energie nu mai suferă vreo transformare energetică, cu excepția recuperării resurselor energetice secundare.

După gradul de cuprindere al conturului, bilanțurile energetice pot fi întocmite :

- a. pentru un echipament;
- b. pentru o instalație;
- c. pentru o secție;
- d. pentru o uzină;
- e. pentru o întreagă organizație (un agent economic).

Natura și gradul de interconexiune și complexitate al fenomenelor fizice și chimice pe care le presupune prelucrarea materiilor prime în cadrul proceselor sau procedeele tehnologice analizate poate conduce în anumite condiții la clasificarea bilanțurilor energetice în :

- a. bilanțuri simple (termoenergetic sau electroenergetic);

b. bilanțuri complexe (termoenergetic și electroenergetic).

Trebuie subliniat faptul că, din punct de vedere științific și tehnic, o astfel de clasificare nu este riguroasă, separarea în bilanțuri electroenergetice și termoenergetice constituind rezultatul unor simplificări.

Bilanțul simplu este bilanțul întocmit pentru un contur în care fie fenomenele de natură electrică fie cele de natură termodinamică și/sau termochimică sunt considerate preponderente, iar celelalte sunt neglijate. Este evident că și formele de energie intrate și eventual ieșite sunt corelate cu natura fenomenelor care au loc în interiorul conturului dat.

Bilanțul complex ia în considerare toate formele de energie intrate și ieșite din contur, natura și complexitatea fenomenelor care au loc în interiorul conturului dat impunând în cele mai multe cazuri acest lucru.

Marea majoritate a proceselor industriale de consum final au un caracter complex, care nu permite o abordare simplificată și impune contabilizarea tuturor formelor de energie care intră în și care ies din conturul de bilanț.

După perioada de timp pentru care se inventariază fluxurile de energie intrate și ieșite, bilanțurile pot fi întocmite :

- a. pentru o oră sau o perioadă mai scurtă decât o oră;
- b. pentru un schimb;
- c. pentru o zi (24 ore);
- d. pentru un sezon;
- e. pentru un an sau o perioadă mai lungă decât un an.

După sursa de proveniență a datelor de intrare, bilanțurile energetice se clasifică în:

- a. bilanțuri propuse de către proiectant, constructor sau furnizor (de proiect);
- b. bilanțuri întocmite pe bază de măsurători în instalație (de omologare, de recepție, real).

Bilanțul energetic de proiect se elaborează pe baza rezultatelor calculelor extrase din proiect, a datelor furnizate de prospecte, oferte, cataloage, literatura de specialitate, pe baza experienței obținute în exploatarea unor echipamente asemănătoare, a altor surse de informații, etc. Bilanțul de proiect constituie situația de referință pentru bilanțul energetic de recepție.

Omologarea unui echipament sau a unei instalații presupune măsurători prin care se obțin fie valorile unor indicatori de performanță în regimul nominal, fie comportarea sistemului la regimuri nenominale stabilizate sau tranzitorii. În cazul în care la probele de omologare nu se realizează parametrii sau

performanțele de proiect, valorile realizate la omologare devin valori de referință pentru bilanțul energetic de recepție.

Bilanțul energetic de recepție se elaborează cu ocazia punerii în funcțiune a unui echipament sau a unei instalații, în condițiile concrete de exploatare. În acest scop se efectuează o serie de probe de funcționare și măsurători la cel puțin trei trepte de sarcină, dintre care una este obligatoriu sarcina nominală. Valorile astfel obținute se înscriu în cartea tehnică a echipamentului sau a instalației. Bilanțul energetic de recepție constituie bilanțul de referință pentru activitatea de exploatare.

Bilanțul energetic real reflectă situația în care se găsește la un moment dat un echipament sau o instalație, punând în evidență abaterile indicatorilor de performanță realizați de la valorile lor de referință, stabilite în cadrul bilanțului de proiect, de omologare sau de recepție. Analiza trebuie să inventarieze și potențialul energetic al resurselor energetice re folosibile. Bilanțul real se elaborează numai pe bază de măsurători efectuate asupra subiectului analizei și constituie baza pentru analiza energetică.

Principii generale de întocmire a bilanțurilor energetice

Bilanțul energetic reprezintă metoda sistematică care permite analiza utilizării energiei într-o activitate oarecare. Întocmirea unui bilanț energetic la nivelul unui contur dat permite obținerea unei reprezentări accesibile a modului în care fluxurile de purtători de energie intrate se distribuie, se transformă, sunt consumate și ies din conturul analizat.

Conturul de bilanț este suprafața imaginară închisă în jurul unui echipament, instalație, clădire, secție, uzină, agent economic, etc în funcție de care se definesc fluxurile de energie care intră și cele care ies. Conturul de bilanț poate cuprinde o întreagă întreprindere, o secție de producție, un lanț tehnologic, o clădire, un agregat tehnologic, un aparat, etc. Conturul considerat poate cuprinde elemente care nu sunt neapărat situate pe același amplasament, dar între care există legături materiale (cabluri de forță, conducte, instalații sau sisteme de transport, etc).

Bilanțul energetic are la bază legea conservării energiei, scopul său fiind identificarea și evaluarea tuturor cantităților sau fluxurilor de energie care intră și care ies din perimetrul analizat într-o anumită perioadă de timp. Întocmirea corectă a oricărui bilanț energetic presupune în primul rând stabilirea precisă a limitelor conturului în interiorul căruia se desfășoară activitatea analizată și a perioadei de timp considerate. Studiind cu atenție fenomenele fizice și chimice implicate în activitatea desfășurată în interiorul conturului dat se definesc categoriile de fluxuri energetice care sunt urmărite la întocmirea bilanțului. Din această categorie pot face parte căldura fizică (sensibilă), căldura latentă, puterea calorifică, efectul termic al reacțiilor chimice, lucrul mecanic, energia potențială, energia electrică, etc.

Întocmirea bilanțului energetic necesită de cele mai multe ori întocmirea în prealabil a unui bilanț material, ai cărui termeni pot servi drept bază de calcul pentru anumite fluxuri de energie intrate sau ieșite din conturul de bilanț.

Reprezentarea grafică a rezultatelor obținute prin întocmirea bilanțului se face de obicei cu ajutorul *diagramelor Sankey*. Este o metodă simplă și sugestivă, accesibilă atât specialiștilor cât și nespecialiștilor.

Trebuie avut în vedere faptul că unele categorii de fluxuri energetice care intră în conturul de bilanț dat nu sunt incluse ca atare sau nu sunt incluse deloc în factura energetică, dar trebuie luate în considerare la întocmirea bilanțului energetic. În alte cazuri, substanțe combustibile sunt utilizate în alte scopuri, puterea lor calorifică nefiind luată în considerare ca termen al bilanțului energetic. Ele apar în evidența contabilă a organizației la alte capitole, iar valoarea lor se regăsește în costurile totale de producție.

Termenii bilanțului energetic

Consumurile finale de energie la nivelul unui perimetru dat, în interiorul căruia se desfășoară în mod organizat o activitate de tip industrial, pot îmbrăca mai multe forme :

- energie electrică;
- energie mecanică;
- căldură;
- frig;
- combustibil;
- aer comprimat.

Un flux de energie care intră în mod organizat în conturul unei întreprinderi industriale, poate fi alocat în principiu fie unui proces de transformare, fie unui proces de consum final. Fluxurile de energie direct utilizabilă, disponibile în perimetru întreprinderii pentru procesele de consum final, atât cele provenite din exteriorul cât și cele generate în interiorul acestuia, pot fi încadrate într-una dintre următoarele două categorii:

- a) consumuri directe (tehnologice), aferente în mod nemijlocit etapelor realizării unui produs sau prestării unui serviciu;
- b) consumuri indirecte, aferente activităților conexe desfășurate în perimetrul respectiv.

Consumurile indirecte contribuie la asigurarea și susținerea logistică a activității de producție propriu-zise. Activitățile indirecte (conexe) includ planificarea, monitorizarea, contabilizarea, aprovizionarea, asigurarea condițiilor de muncă, transportul intern, distribuția, paza, etc.

Deosebirea între consumurile directe și cele indirecte nu este doar una formală. În afara faptului că ele nu sunt în mod necesar simultane, cele două categorii de consumuri de energie au de obicei și caracteristici diferite. De aceea este recomandabil ca la întocmirea inventarului să se precizeze din ce categorie face parte o anumită cerere sau un anumit consum de energie.

În raport cu conturul de bilanț stabilit se definesc categoriile de intrări și ieșiri din acest contur. În general, fluxurile materiale continue sau discontinue intrate într-un contur dat pot fi clasificate în trei categorii :

- a) resurse primare, care pot fi materiale și/sau energetice;
- b) semifabricate (produse sau obiecte parțial procesate);
- c) energie direct utilizabilă.

Ieșirile din conturul respectiv pot fi la rândul lor clasificate în patru categorii și anume :

- a) produsul principal;
- b) produsul sau produsele secundare;
- c) resursele secundare materiale și/sau energetice;
- d) pierderi directe de energie.

După ce au fost identificate, fluxurile de energie care intră și care ies trebuie apoi să fie cuantificate. Oricare dintre termenii bilanțului energetic, fie că este o mărime de intrare sau o mărime de ieșire, poate fi determinat ca valoare (cuantificat) în mai multe moduri și anume :

- direct prin măsurare;
- prin măsurarea în prealabil a uneia sau mai multor mărimi, urmată de calculul termenului de bilanț pe baza acestor mărimi;
- în baza unor anumite informații provenind din proiectul tehnic sau din alte surse.

Cele mai multe situații impun cunoașterea bilanțului de masă înaintea întocmirii bilanțului energetic. Bazat pe analize chimice, pe măsuratori, pe calcule sau numai pe estimări, bilanțul de masă precede întocmirea bilanțului energetic deoarece determinarea tuturor termenilor bilanțului energetic prin măsurare directă fie nu este tehnic posibilă, fie nu este rațională. Astfel, căldurile sensibile absolute și cantitățile de căldură sensibilă asociate unor cantități sau unor debite de substanță se calculează înmulțind cantitatea sau debitul de substanță cu căldura specifică și cu temperatura în cazul căldurii absolute sau numai cu o diferență de temperatură în cazul cantității de căldură.

Efectul termic al reacțiilor chimice care au loc în interiorul conturului de bilanț nu poate fi măsurat direct. El poate fi însă estimat cu suficientă precizie prin calcul, cu condiția cunoașterii transformărilor chimice care au loc în interiorul conturului de bilanț atât sub aspect cantitativ cât și sub aspect calitativ. Prin

urmare trebuie bine cunoscută cantitatea și compoziția chimică a fluxurilor de masă care intră și care ies din conturul de bilanț.

Efectul termic al reacțiilor chimice se determină prin calcul conform teoriilor chimiei fizice și constantelor disponibile în literatura de specialitate pentru fiecare reacție. Căldura dezvoltată de reacțiile chimice exoterme este considerată intrare în conturul de bilanț, în timp ce căldura absorbită de reacțiile chimice endoterme este considerată ieșire din conturul de bilanț.

Căldura dezvoltată prin arderea combustibililor, deși este tot efectul unor reacții chimice exotermice de oxidare, se stabilește prin determinări experimentale sau de laborator făcute concomitent cu desfășurarea măsurătorilor de bilanț. Stabilirea puterii calorifice a unui combustibil trebuie în general completată cu analiza elementară sau cu compoziția chimică a combustibilului respectiv. Pentru determinările compoziției și puterii calorifice trebuie respectate recomandările referitoare la asigurarea reprezentativității probei de combustibil. În cazul combustibililor gazoși este permisă stabilirea puterii calorifice pornind de la compoziția amestecului de gaze determinată experimental și de la puterile calorifice ale componentelor combustibile.

Conținutul de căldură al unui flux de masă se calculează ca produs între debitul sau cantitatea de masă și entalpia specifică, care se găsește în tabele sau se calculează cu ajutorul relațiilor analitice specifice disponibile în manualele de specialitate. În lipsa acestor date este necesară determinarea căldurii specifice și/sau latente în laborator, probele fiind prelevate în timpul măsurătorilor de bilanț. Determinarea experimentală a căldurii specifice sau latente poate fi înlocuită în anumite situații cu rezultatele obținute cu ajutorul unor relații analitice aproximative utilizate în chimie, care pornesc de la structura moleculei și de la legăturile între atomi și/sau radicali.

Pierderile de căldură prin radiație și convecție în mediul exterior se recomandă să fie stabilite prin calcule. Acolo unde ele sunt puțin semnificative se acceptă stabilirea lor prin condiția de închidere a bilanțului.

Condiția conservării energiei în cazul întocmirii bilanțului energetic al activității desfășurate în perimetrul analizat este exprimată matematic prin relația :

$$W_{REP} + W_{EDU} = W_{PP} + W_{RES} + W_{PDE} + W_{ACU} \quad (7.1)$$

unde W_{REP} reprezintă conținutul de energie al fluxului sau fluxurilor de energie primară, W_{EDU} reprezintă conținutul de energie al fluxului sau fluxurilor de energie direct utilizabilă, W_{PP} reprezintă conținutul de energie al produsului principal, W_{RES} reprezintă conținutul de energie al fluxului sau fluxurilor de resurse energetice secundare, W_{PDE} reprezintă fluxul de energie pierdută direct în mediul ambiant iar W_{ACU} reprezintă cantitatea de energie disipată prin efect de acumulare. Ultimul termen apare doar în cazul proceselor discontinue, mărimea sa putând fi în anumite cazuri semnificativă iar în altele neglijabilă.

Termenii bilanțului energetic pot fi exprimați, după caz, în W și multiplii, în cazul unor activități de tip continuu, sau în J și multiplii, în cazul unor activități de tip discontinuu.

Resursele materiale pot fi în același timp și resurse energetice, având valoare energetică sau un anumit conținut de energie, pot fi de diverse feluri și se pot prezenta sub diverse forme. În general, prin resurse energetice primare sau energie primară se înțelege substanțe combustibile convenționale (cărbuni, petrol și derivatele sale, gaz natural, alți combustibili sintetici, etc), în timp ce prin energie direct utilizabilă se înțelege o formă de energie rezultată de obicei prin conversia energiei primare, care poate fi consumată ca atare :

- energia electrică;
- energia mecanică;
- căldură;
- frig;
- aer comprimat.

Din conturul de bilanț considerat iese în primul rând produsul principal, care este scopul activității analizate. În unele cazuri, pe lângă acesta mai ies și unul sau mai multe produse secundare, deșeuri, reziduuri sau resurse secundare (materiale și/sau energetice). Trebuie precizat că produsul principal poate avea și el un anumit conținut de energie, care îi poate conferi și calitatea de resursă energetică secundară.

În categoria pierderilor directe de energie ale unui contur dat intră în primul rând următoarele :

- căldura transmisă mediului înconjurător prin pereții a căror temperatură este mai mare decât temperatura ambiantului,
- energie mecanică transformată în căldură prin frecare în lagăre;
- căldura generată în anumite situații prin efectul termic al curentului electric.

Analiza eficienței energetice a unei activități desfășurate într-un anumit contur pornește în primul rând de la cantitatea și calitatea resurselor energetice secundare disponibilizate. Resursele energetice secundare (res) reprezintă cantități sau fluxuri de energie de orice fel, evacuate dintr-un contur în care se desfășoară o activitate productivă și care nu pot fi reciclate (valorificate tot în activitatea respectivă) decât prin modificări aduse instalațiilor aflate în conturul respectiv.

Resursele energetice secundare pot fi clasificate în funcție de natura conținutului lor de energie în patru categorii distincte :

- combustibile;

- termice;
- de suprapresiune;
- cinetice.

Res combustibile pot fi întâlnite în stare gazoasă (gaz de cocs, gaz de furnal, gaze eliminate ca purjă dintr-o instalație de sinteza, etc), lichidă (leșie) sau solidă (deșeuri lemnoase, paie, cocs mărunț, etc). Indiferent de starea de agregare, ele se caracterizează prin compoziția și puterea lor calorifică.

Res termice pot fi agenți termici fluizi (aer cald, gaze de ardere, gaze de proces, abur uzat, condensat, etc) sau substanțe solide (lamine, piese și materiale tratate termic, cocs fierbinte, zgură, etc). Ele se caracterizează prin nivelul de temperatură cu care ies din conturul de bilanț, dar și prin capacitatea de a transfera această căldură sensibilă sau latentă unui alt mediu.

Res de suprapresiune sunt în general gaze având o presiune mai mare decât presiunea atmosferică, deci un conținut de energie potențială.

Res cinetice sunt cunoscute și sub denumirea de volanți sau mase inerțiale frânate.

Resursele energetice secundare care ies dintr-un contur de bilanț oarecare pot cumula mai multe astfel de caracteristici. De exemplu, un flux de gaze evacuat dintr-o instalație poate avea în compoziția sa elemente combustibile (metan, hidrogen, oxid de carbon, etc), dar în același timp poate avea o temperatură și eventual o presiune mai mari decât acelea ale mediului ambiant.

Indicații metodologice privind întocmirea bilanțurilor energetice

Elaborarea unui bilanț energetic comportă o anumită structură, al cărui model este următorul:

1. Definirea conturului.
2. Prezentarea sumară a activității din interior (procesului tehnologic).
3. Schema fluxului tehnologic.
4. Precizarea caracteristicilor tehnice ale agregatelor și instalațiilor conținute în contur.
5. Prezentarea punctelor și aparatelor de măsură (tip, schemă, clasă de precizie, etc).
6. Fișa tip sau buletinul de măsurători.
7. Ecuația de bilanț.
8. Calculul termenilor bilanțului (expresii analitice, formule de calcul).
9. Bilanțul energetic prezentat sub formă de tabel și de diagramă Sankey.
10. Analiza bilanțului.

Atât în cazul transformatorilor de energie cât și în cazul consumatorilor finali, eficiența energetică trebuie stabilită pentru întreg domeniul de variație al încărcării. Măsurătorile pentru determinarea performanțelor energetice se fac pentru mai multe mărimi ale sarcinii utile a echipamentului sau instalației analizate :

- sarcină nominală;
- sarcină maximă curent realizată în perioada analizată;
- sarcină minimă curent realizată în perioada analizată;
- sarcină medie anuală pe perioadele de funcționare efectivă.

În cazurile în care nu se pot crea condițiile necesare executării măsurătorilor la sarcinile de mai sus, se alege cel puțin alte trei mărimi ale sarcinii, în limitele domeniului de variație a acesteia, pentru care se elaborează bilanțul. Dacă echipamentul sau instalația funcționează la o sarcină practic constantă pe perioada considerată, bilanțul se întocmește numai pentru această unică sarcină.

În cazul în care consumurile energetice și eventual produsul activității desfășurate în conturul dat sunt influențate sensibil de anumiți factori (caracteristicile materiilor prime, temperatura exterioară, etc), bilanțul se întocmește pentru mai multe valori caracteristice ale acestor parametri (minim, maxim, mediu, normal, etc).

În funcție de natura activității desfășurate în interiorul conturului analizat, conținutul de energie al fiecăruia dintre termenii bilanțului poate fi exprimat în mărime absolută sau în mărime specifică, raportat la unitatea în care se exprimă volumul activității. Durata pentru care se va întocmi bilanțul energetic depinde de scopul întocmirii și este cuprinsă între o oră și un an calendaristic sau durata unui ciclu de fabricație, dacă acesta din urmă depășește un an. Pentru recepția sau omologarea instalațiilor nu se efectuează decât bilanțuri orare sau pe cicluri de funcționare.

Determinarea mărimilor necesare elaborării bilanțului se va face pe baza măsurătorilor directe. În cazul când o mărime nu poate fi determinată direct, dar poate fi dedusă cu suficientă precizie prin măsurarea altor mărimi, se admite să se aplice metoda determinărilor indirecte.

Unele elemente ale bilanțului pe partea de intrări sau pe partea de ieșiri pot fi neglijate, dacă determinarea lor comportă dificultăți apreciabile și reprezintă mai puțin de 1% din totalul energiei intrate respectiv ieșite.

Aparatele folosite pentru măsurători trebuie să se afle în interiorul termenelor obligatorii de verificare metrologică stabilite prin normativele în vigoare. Măsurătorile de omologare și de recepție ale echipamentelor (respectiv instalațiilor) se vor executa cu aparate de măsură cu o clasă de precizie superioară, de regulă maximum 0,5.

Valorile parametrilor tehnologici și energetici caracteristici procesului analizat în timpul efectuării măsurărilor, cât și evenimentele apărute în perioada măsurărilor se vor consemna în fișele sau în buletinele de măsurători.

Elementele bilanțului energetic se vor prezenta atât sub formă tabelară cât și sub forma uneia sau mai multor diagrame Sankey.

Limita maximă de eroare, exprimată prin valoarea absolută a diferenței între totalul intrărilor și totalul ieșirilor împărțită la totalul intrărilor, nu va depăși :

- a. $\pm 2,5\%$, în cazul bilanțurilor în care principalele mărimi sunt determinate prin măsurători directe (metoda recomandată);
- b. $\pm 5\%$, în cazul bilanțurilor în care unele mărimi nu pot fi măsurate direct, dar pot fi deduse cu suficientă precizie prin măsurarea altor mărimi (determinare indirectă).

La elaborarea bilanțurilor energetice este recomandabilă utilizarea unităților de măsură legale (în cazul României cele din sistemul internațional), prevăzute în standardele în vigoare, dar decizia finală aparține beneficiarului auditului.

Indicatori de performanță energetică

Eficiența și respectiv ineficiența energetică nu pot fi măsurate direct. Ele pot fi exprimate cu ajutorul unor indicatori de performanță, ale căror valori sunt comparate cu una sau mai multe valorile alese ca referință. Nivelul de referință al unui indicator poate fi, de exemplu, valoarea obținută utilizând cele mai bune tehnologii dezvoltate pe plan mondial, cea obținută utilizând doar acele tehnologii care s-au dovedit economic eficiente sau valoarea obținută prin prelucrarea rezultatelor proprii obținute într-o perioadă anterioară. Referința este aleasă de obicei în funcție de specificul și de interesele organizației care desfășoară sau patronează activitatea analizată.

Indicatorul de performanță energetică întrebuițat în special în cazul analizei proceselor de transformare a energiei este ***randamentul energetic***. În energetică, randamentul este o mărime adimensională, ceea ce presupune ca atât efectul util cât și cel consumat să fie de aceeași natură și să fie exprimate în aceeași unitate de măsură. În cazul proceselor de consum final, efectul consumat este un flux sau o cantitate de energie, în timp ce efectul util este prin definiție de altă natură. Din acest motiv, randamentul energetic este considerat un indicator specific de natură cantitativă potrivit pentru procesele de transformare a energiei și mai puțin potrivit pentru cele de consum final.

Indicatorul de performanță fizic care caracterizează cel mai bine eficiența energetică a unui proces de consum final de energie este ***consumul efectiv de energie, absolut sau specific***. Consumul specific este raportat la unitatea de măsură a volumului acestei activități. El reprezintă deci cantitatea de energie de un

anumit fel sau suma cantităților de energie de orice fel necesare pentru realizarea unei singure unități în care se exprimă volumul activității analizate.

Utilizarea indicatorilor specifici de eficiență energetică elimină influența modificării volumului de activitate și a structurii producției. În funcție de modul de exprimare a mărimilor care constituie sau intră în componența indicatorilor de performanță energetică, aceștia pot fi exprimați fizic (în unități de energie) sau valoric (în unități monetare).

În cazul unui singur fel de energie intrat în conturul de bilanț și al unui singur produs principal, definiția consumului specific de energie este simplă și ușor de aplicat. Dacă din activitatea prestată în conturul dat ies două sau mai multe produse principale, repartizarea consumului efectiv de energie între acestea trebuie să se facă după un anumit criteriu sau pornind de la o anumită ipoteză, în funcție de specificul activității.

Situația se complică de asemenea și în cazul în care în conturul dat intră mai multe forme de energie. În această situație, conținutul efectiv de energie al fiecăruia dintre fluxurile intrate trebuie echivalat cu un singur fel de energie. În majoritatea cazurilor, energia echivalentă este energie primară (echivalent combustibil convențional). Raportul de echivalare este specific fiecărui caz în parte și trebuie bine justificat. Trebuie subliniat faptul că cea mai bună echivalare este asigurată prin exprimarea valorică, în unități monetare, a consumurilor de energie de orice fel.

În urma echivalării energetice a diferitelor forme de energie consumate rezultă un al doilea indicator fizic de performanță energetică și anume **consumul echivalent de energie primară, absolut sau specific**. Notând cu VA volumul activității, consumul specific echivalent de energie primară C_{se} se calculează cu relația :

$$C_{se} = (W_{REP} + \beta * W_{EDU}) / VA \quad (7.2)$$

În relația de mai sus, $\beta > 1$ este coeficientul de echivalare a energiilor direct utilizabile în energie primară. Consumul specific echivalent de energie primară este proporțional în anumite condiții și cu o anumită marjă de eroare cu principalul indicator valoric și anume cheltuielile specifice cu energia.

Consumul specific cumulat de energie primară, cunoscut și sub denumirea de energie înglobată sau de conținut de energie al unui produs, caracterizează gradul de valorificare a resurselor energetice pentru un întreg lanț tehnologic sau pentru un ciclu complet de fabricație. Mărimea sa poate include consumurile de energie primară aferente următoarelor componente :

- obținerea resurselor materiale consumate pe parcursul întregului lanț tehnologic sau numai pentru o anumită parte a acestuia;
- funcționarea în condiții normale a tuturor instalațiilor și agregatelor incluse în conturul stabilit;

- transportul resurselor materiale și produselor intermediare până la locul de consum;
- echivalentul în energie primară al uzurii mijloacelor fixe care contribuie, direct sau indirect, la realizarea produsului respectiv.

Calculul consumului cumulat de energie înglobată în unitatea de produs este cu atât mai complicat cu cât procesul sau lanțul tehnologic este mai extins și include mai multe etape. ***Mărimea consumului specific cumulat de energie primară exprimă intensitatea energetică a unui produs, a unei activități, a unui întreg lanț tehnologic, a unei filiere tehnologice, etc.***

Toți indicatorii de performanță energetică se determină în urma întocmirii auditului energetic al procesului, alcătuit pe o perioadă suficient de lungă, cel puțin egală cu un ciclu de activitate, pentru ca valoarea astfel obținută să aibă relevanță. Practica recomandă ca auditul să fie întocmit pentru un an calendaristic sau financiar, cu excepția cazurilor în care ciclul de activitate depășește această perioadă.

Rezultatele astfel obținute au un caracter cantitativ, reflectând consecințele primului principiu al termodinamicii. Pentru complectarea lor cu aspectele calitative absolut necesare unei analize tehnice este necesară recurgerea la bilanțul exergetic. Bilanțurile exergie-anergie pun în evidență limitele capacității de transformare a unui tip de energie în altul și consecințele celui de-al doilea principiu al termodinamicii asupra eficienței energetice a conturului analizat. Din acest tip de bilanț rezultă indicatorul numit ***randament exergetic***.

Eficiența energetică a fost separată în mod artificial de rentabilitate în condițiile economiei socialiste de comandă. Diferența între prețurile stabilite pentru diferitele produse prin planificare centralizată și costurile lor reale de producție sau de achiziție nu permitea stabilirea prin calcul a rentabilității reale a unei activități sau a unei soluții tehnice. În aceste condiții, criteriile energetice de apreciere au permis compararea pe baze reale dar incomplete a unor soluții tehnice sau a unor tehnologii. Ele au avut la bază o serie de indicatori fizici, absoluți sau specifici (randamente, consumuri efective, consumuri echivalente, consumuri cumulate, etc). Indicatorii tehnici reflectă numai parțial eficiența cu care sunt valorificate resursele intrate într-un contur dat.

În condițiile capitalismului și economiei de piață, eficiența energetică se exprimă și se măsoară în special cu ajutorul indicatorilor valorici. Principalul indicator valoric de eficiență energetică este valoarea specifică a facturii energetice sau ***cheltuielile specifice cu energia***, mărime raportată la unitatea de măsură a volumului activității. Acesta este un indicator sintetic, care cumulează toate influențele consumului de energie asupra costului de producție. Trebuie subliniat faptul că exprimarea valorică a indicatorilor de eficiență energetică are mai multă relevanță și este accesibilă și unor persoane fără o pregătire tehnică de specialitate. Pe lângă cheltuielile specifice cu energia pe unitatea de volum al activității prestate,

exprimarea valorică a efectului consumat mai permite evidențierea unor aspecte semnificative de natură economico-financiară, legate de conceptul de eficiență energetică :

- ponderea cheltuielilor cu energia în costurile totale de producție;
- costul pierderilor de energie, al ineficienței sau/și al nerecuperării res.

Modalități de prelucrare a datelor și de prezentare a rezultatelor bilanțului energetic

Un bilanț termoenergetic poate fi întocmit în două feluri :

- a) considerînd cantitățile absolute de căldură care intră și care ies cu fiecare flux de masă din conturul de bilanț (entalpiile asociate acestor fluxuri);
- b) considerînd cantitățile de căldură care sunt fie preluate din fie cedate de fiecare dintre fluxurile de masă (diferențele de entalpie asociate acestor fluxuri).

Prima variantă are un caracter mai general, deoarece ea poate fi aplicată în orice situație. Ea este recomandabilă în cazurile în care fluxurile de masă care intră în perimetrul analizat își modifică compoziția sau se transformă integral în interiorul acestuia și nu se mai regăsesc ca atare la ieșire. A doua variantă este recomandabilă numai când fluxurile de masă care intră se regăsesc fără modificări sau cu modificări minime la ieșirea din conturul de bilanț.

7.7. Analiza bilanțurilor energetice

Analiza oricărui bilanț energetic pornește de la informațiile furnizate de :

- tabelul conținând mărimile absolute sau relative ale fluxurilor de energie intrate și respectiv ieșite din contur;
- diagrama Sankey trasată pe baza tabelului de mai sus;
- indicatorii de performanță energetică calculați pe baza aceluiași tabel;
- nivelul de referință al indicatorilor de performanță energetică;
- inventarul resurselor energetice secundare disponibilizate (eliminate) din contur;
- alte informații.

Nivelul sau valoarea de referință a indicatorilor de performanță energetică urmăriți poate proveni din proiectul instalației analizate, prospecte, brevete, standarde în vigoare, literatura de specialitate, etc. Referința este în general stabilită cu ocazia întocmirii bilanțului de proiect, de omologare sau de recepție. Valoarea de referință trebuie să fie aleasă în așa fel încât să poată fi atinsă în condiții reale de funcționare.

Alegerea unei valori de referință imposibil de atins are de regulă efecte psihologice negative și poate demobiliza personalul de exploatare.

Fluxurile de energie care intră în conturul de bilanț pot fi clasificate astfel :

- intrări organizate, achiziționate contra cost din exterior, care se regăsesc ca atare în factura energetică;
- intrări neorganizate, care nu se regăsesc ca atare în factura energetică.

Fluxurile de energie care ies din conturul de bilanț pot fi în clasificate astfel :

- termeni utili, cunoscuți și sub denumirea de fluxuri de energie utile, a căror lipsă împiedică buna desfășurare a activității din interiorul conturului de bilanț;
- termeni inutili, cunoscuți și sub denumirea de pierderi de energie.

Pierderile de energie constituie o categorie complexă și eterogenă de fluxuri de energie, din care pot face parte următoarele :

- căldura sensibilă conținută de gazele reziduale (de ardere, de proces, etc);
- căldura nedevoltată ca urmare a unei combustii incomplete din cauze chimice sau mecanice;
- căldura pierdută prin radiație și convecție prin suprafețele echipamentului în contact cu mediul ambiant în care se desfășoară procesul;
- căldura conținută în cantitățile de substanță care se pierd prin evaporare, purjare, drenare, decantare, reglare sau prin neetanșeitățile instalației;
- căldura evacuată din proces prin intermediul apei de răcire;
- căldura sensibilă conținută în rebuturile de fabricație, în deșeuri, în materialele rezultate din proces ca asociate produsului propriu-zis (zgură, cenușă, pulberi, balast, etc.) ca și căldura sensibilă a produsului propriu-zis la ieșirea din conturul de bilanț considerat;
- lucrul mecanic de frecare transformat în căldură.

În cazul în care procesul desfășurat în interiorul conturului de bilanț este unul de transformare a energiei, definirea efectului util și a pierderilor este relativ simplă. În cazul în care în interiorul conturului de bilanț are loc un proces de consum final, împărțirea fluxurilor de energie în utile și inutile este în multe cazuri discutabilă.

Analiza rezultatelor bilanțului energetic are două etape. Prima etapă constă în determinarea indicatorilor de performanță energetică, al căror nivel se compară cu cel de referință. Ca urmare a acestei comparații, activitatea desfășurată în interiorul conturului analizat sau instalația analizată primește un calificativ în

raport cu referința. În cazul bilanțurilor energetice reale, situația caracterizată de ele se abate mai mult sau mai puțin de la situația de referință. Prima etapă a analizei trebuie să stabilească motivele abaterii și să propună măsuri de remediere a situației. Chiar dacă rezultatul primei etape a analizei indică o situație suficient de apropiată de referință, este posibil ca nivelul de referință stabilit anterior momentului analizei, să nu mai corespundă cerințelor momentului analizei sau celor ale viitorului previzibil.

În astfel de cazuri, problema eficienței energetice trebuie abordată în alt mod. Această a doua etapă a analizei eficienței energetice a unei activități desfășurate într-un anumit contur pornește de la cantitatea și calitatea resurselor energetice secundare disponibilizate.

Prin definiție, resursele energetice secundare reprezintă cantități sau fluxuri de energie de orice fel, evacuate dintr-un contur în care se desfășoară o activitate productivă și care nu pot fi reciclate (valorificate tot în activitatea respectivă) decât prin modificări aduse instalațiilor aflate în conturul respectiv. Prin urmare, a doua etapă a analizei are ca obiect evaluarea potențialului res și a posibilităților de valorificare a acestora.

Valorificarea res în interiorul conturului asociat activității din care provin presupune modificarea procesului tehnologic sau a cel puțin unuia dintre echipamentele care compun instalația. Ea se numește **recuperare internă sau interioară** și are ca efect reducerea consumului propriu de energie primară sau direct utilizabilă. Acest mod de valorificare a res, care poate fi considerat ca o reciclare sau o recirculare, nu este întotdeauna tehnic posibil și/sau avantajos din punct de vedere economic. Recuperarea internă are ca efect direct reducerea facturii energetice ca urmare a reducerii consumului propriu de energie.

Valorificarea res în afara conturului respectiv se numește **recuperare externă sau exterioară** și implică existența unui consumator exterior conturului asociat activității din care provine res. Consumatorul este de obicei amplasat în apropiere, deoarece transportul la distanțe mari este cu atât mai puțin avantajos din punct de vedere economic cu cât intensitatea sau densitatea energetică a res este mai mică. Recuperarea externă are ca efect reducerea în mod indirect a facturii energetice a activității care a generat-o, deoarece din ea se deduc încasările obținute din vânzarea în exterior a res.

Consumatorul alimentat printr-o recuperare externă a res renunță la serviciile unei surse de energie convenționale (centrală electrică, centrală termică, etc), care va produce mai puțină energie direct utilizabilă pentru care va consuma mai puțină energie primară. El trebuie să prezinte o cerere de energie compatibilă cu caracteristicile res disponibile (natură, parametrii, simultaneitate, mod de variație în timp, etc.). Dacă compatibilitatea este parțială, res va constitui doar una dintre sursele sale de alimentare cu energie, cealaltă rămânând sursa convențională. Recurgerea la alimentarea cu energie recuperată duce de obicei la complicații suplimentare pentru consumator, dezavantaj compensat printr-un preț mai coborât al energiei cumpărate.

Oportunitatea și gradul de recuperare al unei res sunt întotdeauna rezultatul unei analize tehnico-economice, care exprimă o anumită situație la un moment dat, într-un anumit loc și într-un anumit context. Modificarea momentului, a locului sau a contextului poate infirma o soluție de recuperare în totalitate sau numai într-o anumită proporție. Acest lucru trebuie subliniat, deoarece anumite soluții practicate cu succes în alte părți nu sunt în mod obligatoriu la fel de eficiente și în condițiile actuale din România și invers.

7.8. Aspecte caracteristice privind întocmirea bilanțurilor și auditurilor energetice pentru principalele tipuri de echipamente energetice care intră în categoria transformatorilor de energie cu specific termoenergetic

Mașini rotative antrenate

Orice mașină consumatoare de lucru mecanic poate fi antrenată de către un motor în două moduri :

- direct;
- prin intermediul unui sistem de adaptare și transmisie a mișcării.

În cazurile în care motorul nu este compatibil cu mașina antrenată fie sub aspectul felului mișcării, fie sub aspectul parametrilor acesteia (cursă, viteză, turație, cuplu, etc), între cele două componente principale ale ansamblului, motorul și mașina antrenată, apare în mod necesar și o a treia, care are ca scop să le compatibilizeze pe primele două. Pentru fiecare dintre cele trei componente se poate defini câte un randament energetic, bilanțul energetic al ansamblului fiind descris prin intermediul unor relații de forma :

$$P_{k2} = \eta_k * P_{k1} \quad (7.8.1)$$

unde $k = 1, 2, 3$.

$$P_{11} > P_{12} > P_{21} > P_{22} > P_{31} > P_{32} \quad (7.8.2)$$

$$P_{32} = P_{11} - \Delta P_1 - \Delta P_2 - \Delta P_3 \quad (7.8.3)$$

Relațiile de mai sus descriu bilanțul energetic al motorului ($k = 1$), al sistemului de adaptare și transmisie ($k = 2$), al mașinii antrenate ($k = 3$) și al ansamblului. Pentru fiecare dintre cele trei componente ale ansamblului, P_{k1} este puterea sau energia intrată sau consumată iar P_{k2} este puterea sau energia ieșită sau utilă. Diferența $\Delta P_k = (P_{k1} - P_{k2})$ reprezintă pierderea de putere sau de energie aferentă fiecăreia dintre cele trei componente ale ansamblului. Randamentul energetic al fiecăreia dintre componentele ansamblului η_k depinde de tipul și caracteristicile componentei respective.

Motorul poate fi termic (turbină cu abur, turbină cu gaze, motor cu ardere internă) sau electric. Sistemul de adaptare/transmisie poate fi un cuplaj rigid sau elastic, un multiplicator sau un reductor de turație, un sistem bielă-manivelă, etc. Mașinile antrenate prezintă o mare diversitate, însă pot fi clasificate în funcție

de tipul mișcării, care poate fi rotativă sau lineară. De asemenea, în instalațiile industriale moderne pot fi întâlnite ansambluri formate dintr-un singur motor și o singură mașină antrenată și sisteme alcătuite din mai multe mașini antrenate și mai multe motoare de antrenare (stații de pompe, stații de compresoare, etc).

Sistemul alcătuit din motor, sistemul de adaptare și transmisie a mișcării și mașina antrenată nu funcționează de obicei numai la o singură sarcină, ci într-un domeniu limitat de o sarcină minimă și una maximă. Mașinile antrenate cele mai răspândite în instalațiile industriale sunt mașinile rotative de tipul pompelor, ventilatoarelor și compresoarelor. Caracteristica unei astfel de mașini este exprimată cu ajutorul relației între debitul D și înălțimea de pompare necesară Δp , relație de tip polinomial :

$$\Delta p \cong a + b \cdot D + c \cdot D^2 + \dots \quad (7.8.4)$$

unde a , b , c sunt constante pentru o mașină dată, funcționând la o anumită turație. Randamentul energetic al acestor mașini depinde de rândul său de debitul pompat și de turație. Aceste corelări sunt determinate de către constructor sau furnizor și fac parte din documentația transmisă de către aceștia beneficiarilor.

Schimbătoare de căldură

În instalațiile industriale, procesele de transfer de căldură pot avea loc prin suprafață sau prin contact direct. Schimbătoarele de căldură prin suprafață sunt aparate statice în care evoluează două fluide (cunoscute și sub denumirea de agenți termici), dintre care unul cedează iar celălalt primește un flux de căldură. Schimbul de căldură este intermediat de un perete despărțitor, care poate fi alcătuit din materiale diferite și poate avea diverse forme și configurații. Peretele împiedică contactul direct între agenții termici și prin urmare transferul de substanță între aceștia. Peretele despărțitor asigură și separarea hidraulică între circuitele prin care evoluează cele două fluide.

Schimbătoarele de căldură prin contact direct constituie a doua categorie de aparate, care prezintă o mai mare diversitate de tipuri constructive. Contactul între agenții termici nu duce în mod obligatoriu la amestecul acestora, ci doar la un schimb de masă într-un singur sens, având o pondere limitată sub aspect cantitativ și aceasta numai în cazurile în care sunt îndeplinite condițiile care stimulează schimbul respectiv (existența unui gradient activ de concentrație, cei doi agenți sunt faze diferite ale aceleiași substanțe, etc).

Un schimbător de căldură este proiectat pentru o anumită situație, caracterizată prin câte un debit, o temperatură de intrare și o temperatură de ieșire pentru fiecare dintre cei doi agenți termici. Pentru această situație se calculează coeficientul global de schimb de căldură cu ajutorul căruia se determină prin calcul suprafața de schimb de căldură necesară și deci dimensiunile aparatului. Această situație este cunoscută ca regim nominal sau regim de calcul. Toate celelalte regimuri în care se poate găsi aparatul pentru o anumită perioadă de timp sunt considerate regimuri nenominale.

Bilanțul termic și condiția de transfer a căldurii pentru oricare regim sunt exprimate cu ajutorul relațiilor următoare :

$$Q_1 = D_1 \cdot (h_{11} - h_{12}) \quad (7.8.5)$$

$$Q_2 = D_2 \cdot (h_{22} - h_{21}) \quad (7.8.6)$$

$$Q_x = k \cdot S \cdot \Delta t_{md} \quad (7.8.7)$$

$$Q_2 = \eta_{sc} \cdot Q_1 \quad (7.8.8)$$

Q_1 este cantitatea de căldură sau puterea termică cedată de agentul termic primar, Q_2 este cantitatea de căldură sau puterea termică preluată de agentul termic secundar, iar Q_x este cantitatea de căldură transmisă prin intermediul peretelui despărțitor. Cantitățile de căldură schimbate sunt exprimate cu ajutorul entalpiilor specifice ale fiecăruia dintre cei doi agenți termic și anume h_{ij} , $i = 1$ pentru agentul termic primar, $i = 2$ pentru agentul termic secundar, $j = 1$ pentru secțiunea de intrare în aparat iar $j = 2$ pentru secțiunea de ieșire din aparatul schimbător de căldură.

Indicatorul de performanță energetică de tip cantitativ caracteristic unui schimbător de căldură este coeficientul de reținere a căldurii η_{sc} , care arată cât din căldura cedată de agentul termic primar se pierde și cât este preluat de către agentul termic secundar. Ponderea pierderilor de căldură în raport cu cantitatea de căldură cedată de către agentul termic primar este influențată semnificativ de nivelul de temperatură la care are loc transferul de căldură, de grosimea izolației termice, de mărimea coeficientului global de schimb de căldură și de tipul constructiv al aparatului (mai mult sau mai puțin compact). Coeficientul de reținere a căldurii este în fapt un mod de exprimare a bilanțului energetic al aparatului în mărimi relative.

Funcționarea unui schimbător de căldură prin suprafață în regimuri nenominale stabilizate poate fi estimată cu ajutorul metodei ε - NTU, care presupune cunoașterea funcției $\varepsilon = f$ (NTU, z , configurația de curgere) pentru tipul de schimbător analizat :

$$NTU = k \cdot S / W_{min} \quad (7.8.9)$$

$$z = W_{min} / W_{max} < 1 \quad (7.8.10)$$

Eficiența termică ε a unui schimbător de căldură este o caracteristică individuală a aparatului, caracterizat printr-o anumită concepție constructivă și o anumită schemă de circulație a agenților termici. Suprafața de schimb de căldură S este singurul invariant din aceste relații, aproape toate celelalte mărimi modificându-se mai mult sau mai puțin la funcționarea într-un regim nenominal oarecare. În diverse tratate de specialitate funcția $\varepsilon = f$ (NTU, z , configurația de curgere) este de obicei disponibilă sub formă grafică, expresia sa analitică fiind disponibilă numai pentru configurațiile fundamentale de curgere (echicurent și contracurent).

Dacă premisele pe baza cărora un anumit regim de funcționare este considerat nenominal sunt legate de abaterea cel puțin a unuia dintre parametrii (debit și/sau temperatură), consecința unui astfel de regim este în mod necesar modificarea coeficientului de reținere a căldurii și deci a structurii bilanțului energetic al aparatului.

Cazane recuperatoare

În literatura de specialitate, cazanele recuperatoare sunt definite în diferite feluri, în funcție de natura resursei energetice recuperabile valorificate pentru producerea căldurii.

Dacă resursa energetică valorificată este una combustibilă, cazanele recuperatoare nu se deosebesc de cele convenționale, care consumă combustibili fosili solizi, lichizi și gazoși. Bilanțul energetic al acestora este în principiu identic.

Dacă resursa energetică recuperată este una termică, sub forma gazelor de ardere sau de proces, atunci cazanul recuperator nu este dotat cu instalație de ardere. Această categorie de cazane recuperatoare sunt în marea lor majoritate agregate alcătuite din una sau mai multe suprafețe de schimb de căldură, înseriate pe partea ambilor agenți termici. Ele se calculează și se comportă ca un ansamblu alcătuit din mai multe schimbătoare de căldură înseriate.

Cazanele recuperatoare mixte, care valorifică potențialul unei resurse energetice secundare termice dar sunt dotate și cu instalații de ardere suplimentară, care nu intervine decât în anumite situații, se vor comporta în mod diferit în cele două situații. Astfel, în absența arderii suplimentare ele vor fi simple schimbătoare de căldură. În cazul arderii suplimentare, ele se vor comporta la fel ca și cazanele convenționale care consumă același tip de combustibil. Diferențele importante între aceste cazane recuperatoare și cazanele convenționale sunt de natură constructivă. Sub aspectul bilanțului termic, diferența este determinată doar de natura comburantului (oxigen existent în exces în gazele de ardere sau de proces sau oxigen aflat în compoziția aerului introdus special în acest scop).

Cazane energetice convenționale de abur și apă fierbinte

Cazanele convenționale sunt cele care consumă combustibili gazoși, lichizi sau solizi, fiind deci dotate cu un focar și cu celelalte instalații necesare pentru prepararea combustibilului și aerului de ardere, ardere și evacuarea tuturor produselor rezultate în urma arderii. Principalul produs al arderii, gazele de ardere, constituie agentul termic primar care cedează o mare parte din căldura lor sensibilă agentului termic secundar, care este după caz apa sau aburul. Transferul de căldură are loc prin intermediul mai multor suprafețe de schimb de căldură înseriate.

Agregatul are în componența sa două mari subsisteme :

- circuitul apă - abur (traseul fluidului de lucru);

- circuitul aer - combustibil - gaze de ardere (traseul agentului termic primar).

Performanțele energetice ale unui cazan de abur sau de apă fierbinte sunt determinate de cel de-al doilea circuit, deoarece aici au loc fenomenele care influențează semnificativ principalele pierderi de energie. Concepția și funcționarea circuitului combustibil - aer - gaze de ardere are deci o influență determinantă asupra randamentului energetic al oricărui cazan. Acesta, notat cu η , este definit cu ajutorul expresiei $Q_1 = \eta * Q_c$, unde Q_c reprezintă consumul de energie primară (cantitatea de căldură conținută de combustibilul consumat sub formă de putere calorifică) iar Q_1 reprezintă cantitatea de căldură utilă, preluată sub formă de căldură sensibilă și/sau latentă de către debitul de abur sau apă fierbinte produs de cazan.

Un cazan energetic poate prezenta șase categorii de pierderi energetice legate de traseul combustibil - aer - gaze de ardere și anume :

- pierderi prin căldura sensibilă a gazelor de ardere evacuate din cazan Q_2 ;
- pierderi datorate imperfecțiunii reacției de ardere a combustibilului Q_3 , al cărui efect constă în reducerea căldurii dezvoltate prin ardere și a căror mărime este proporțională cu concentrația și cu puterea calorifică a unora dintre componentele amestecului de gaze de ardere (CO, H₂, CH₄, etc);
- pierderi asociate particulelor de combustibil solid sau lichid nearse sau arse incomplet Q_4 , care fie au căzut în pâlnia focarului și au fost evacuate împreună cu zgura, fie s-au lipit de suprafețele de schimb de căldură, fie au fost antrenate de gazele de ardere evacuate din cazan;
- pierderi de căldură prin pereți în mediul ambiant Q_5 ;
- pierderi prin căldura sensibilă a zgurii și cenușii evacuate din cazan Q_6 .

Singura pierdere de căldură asociată circuitului apă - abur este pierderea prin căldura sensibilă a purjei Q_{pj} . Trebuie precizat faptul că nu toate cazanele de abur se purjează.

Bilanțul energetic al cazanului poate fi deci exprimat prin relația :

$$Q_c = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{pj} \quad (7.8.11)$$

Dacă termenul principal Q_1 include și cantitatea de căldură conținută de purja cazanului, el este considerat efectul util brut iar randamentul calculat cu relația $\eta = Q_1/Q_c$ este numit randament brut. Dacă suma pierderilor include și căldura conținută de purja cazanului, randamentul energetic al cazanului este considerat net. Termenul Q_{pj} este de obicei puțin semnificativ, mărimea sa fiind mai mică decât eroarea admisibilă de întocmire a bilanțului. Din acest motiv, el este neglijat în cele mai multe cazuri.

Comportarea cazanelor energetice convenționale în alte regimuri de funcționare decât acela de proiect sau de dimensionare depinde de tipul și caracteristicile tehnice ale cazanului, de natura și calitatea energiei primare (compoziția, puterea calorifică și structura combustibililor consumați simultan) dar și de modul în

care agregatul este exploatat, mai precis de calificarea operatorului și nu în ultimul rând de calitatea și sensibilitatea sistemului de comandă și reglare.

Comportarea agregatului de cazan la sarcini nemominale sub aspectul performanței energetice este exprimată prin variația randamentului energetic al cazanului cu sarcina sa utilă. Caracteristica energetică a unui cazan de abur sau de apă fierbinte, exprimată în mărimi absolute, este o funcție de forma $Q_C = f(Q_1) = Q_0 + w * Q_1$, coeficienții Q_0 și w depinzând de natura, calitatea și structura combustibilor consumați, de concepția constructivă, de starea tehnică și de calitatea exploatării cazanului în timpul măsurătorilor efectuate în scopul întocmirii bilanțului energetic.

Caracteristica energetică a cazanelor poate fi exprimată și în mărimi relative, expresia ei analitică pentru fiecare dintre segmentele care o alcătuiesc este următoarea :

$$z = q + x*(1 - q) \quad (7.8.12)$$

unde $z = Q_C/Q_C^{\max}$ este consumul relativ de energie primară iar $x = Q_1/Q_1^{\max}$ este sarcina utilă relativă a cazanului. Consumul relativ de mers în gol $q = Q_0/Q_C^{\max} = z^{\min}$ corespunde situației teoretice în care debitul de abur sau de apă fierbinte este egal cu zero. Pentru domeniul de sarcină utilă corespunzător unui singur segment aflat în alcătuirea caracteristicii energetice, variația randamentului cazanului în funcție de sarcina sa utilă relativă x poate fi exprimată cu ajutorul relației :

$$\eta = Q_1/Q_C \quad (7.8.13)$$

$$\eta_{\max} = Q_1^{\max}/Q_C^{\max} \quad (7.8.14)$$

$$\eta = \eta_{\max} * x / ((q + x*(1 - q))). \quad (7.8.15)$$

Trebuie precizat faptul că, în cele mai multe cazuri, caracteristica energetică determinată cu ajutorul valorilor obținute prin măsurători în intervalul cuprins între încărcarea maximă și minimul tehnic, este formată dintr-un singur segment de dreaptă. Consumul relativ de mers în gol q poate fi cuprins între 0 și 0,1 valoarea sa fiind sensibilă la calitatea reglajul sarcinii, în special a raportului aer - combustibil, care determină practic alura caracteristicii energetice și deci performanțele tehnice ale cazanului.

Aceste concluzii sunt valabile și pentru cazanele de apă fierbinte, a căror caracteristică energetică este alcătuită în general din două segmente de dreaptă. Acest fapt se datorează în special lărgimii mai mari a domeniului de funcționare. Ele sunt concepute în așa fel încât randamentul lor energetic să fie maxim la o sarcină parțială.

Turbine cu abur

Principial, turbinele energetice cu abur sunt de două feluri, axiale și radiale. În centralele electrice de termoficare proprii ale întreprinderilor industriale pot fi întâlnite în special turbine cu abur de tip axial, fie cu condensare pură, fie cu condensare și una sau două prize reglabile, fie cu contrapresiune și una sau

două prize reglabile. Indiferent de tipul turbinelor axiale instalate în CET-urile proprii, toate aceste mașini au în comun domeniul limitat superior al puterii electrice nominale, care nu depășește 12 MW. În cele mai multe cazuri, turbinele cu abur în cauză funcționează la turație constantă și antrenează un generator electric sincron.

Randamentul intern al oricărei turbine cu abur este determinat de pierderile de energie principale și secundare ale treptei sau grupului de trepte. Pierderile de energie principale (în ajutaje, în palete și prin energia cinetică reziduală) depind în bloc de debitul volumetric de abur prin turbină și de căderea disponibilă de entalpie. Pierderile de energie secundare (prin frecări și ventilație, scăpări interne de abur și umiditate) se pot considera independente de sarcină în valoare absolută. În valoare relativă, ele cresc prin urmare hiperbolic cu scăderea debitului masic de abur admis.

Dacă se definește un corp convențional de turbină cu abur ca fiind alcătuit dintr-o treaptă de reglare și un grup de trepte de presiune nereglate, atunci se poate considera că orice turbină cu abur, cu condensare sau cu contrapresiune, cu sau fără prize reglabile de termoficare, este alcătuită dintr-unul sau mai multe corpuri convenționale. Puterea electrică produsă la bornele generatorului antrenat de către un corp convențional de turbină cu abur, luând în considerare randamentul intern al treptei de reglare η_{IR} , randamentul intern al grupului de trepte nereglate η_{IP} , randamentul mecanic η_m și randamentul generatorului electric η_g , este dată de relația :

$$P = \eta_m \cdot \eta_g \cdot \sum D \cdot (H_{TR} \cdot \eta_{IR} + H_{TP} \cdot \eta_{IP}) \quad (7.8.16)$$

În relația de mai sus, D este debitul de intrare în corpul de turbină convențional, H_{TR} este căderea disponibilă (teoretică) de entalpie pe treapta de reglare iar H_{TP} este căderea disponibilă (teoretică) de entalpie pe grupul treptelor de presiune nereglate.

Atât la sarcina de calcul (nominală), cât și la sarcinile nenominale, randamentul intern al corpului de turbină convențional rezultă prin însumarea ponderată a efectelor treptei de reglare și grupului treptelor nereglate. Randamentul intern al întregii turbine se determină prin însumarea efectelor fiecărui corp convențional.

Performanțele turbogeneratorului la funcționarea în regim nominal și nenominal sunt influențate de următorii factori :

- debitele de abur extrase din turbină prin prizele reglabile și regenerative;
- modul de reglare a prizelor reglabile;
- modul de reglare a sarcinii turbinei cu abur;
- parametrii inițiali și finali ai aburului;
- factorul de recuperare datorat deplasării destinderii în sensul creșterii entropiei.

Caracteristica energetică *putere termică intrată în ciclu (la cazanul de abur) - putere electrică la borne* are o alură net lineară și caracterizează procesul de conversie termoelectrică în întregime dar global, fără posibilitatea separării efectelor fiecăruia dintre factorii de influență. Acest tip de caracteristică este potrivit legăturii de tip bloc între un cazan și o turbină. Pentru turbinele de abur alimentate dintr-o bară colectoare comună pe care debitează mai multe cazane de abur, indiferent de tipul lor (cu condensare pură, cu condensare și una sau mai multe prize reglabile, cu contrapresiune și una sau mai multe prize reglabile, etc), este recomandabilă caracteristica energetică de tipul debit abur - putere la borne. Acest tip de caracteristică nu mai are din păcate o alură net lineară.

Pierderile de energie mecanică asociate mașinii (ΔP_{mg}), exprimate prin produsul între randamentul mecanic și randamentul generatorului electric sunt mai greu de determinat prin măsurători. Prelucrarea statistică a caracteristicilor turbinelor cu abur cu condensare a condus la stabilirea unei legături între puterea unitară nominală la borne și randamentele turbogeneratorului. Astfel, pentru $5 < P_n < 100$ MW randamentul mecanic în regim nominal η_{mn} și randamentul generatorului electric în regim nominal η_{gn} se estimează cu relațiile :

$$\eta_{mn} = 0,965 + 0,025*x - 0,005*x^2 \quad (7.8.17)$$

$$\eta_{gn} = 0,935 + 0,045*x - 0,01*x^2 \quad (7.8.18)$$

unde $x = \lg(P_n)$. În lipsa unor date mai precise, recomandate de furnizorul sau de constructorul echipamentelor, pierderile respective pot fi estimate cu ajutorul acestor relații.

Turbinele de condensare sunt caracterizate prin parametrii ai aburului intrat în turbină și cei ai aburului eșapat din turbină la condensator.

Turbinele de termoficare sunt caracterizate prin parametrii aburului intrat în turbină, ai aburului extras la priza reglabilă sau contrapresiune și ai aburului eșapat din corpul de condensare al unei turbine cu condensare și priză sau prize reglabile. Capacitatea unei turbine de termoficare poate fi exprimată prin puterea electrică maximă la borne într-un anumit regim de funcționare și prin sarcina termică maximă sau debitul maxim de abur extras la priza reglabilă sau eșapat dintr-o turbină cu contrapresiune.

Turbinele de termoficare de capacitate medie sau mică potrivite pentru CET având schema termică cu bare colectoare sau de ajutor, fără supraîncălzire intermediară, au parametrii inițiali ai aburului viu 140 bar și 540 °C, 90 bar și 510 °C, 40 bar și 450 °C.

Turbine cu gaze

O instalație de turbină cu gaze se compune din compresorul de aer, camera de ardere și turbina propriu-zisă. Cele trei componente formează un ansamblu conceput și furnizat ca atare. Parametrii de funcționare care determină eficiența energetică a unei ITG sunt raportul de comprimare, temperatura maximă a

gazelor de ardere (la intrarea în turbină) și turația. Aceștia li se poate adăuga existența sau inexistența preîncălzirii regenerative a aerului comprimat (recuperarea internă de căldură).

Bilanțul energetic al unei ITG este exprimat prin relația :

$$Q_B = P_E + Q_{GE} + \Delta P + \Delta Q \quad (7.8.19)$$

În relația de mai sus, Q_B reprezintă puterea sau energia intrată în ciclu cu combustibilul sub forma puterii sale calorifice inferioare sau superioare, P_E reprezintă puterea sau energia electrică produsă la bornele generatorului, Q_{GE} reprezintă cantitatea de căldură preluată de gazele de ardere eșapate din turbină, ΔP reprezintă pierderile de putere sau de energie mecanică iar ΔQ reprezintă pierderile directe de căldură ale agregatului. Randamentul energetic al ITG, care este în același timp și randamentul de producere al energiei electrice la borne, se definește prin relația $\eta = P_E/Q_B$.

Există două moduri fundamentale de reglare a sarcinii electrice a ITG, care pot fi combinate sau practicate separat :

- a. modificarea debitului de combustibil la camera de ardere în condițiile în care debitul de aer aspirat de compresor este determinat numai de temperatura aerului;
- b. modificarea concomitentă și corelată a debitului de combustibil și a debitului de aer în scopul realizării unei anumite sarcini utile și obținerii unei anumite temperaturi a gazelor eșapate din turbină.

Termenii bilanțului energetic al ITG se pot calcula sau măsura. Pentru a calcula puterea produsă la borne în funcție de debitul de combustibil sunt necesare valorile efective ale exponenților adiabatici în funcție de temperaturile și presiunile la intrare și la ieșire a gazelor comprimate sau destinse, valorile randamentelor interne ale CA și TG, randamentul sau pierderile de putere mecanice, randamentul sau pierderile de putere ale generatorului electric și pierderile directe de căldură ale agregatului.

În cazul instalațiilor existente, o parte din mărimi se pot măsura direct (Q_B , P_E) iar celelalte se pot calcula pe baza datelor măsurate. ΔP este singurul termen care nu se poate măsura direct și nici nu se poate calcula pe baza datelor obținute din măsurători decât în cazul dotării agregatului cu aparatură specială suplimentară de măsură. Acest termen se estimează pe seama caracteristicilor stabilite de constructor, conținute în documentația de însoțire a furniturii.

Comportarea ITG la sarcini nenominale poate fi exprimată analitic sau grafic cu ajutorul caracteristicilor energetice. Una dintre variantele caracteristicii energetice a ITG constă din relația :

$$\eta = f(x_p) = x_p / (a + b \cdot x_p) \quad (7.8.20)$$

unde η este randamentul electric brut, x_p este sarcina electrică relativă la borne iar a și b sunt constante numerice corelate astfel încât $a + b = 1$. Valoarea constantelor este în special determinată de modul de reglare a sarcinii electrice. În principiu, $a = 0,15 - 0,3$.

Motoare cu ardere internă

Motoarele cu ardere internă (MAI) avute în vedere în acest paragraf sunt cele utilizate pentru antrenarea unor mașini consumatoare de lucru mecanic (pompe, ventilatoare, compresoare, generatoare electrice, etc). Motoarele cu ardere internă pentru tracțiune nu fac obiectul cursului de față. MAI existente pe piață prezintă o mare diversitate sub aspectul capacității (puterii instalate), ciclului termic (doi timpi sau patru timpi), performanțelor (exces de aer, supraalimentare, etc). În ciuda diferențele existente între diversele tipuri de motoare cu ardere internă, bilanțul energetic al oricărui MAI este exprimat prin relația :

$$Q_B = P_E + Q_{GE} + Q_{RT} + \Delta P + \Delta Q \quad (7.8.21)$$

În relația de mai sus, Q_B reprezintă puterea sau energia intrată în ciclu cu combustibilul sub forma puterii sale calorifice inferioare sau superioare, P_E reprezintă puterea sau energia utilă (puterea sau energia electrică produsă la bornele generatorului antrenat, puterea la cuplajul între motor și mașina antrenată, etc), Q_{GE} reprezintă cantitatea de căldură preluată de gazele de ardere eșapate din motor, Q_{RT} reprezintă cantitatea de căldură preluată de către apa de răcire tehnologică, ΔP reprezintă pierderile de putere sau de energie mecanică iar ΔQ reprezintă pierderile de căldură ale agregatului.

Randamentul energetic al MAI, care este în același timp și randamentul de producere al energiei electrice la borne, se definește prin relația $\eta = P_E/Q_B$.

Termenii bilanțului energetic al MAI se pot calcula sau măsura. Pentru a calcula puterea produsă la borne în funcție de debitul de combustibil sunt necesare valorile efective ale exponenților adiabatici în funcție de temperaturile și presiunile la intrare și la ieșire a gazelor care evoluează în cilindru, toate punctele caracteristice ale ciclului, randamentul sau pierderile de putere mecanice, randamentul sau pierderile de putere ale generatorului electric și pierderile directe de căldură ale agregatului.

Estimarea prin calcul a termenilor bilanțului este mult mai dificilă în cazul MAI decât în cazul ITG. În cazul instalațiilor existente, o parte din mărimi se pot măsura direct (Q_B , P_E) iar celelalte se pot calcula pe baza datelor măsurate. ΔP este singurul termen care nu se poate măsura direct și nici nu se poate calcula pe baza datelor obținute din măsurători decât în cazul dotării agregatului cu aparatură specială suplimentară de măsură. Acest termen se estimează pe seama caracteristicilor stabilite de constructor, conținute în documentația de însoțire a furniturii.

Modul în care se repartizează căldura intrată cu combustibilul între termenii care ies din conturul de bilanț este influențat de caracteristicile tehnice ale MAI (numărul de timpi ai ciclului termic, volatilitatea

combustibilului, presiunea aerului aspirat în motor, modul de antrenare a suflantei care asigură supraalimentarea, etc).

Instalații frigorifice și pompe de căldură

Instalațiile bazate pe ciclul termodinamic invers prezintă la rândul lor o mare diversitate. Pentru cele la care comprimarea este asigurată mecanic, bilanțul energetic este exprimat prin relația :

$$Q_{SC} = Q_{SR} + P_{CP} \quad (7.8.22)$$

în care Q_{SC} reprezintă puterea sau energia ieșită la sursa caldă a instalației, Q_{SR} reprezintă puterea sau energia intrată la sursa rece a instalației iar P_{CP} puterea utilă preluată de către agentul frigorific în compresor.

Instalațiile cu absorbție consumă atât energie termică cât și energie mecanică. Bilanțul lor energetic este exprimat prin relația :

$$Q_{SC} = Q_{SR} + P_P + Q_0 \quad (7.8.23)$$

În relația de mai sus Q_0 reprezintă consumul de căldură al instalației iar P_P este consumul de energie mecanică pentru pomparea agentului frigorific.

Acumulatoare de căldură

Acumulatoarele de căldură utilizează ca agent de stocare apa sub presiune și o serie de substanțe organice și anorganice acumulate sub formă de căldură sensibilă sau/și latentă (sodă caustică, uleiuri termice, metale, amestecuri eutectice de săruri topite, etc).

Bilanțul energetic al oricărei instalații care asigură acumularea organizată de energie reflectă gradul în care energia introdusă este restituită. Indicatorul de performanță energetică al unui astfel de acumulator este deci **randamentul de restituție**, definit ca raportul între energia extrasă la descărcarea acumulatorului și energia introdusă la încărcarea lui. Bilanțul energetic al unui acumulator este exprimat prin relația :

$$Q_i = Q_E + \Delta Q \quad (7.8.24)$$

Q_i reprezintă cantitatea de energie intrată, Q_E reprezintă cantitatea de energie ieșită iar ΔQ sunt pierderile energetice ale acumulatorului pe durata unui ciclu încărcare-descărcare.

Randamentul de restituție se calculează cu relația $\eta = Q_E / Q_i$.

Trebuie subliniat faptul că în procesul de acumulare a căldurii, pe lângă pierderile de energie termică are loc și o degradare exergetică a căldurii înmagazinate, care se exprimă prin reducerea nivelului ei termic.

În practica industrială se întâlnesc mai ales acumulatoarele cu apă sub presiune, care sunt de două feluri :

- a. cu apă sub presiune la saturație (tip Ruths);

b. cu apă sub presiune subrăcită.

7.9. Aspecte carecteristice privind intocmirea bilanturilor si auditurilor energetice pentru principalele tipuri de instalații aparținând categoriei consumatorilor finali de energie cu specific termoenergetic

Instalații industriale pentru concentrarea soluțiilor de substanțe solide dizolvate în lichide

Concentrarea termică (prin vaporizare) a unor soluții de substanțe solide dizolvate în lichide constă în aducerea lor în stare de fierbere și evaporarea unei părți din solvent, care se îndepărtează. Ceea ce rămâne constituie o soluție în care concentrația substanței dizolvate este mai mare decât în soluția supusă vaporizării.

Bilanțul de masă al aparatului specializat (vaporizator) în care are loc operația de concentrare prin vaporizare se exprimă prin relațiile :

$$G_1 * b_1 = G_2 * b_2 = G_{sd} \quad (7.9.1)$$

$$G_1 = G_2 + W \quad (7.9.2)$$

unde G_1 este cantitatea de soluție diluată, b_1 concentrația sa masică, G_2 este cantitatea de soluție concentrată, b_2 concentrația sa masică, W este cantitatea de vapori secundari (vapori de solvent degajați din soluție) iar G_{sd} este cantitatea de substanță dizolvată.

Necesarul de căldură al operației și deci și al aparatului de concentrare prin vaporizare este dat de relația :

$$Q = G_2 * i_2 + (G_1 - G_2) * i'' - G_1 * i_1 + Q + Q_{am} \quad (7.9.3)$$

unde i_1 este entalpia soluției diluate, i_2 este entalpia soluției concentrate, i'' este entalpia vaporilor solventului eliminați din soluție în timpul fierberii, Q reprezintă pierderile directe de căldură ale aparatului iar Q_{am} reprezintă efectul variației căldurii de amestec ca urmare a variației concentrației soluției în aparatul de vaporizare. Datorită mărimii foarte mici a acestui ultim termen în comparație cu ceilalți și a dificultății determinării lui exacte, în cele mai multe cazuri el se neglijează.

Entalpiile i_1 și i_2 depind de temperaturile t_1 și t_2 și de compoziția soluțiilor în cele două stări (diluată și concentrată) iar i'' depinde de presiunea atmosferei aflate deasupra lichidului din aparatul de vaporizare. Entalpiile soluției în stare lichidă se calculează cu relația :

$$i = c_{so} * t \quad (7.9.4)$$

unde t reprezintă temperatura soluției, exprimată în °C, iar căldura specifică la presiune constantă c_{so} depinde de temperatura, presiunea și de compoziția soluției, exprimată prin concentrația masică b :

$$c_{SO} = (1 - b) \cdot c_{SV} + b \cdot c_{SD} \quad (7.9.5)$$

c_{SV} fiind căldura specifică a solventului în stare pură iar c_{SD} căldura specifică a substanței dizolvate în stare pură la temperatura de lucru.

Formula de calcul a căldurii specifice a soluției conduce la relația de recurență :

$$G_1 \cdot c_1 = G_2 \cdot c_2 + W \cdot c_{SV} \quad (7.9.6)$$

Necesarul de căldură al operației este asigurat prin alimentarea vaporizatorului cu un agent termic, care în marea majoritate a cazurilor este abur. Căldura consumată pentru operația de concentrare a soluțiilor se regăsește într-o foarte mare parte în entalpia vaporilor secundari. Debitul de vapori secundari și conținutul său de căldură constituie o resursă energetică secundară care poate fi valorificată tot în operația de concentrare prin vaporizare, prin fracționarea operației în mai multe aparate înseriate, vaporii secundari generați de corpul precedent fiind utilizați ca agent termic primar pentru corpul următor.

Mai multe aparate de vaporizare înseriate alcătuiesc o linie de vaporizare. În practică, numărul de aparate înseriate este de obicei cuprins între trei și șase.

Pentru o mai bună valorificare a căldurii intrate cu vaporii primari, o parte din vaporii secundari prelevați între corpuri sunt utilizați pentru preîncălzirea soluției diluate. O altă soluție de valorificare a conținutului de căldură al vaporilor secundari constă în comprimarea lor mecanică sau prin ejecție și utilizarea lor ca agent termic primar pentru același aparat de vaporizare din care provin.

Instalații de uscare industriale

Uscarea artificială este un procedeu mult mai rapid decât uscarea naturală, fiind rezultatul intensificării procesului de eliminare a umidității din material. O instalație de uscare convențională se compune dintr-o incintă unde are loc uscarea propriu-zisă și o serie de anexe care asigură circulația și eventual încălzirea agentului de uscare, alimentarea cu energie de orice fel, evacuarea agentului de uscare purtător de umiditate, etc.

Sursa de căldură a instalației poate să fie exterioară sau interioară în raport cu materialul umed. În cazul surselor exterioare, căldură se transmite materialului prin convecție, conducție sau radiație. În cazul surselor interne, un procedeu frecvent folosit este încălzirea dielectrică. Natura sursei și modul de transmitere a căldurii influențează concepția instalației de uscare și consumul specific de energie realizat de aceasta. Instalațiile de uscare industriale urmăresc să asigure simultan atât calitatea cerută materialului uscat cât și o eficiență energetică cât mai mare.

Comportarea materialelor în timpul uscării este diferită, în acest sens deosebindu-se două categorii de materiale. Materialele cu structură organizată în rețele cristaline, de natură anorganică, în care legăturile umidității cu materialul sunt slabe, prezintă valori reduse ale umidității de echilibru, migrarea umidității

prin interiorul lor având loc sub acțiunea forțelor de greutate și de tensiune superficială. Ponderea zonei de uscare cu viteză constantă este predominantă iar intensitatea procesului depinde doar de intensitatea transferului de căldură.

Materialele cu structură fibroasă, poroasă, gelatinoasă, de natură organică, în care legătura umidității cu materialul este puternică, prezintă valori ridicate ale umidității de echilibru, migrarea umidității prin interiorul lor având loc prin difuzie. Ponderea zonei de uscare cu viteză constantă este mult mai mică sau aceasta lipsește complet. În cazul forțării unei viteze de uscare prea mari, diferența între umiditatea straturilor superficiale și umiditatea miezului poate provoca deteriorarea ireversibilă prin crăpare, răsucire, exfoliere. De aceea, viteza de uscare a acestor materiale este limitată iar intensitatea transferului de căldură nu trebuie să depășească acest prag de suportabilitate.

Bilanțul de masă al incintei de uscare este exprimat prin relația :

$$G_1 - G_2 = w_1 G_1 - w_2 G_2 = L(x_2 - x_1) = \Delta W \quad (7.9.7)$$

unde G_1 reprezintă debitul de material umed, G_2 reprezintă debitul de material uscat, w_1 este umiditatea relativă a materialului la intrarea în uscător, w_2 este umiditatea relativă a materialului la ieșirea din uscător, L este debitul de aer uscat, x_1 este umiditatea absolută a aerului la intrarea în uscător, x_2 este umiditatea absolută a aerului la ieșirea din uscător iar ΔW este cantitatea de umiditate evacuată din material.

Bilanțul energetic al incintei de uscare permite determinarea necesarului de căldură pentru uscarea materialului :

$$Q = Q_{\text{mat}} + Q_{\text{vap}} + Q_{\text{aer}} + Q_{\text{tra}} + Q_p \quad (7.9.8)$$

$$Q_{\text{mat}} = G_2 c_m (\theta_2 - \theta_1) \quad (7.9.9)$$

$$Q_{\text{vap}} = L(x_2 - x_1)(r + c_v t_2 - c_w \theta_1) \quad (7.9.10)$$

$$Q_{\text{aer}} = L(t_2 - t_1)(c_a + x_1 c_v) \quad (7.9.11)$$

$$Q_{\text{tra}} = G_{\text{tra}} c_{\text{tra}} (\theta_{t2} - \theta_{t1}) \quad (7.9.12)$$

Componentele necesarului de căldură pentru uscare sunt:

- căldura preluată de material Q_{mat} ;
- căldura preluată de umiditatea evacuată din material Q_{vap} ;
- căldura preluată de agentul de uscare Q_{aer} ;
- căldura preluată de instalația de transport a materialului prin uscător Q_{tra} ;
- căldura pierdută în mediul înconjurător Q_p .

Mărimile care intră în componența relațiilor de mai sus au următoarele semnificații: θ_2 este temperatura

materialului la ieșirea din uscător, θ_1 este temperatura sa la intrarea în uscător, c_m este căldura specifică a materialului ieșit din uscător, θ_{t2} este temperatura instalației de transport la ieșirea din uscător, θ_{t1} este temperatura ei la intrarea în uscător, c_{tra} este căldura specifică a instalației de transport, t_2 este temperatura aerului la ieșirea din uscător, t_1 temperatura sa la intrarea în uscător, c_a este căldura specifică a aerului uscat, c_v este căldura specifică a vaporilor de apă iar c_w este căldura specifică a umidității în stare lichidă.

Mărimea necesarului de căldură al operației este dată în cele mai multe cazuri de doi dintre cei cinci termeni, care se regăsesc sub forma conținutului de căldură al debitului de agent de uscare care iese din incintă. Acești doi termeni sunt Q_{vap} și Q_{aer} . Dacă primul este proporțional cu cantitatea de umiditate care trebuie evacuată, al doilea este proporțional cu debitul specific de aer. Mărimea debitului specific de aer depinde de natura materialului, de regimul de temperatură din incintă și de tipul instalației de uscare. Q_{aer} poate fi considerată cea mai importantă pierdere de energie asociată operației de uscare. Căldura preluată de aerul de uscare poate fi doar redusă dar nu anulată, deoarece anularea ei ar însemna eliminarea vectorului care transportă în exterior umiditatea evacuată din material. Eficiența energetică a operației de uscare depinde în primul rând de ponderea acestui termen. În al doilea rând, ea depinde de posibilitatea tehnică și de rentabilitatea economică a recuperării căldurii sensibile și latente conținute de aerul umed care părăsește incinta de uscare.

Solutii de crestere a performantelor energetice ale instalatiilor de uscare

Principalele solutii de crestere a performantelor energetice ale instalatiilor de uscare deriva însăși de la definitia bilantului energetic si al notiunii de eficienta energetica. In general industria sticlei reprezinta unul dintre marii consumatori de energie termica si chiar electrica, ceea ce a impus masuri de cercetare si luare a unor masuri de eficientizare atât ale proceselor tehnologice cât si de crestere a randamentelor energetice.

Reducerea pierderilor reprezinta principala cale de crestere a randamentului energetic. Acest lucru se poate realiza prin multiple operatiuni tehnologice, energetice sau manageriale.

Printre procedeele tehnologice se pot enumera:

- încărcarea masica optima din punct de vedere al capacitatii de lucru a cuptorului;
- respectarea cu strictete a diagramei de lucru (urmarirea graficelor de presiune si temperatura date de tehnologie);
- controlul arderii în vederea realizării coeficientilor de exces de aer optimi precum si reducerea la minim a componentelor arse incomplet;

Printre procedeele energetice cele mai eficiente se specifica:

- reducerea pierderilor de caldura prin convecție și radiație termică în mediul ambiant, printr-o construcție îngrijită a zidăriei cuptorului și a izolației termice a acestuia;
- recuperarea caldurii fizice a gazelor de ardere treapta I, pentru preîncalzirea aerului de ardere;
- recuperarea caldurii fizice a gazelor de ardere treapta a doua pentru prepararea altui agent termic utilizabil în procese conexe din aceeași societate sau spre vânzare la terți;
- recuperarea caldurii gazelor de ardere pentru preîncalzirea materiei prime și materialelor necesare în proces;
- recuperarea caldurii reziduale în cazane recuperatoare;
- recuperarea căldurii reziduale cu sau fără procedee de postardere în vederea producerii combinate de energie electrică și termică;
- recuperarea caldurii de potențial coborât (ape și agenți de răcire) prin soluții de pompe termice, etc.

Printre procedeele manageriale se enumera:

- buna organizare a procesului de producție, cu măsuri de încărcare optimă a cuptorului;
- reducerea timpilor morți între sarjele de lucru ale cuptorului;
- monitorizarea parametrilor de lucru;
- telegestiunea energetică a proceselor tehnologice;
- cointeresarea personalului de exploatare prin centre locale de costuri.

Efecte ale implementării soluțiilor de creștere a eficienței energetice ale instalațiilor de uscare

Reducerea pierderilor evidențiate precum și aplicarea măsurilor prezentate mai sus conduc la creșterea randamentului energetic al produsului finit și respectiv la scăderea consumurilor specifice de energie primară.

În cazul industriei sticlei consumul mediu specific de energie se situează la valori de cca. 6250 kWh_t / tona.

Un rol important în perfecționarea schemelor de recuperare a caldurii revine alegerii tipului și caracteristicilor optime ale schimbătoarelor de caldura, prin optimizarea caderilor de temperatură, pierderilor hidraulice, toate cu efecte directe asupra consumului de energie primară.

Recuperarea caldurii din gazele de ardere în două trepte (preîncalzirea aerului de ardere și producerea simultană de apă caldă sau abur) mărește randamentul de utilizare a combustibilului la uscatoarele de nisip și cuptoarele de sticlă de la 8-12% la cca. 16 % prin recuperare regenerativă și la cca. 20% prin recuperarea sub formă de abur sau apă fierbinte.

O solutie de recuperare a caldurii foarte eficienta pentru cuptoarele de sticla consta în introducerea unui recuperator de abur pe circuitul de gaze de ardere, dupa preîncalzirea regenerativa a aerului de ardere, solutie ce poate cupla doua sau mai multe instalatii din aceeasi sectie.

Exemplu de aplicare a solutiilor de crestere a eficientei energetice ale instalatiilor de uscare. În cele ce urmeaza se prezinta efectele recuperarii caldurii asupra cresterii eficientei unui uscator de nisip rotativ cu focar independent pe gaze naturale, din industria sticlei, pe baza analizei de bilant inainte si dupa aplicarea recuperarii. Recuperarea caldurii consta in preincalzirea aerului de ardere pana la temperatura de cca. 300 °C, pe baza racirii gazelor de ardere la iesirea din uscator.

În tabelul 7.8.1. sunt prezentate structura ponderea si principalii indicatori pentru bilantul energetic al cuptorului de uscare-preparare amestec nisipos pentru producerea sticlei, fara preincalzirea aerului de ardere.

În tabelul 7.8.2. sunt prezentate structura ponderea si principalii indicatori pentru elementele bilantului energetic al cuptorului de uscare-preparare amestec nisipos pentru producerea sticlei, cu preincalzirea aerului de ardere.

Tabel 7.8.1.

Bilantul termoenergetic al uscatorului cu focar independent si insuflare de aer rece ($t_{a,r} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$)

Intrari	Simbol	Cantitate		Iesiri	Simbol	Cantitate	
		kJ	%			kJ	%
Caldura combustibilului gazos	Q_{cc}	310480	88.32	Caldura materialului supus uscarii	$Q_{nis,ies}$	122400	34.82
Entalpia aerului rece	Q_{ar}	850	0.24	Caldura chimica a gazelor evacuate	$Q_{ch,ev}$	112000	31.86
Reactii exoterme produse chimice adaugate	Q_{ex}	15700	4.47	Entalpia gazelor evacuate	$Q_{f,ev}$	67500	19.20
Caldura nisip intrare	$Q_{nis,int}$	24500	6.97	Pierderi caldura in mediul amb.	$Q_{p,ma}$	49600	14.12
TOTAL calduri intrate	ΣQ_{intr}	351530	100	TOTAL calduri iesite	ΣQ_{ies}	351500	100

Pe baza elementelor de bilant s-au determinat randamentul termic al cuptorului si respectiv randamentul de utilizare a combustibilui:

$$\eta_t = \frac{Q_{nis,ies}}{\Sigma Q_{intr}} \cdot 100 = \frac{122400}{351530} \cdot 100 = 34.82\%$$

$$\eta_{ut,comb} = \frac{Q_{nis,ies} + Q_{p,ma}}{Q_{cc}} \cdot 100 = \frac{122400 + 49600}{310480} \cdot 100 = 55.4\%$$

Tabel 7.9.2.

Bilantul termoenergetic al uscatorului cu focar independent si preincalzirea aerului de ardere ($t_{a,pr} = 300 \text{ }^\circ\text{C}$)

Intrari	Simbol	Cantitate		Iesiri	Simbol	Cantitate	
		kJ	%			kJ	%
Caldura combustibilului gazos	Q_{cc}	244500	76.57	Caldura materialului supus uscarii	$Q_{nis,ies}$	126.600	39.67
Entalpia aerului preincalzit	$Q_{aer pr}$	34600	10.83	Caldura chimica a gazelor evacuate	$Q_{ch,ev}$	90500	28.36
Reactii exoterme produse chimice adaugate	Q_{ex}	15700	4.93	Entalpia gazelor evacuate	$Q_{f,ev}$	53500	16.77
Caldura nisip intrare	$Q_{nis,int}$	24500	7.67	Pierderi caldura in mediul amb.	$Q_{p,ma}$	48500	15.20
+TOTAL calduri intrate	ΣQ_{intr}	319300	100	TOTAL calduri iesite	ΣQ_{ies}	319100	100

În cazul bilantului uscatorului cu recuperarea regenerativa a caldurii reziduale a gazelor de ardere, pentru preincalzirea aerului de combustie a rezultat urmatoarele randamente, termic si de utilizare a combustibilului:

$$\eta_t^{rec} = \frac{Q_{nis,ies}}{\Sigma Q_{intr}} \cdot 100 = \frac{126600}{319300} \cdot 100 = 39.64\%$$

$$\eta_{ut,comb}^{rec} = \frac{Q_{nis,ies} + Q_{p,ma}}{Q_{cc}} \cdot 100 = \frac{126600 + 48500}{244500} \cdot 100 = 71.62\%$$

În consecinta se constata urmatoarele avantaje prin introducerea recuperarii:

- o reducere semnificativa a consumului de combustibil gazos de cca. :

$$\Delta B_{cc} = \frac{310480 - 244500}{8250 \cdot 4.18} = 1.92 \text{ m}^3 / \text{h} \text{ comb.gazos}$$

- o crestere a randamentului termic al uscatorului cu cca.:

$$\Delta\eta_t = 39.64 - 34.82 = 4.82\%$$

- o creștere a randamentului de utilizare a combustibilului cu cca.:

$$\Delta\eta_{ut,comb} = 71.62 - 55.4 = 16.22\%$$

Reactoare chimice și încălzitoare

Categoria reactoarelor chimice, a încălzitoarelor și a altor echipamente și agregate similare acestora este una foarte largă, în care sunt cuprinse elemente care se caracterizează în special prin diversitate. Materiile prime și materialele care sunt încălzite prezintă la rândul o mare diversitate. Din acest motiv, tratarea întregii categorii se limitează la generalități.

Forma de energie utilizată de această categorie de echipamente pentru procesele de încălzire poate fi energia electrică, energia termică provenind din exterior și introdusă în interior prin intermediul unui agent termic sau energia termică generată în interior ca urmare a unor reacții chimice exotermice.

Printre termenii bilanțului energetic al încălzitoarelor și reactoarelor se evidențiază efectele exo sau endotermice, căldurile latente de schimbare a stării de apariție, precum și alți asemenea termeni asociați materiilor prime sau materialelor conținute în încărcătură.