

GHID DE ELABORARE A AUDITURILOR ENERGETICE

1 – DISPOZIȚII GENERALE

1.1 Obiectul și domeniul de aplicare

1.1.1 Prezentul ghid cuprinde obligații, recomandări, principii fundamentale și indicații metodologice generale referitoare la elaborarea auditurilor energetice incluzând întocmirea bilanțurilor energetice la consumatorii de energie (combustibil, energie termică și energie electrică), modul de apreciere a eficienței energetice, evaluarea eficienței economice și a impactului asupra mediului.

Observație:

Normativul PE 902/86 (reeditat în anul 1995) privind întocmirea și analiza bilanțurilor energetice este în vigoare în conformitate cu Catalogul reglementărilor și prescripțiilor tehnice valabile în sectorul energetic în anul 2002 recomandat de ANRE.

1.1.3 Prevederile prezentului ghid se referă atât la echipamentele, respectiv la instalațiile existente, cât și la cele aflate în fază de proiectare, de omologare sau de recepție.

1.1.4 Rezultatele bilanțurilor energetice vor fi utilizate pentru:

- a) fundamentarea măsurilor de economisire a resurselor energetice, de modernizare a instalațiilor și de creștere a eficienței economice;
- b) stabilirea cantităților absolute și specifice de energie consumate în, respectiv, rezultate din procesul tehnologic analizat;
- c) stabilirea cantităților de masă și de energie care părăsesc procesul examinat la un nivel energetic suficient pentru a fi reutilizate;
- d) stabilirea pierderilor de energie aferente procesului, ca loc și valoare;
- e) estimarea nivelului tehnic și energetic al procesului examinat.

1.1.5 Auditul energetic include : bilanț energetic pe un anumit contur de cuprindere, propuneri privind măsuri de eficiență energetică ce se impun ca urmare a analizelor efectuate,

evaluarea eficienței economice a investițiilor necesare pentru implementarea măsurilor de eficiență energetică precum și evaluarea impactului asupra mediului a emisiilor de poluanți.

1.2 Definiții și clasificări

În sensul prezentului Ghid, termenii și expresiile de mai jos se definesc astfel:

1.2.1 Auditor energetic autorizat este persoana fizică sau juridică care deține autorizația de auditor energetic.

1.2.2 Audit energetic – procedură sistematică al cărei scop este obținerea unor date/informații corespunzătoare despre profilul consumului energetic existent al unei clădiri sau al unui grup de clădiri, al unei operațiuni sau instalații industriale sau comerciale sau al unui serviciu privat sau public, identificarea și cuantificarea oportunităților rentabile de economisire a energiei și raportarea rezultatelor.

1.2.3 Auditor energetic – persoana fizică sau juridică atestată/autorizată în condițiile legii care are dreptul să realizeze audit energetic la consumatori. Auditorii energetici persoane fizice își desfășoară activitatea ca persoane fizice autorizate sau angajați ai unor persoane juridice, conform legislației în vigoare;

1.2.4 Bilanț energetic reprezintă metoda sistematică de urmărire și contabilizare a fluxurilor energetice. În sistemele industriale și în instalații bilanțul energetic servește la verificarea conformității rezultatelor funcționării cu datele de referință.

1.2.5 Bilanț electroenergetic reprezintă tipul de bilanț energetic care urmărește contabilizarea fluxurilor de energie electrică.

1.2.6 Bilanț termooenergetic reprezintă tipul de bilanț energetic care urmărește contabilizarea fluxurilor de energie termică (inclusiv cea eliberată prin arderea combustibililor).

1.2.7 Bilanț complex reprezintă tipul de bilanț energetic care urmărește contabilizarea tuturor formelor de energie ale căror fluxuri sunt monitorizate în interiorul conturului de bilanț.

1.2.8 Contur de bilanț este suprafața imaginată închisă în jurul unui echipament, instalație, secție, uzină, agent economic la care se raportează fluxurile de energie care intră, respectiv, ies din contur.

1.2.9 Echipament este agregatul în care se desfășoară un proces tehnologic.

1.2.10 Instalație este obiectivul rezultat prin conectarea funcțională a mai multor echipamente cu scopul de a se crea condițiile de desfășurare a unui proces tehnologic complex, la sfârșitul căruia rezultă unul sau mai multe produse, intermediare sau finale.

1.2.11 Operator economic este unitatea administrativ-organizatorică cu personalitate juridică, care desfășoară activitate lucrativă.

1.2.12 Proces tehnologic cuprinde o succesiune de activități care concură la realizarea unui produs finit /semifinit, caracteristic agentului economic ce are în patrimoniu tot ce este în conturul de bilanț analizat sau auditat.

1.2.13 Proces de transformare energetică reprezintă procesul care are drept scop trecerea de la o formă sau un purtător de energie la o altă formă sau purtător de energie sau modificarea parametrilor caracteristici ai unei forme sau ai unui purtător de energie.

1.2.14 Proces de consum final de energie este procesul în care energia este folosită în scopul realizării de produse neenergetice sau de prestări de servicii. După procesul de consum final de energie nu mai au loc transformări energetice.

1.2.15 Secție este subunitatea administrativ-organizatorică a unui operator economic, care dispune de una sau mai multe linii tehnologice.

1.2.16 Clasificarea bilanțurilor energetice

Bilanțurile energetice se clasifică după următoarele criterii:

a) după conturul de cuprindere:

- i. bilanț pe echipament
- ii. bilanț pe instalație
- iii. bilanț pe secție
- iv. bilanț pe operator economic

b) după felul de energie:

- i. bilanț termoeenergetic
- ii. bilanț electroenergetic

c) după natura purtătorilor de energie:

- i. bilanțul pe combustibil
- ii. bilanțul pe abur
- iii. bilanțul pe apă de răcire
- iv. bilanțul pe agenți frigorifici
- v. bilanțul pe aer comprimat (tehnologic, de măsură și control)
- vi. bilanțul pe azot și oxigen
- vii. bilanțul pe alte materiale cu rol de purtător (de exemplu: piesele calde care rezultă dintr-un proces tehnologic)

d) după numărul formelor de energie:

- i. bilanț simplu (termoeenergetic sau electroenergetic)
- ii. bilanț complex (termoeenergetic și electroenergetic)

e) după conținut și etapă de elaborare:

- i. bilanț de proiect
- ii. bilanț de omologare
- iii. bilanț de recepție
- iv. bilanț real (include bilanț optimizat)

f) după felul fluxurilor de energie considerate:

- i. bilanț energetic calitativ (sau bilanț exergetic)
- ii. bilanț energetic cantitativ

1.3 Obligații și recomandări pentru consumatorii de energie

1.3.1 Auditurile energetice se realizează de către auditori energetici autorizați de către ANRE conform legislației în vigoare.

1.3.2 Pentru efectuarea auditurilor energetice auditorii energetici autorizați trebuie să aibă în dotare atât aparate de măsură necesare conducerii corecte a procesului tehnologic, cât și a celor necesare efectuării măsurărilor pentru bilanțuri energetice.

1.3.3 La elaborarea bilanțurilor energetice este obligatorie utilizarea Sistemului Internațional de unități de măsură.

1.3.4 Eroarea maximă (neînchiderea bilanțului) admisă pentru toate tipurile de bilanț energetic, trebuie să fie inferioară următoarelor valori:

- 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).

1.3.5 La elaborarea auditurilor energetice se vor respecta următoarele criterii minime:

- a) auditurile conțin date operaționale actualizate, măsurate și trasabile privind consumul de energie și profilurile de sarcină pentru energia electrică;
- b) auditurile conțin o revizuire detaliată a profilului de consum de energie al clădirilor sau grupurilor de clădiri, al operațiunilor sau instalațiilor industriale, inclusiv transporturile;
- c) analiza costurilor ciclului de viață și a perioadelor simple de rambursare pentru a lua în considerare economiile pe termen lung, valorile reziduale ale investițiilor pe termen lung și ratele de actualizare; se vor calcula și analiza valoarea actualizată netă și rata internă de rentabilitate

1.3.6 Auditurile energetice permit calcule detaliate și validate pentru măsurile propuse, astfel încât să furnizeze informații clare cu privire la economiile potențiale. Vor fi evidențiate metodele de calcul sau standardele utilizate .

1.3.7 Datele utilizate în auditurile energetice sunt stocate în scopul analizei istorice și al urmăririi performanței. Vor fi păstrate datele utilizate în cel puțin ultimele două audituri , fie în format electronic, fie în format letric.

1.3.8 Se va elabora, după caz: audit termoelectric, audit electroenergetic sau audit complex.

1.3.9 Se recomandă unităților care achiziționează echipamente din import să solicite furnizorilor caracteristicile energetice strict necesare elaborării bilanțurilor de recepție.

2 - PRINCIPII GENERALE DE ELABORARE ȘI ANALIZĂ A BILANȚURILOR ENERGETICE

Bilanțul energetic este o formă practică de exprimare a principiului conservării energiei și pune în evidență egalitatea între energiile intrate și cele ieșite din conturul analizat pentru o anumită perioadă de timp.

Energiile ieșite din conturul bilanțului se compun din energiile de toate tipurile folosite în mod util și pierderile de energie.

1. În mod convențional este considerată energie utilă :

- a. *pentru acționările electrice*: diferența dintre energia absorbită din rețea și suma cantităților reprezentând pierderile electromagnetice și mecanice în electromotorul și mecanismul antrenat;
- b. *pentru acționările mecanice*: energia echivalentă lucrului mecanic la arborele mașinii de acționare;
- c. *pentru acționările mecanice ale generatoarelor electrice*: energia la bornele generatorului minus energia consumată de serviciile proprii ale grupului;
- d. *pentru generatoarele de abur*: energia conținută de aburul debitat în conductă, mai puțin energia echivalentă absorbită de serviciile proprii ale generatorului de abur;
- e. *pentru procesele termice*: căldura necesară pentru încălzirea, topirea, vaporizarea, uscarea materialelor după caz, până la atingerea parametrilor ceruți prin rețeta procesului tehnologic, precum și căldura absorbită de reacțiile endoterme și căldura conținută în resursele energetice refolosibile, pe care procesul examinat le pune la dispoziția altor procese;
- f. *pentru procesele de transport*: energia conținută de cantitățile de combustibil sau de ceilalți purtători de energie rămase după transport și operațiile de manipulare de la încărcare/descărcare;
- g. *pentru elementele de rețea electrică (transformatoare, linii, bobine de reactanță etc.)*: energia la bornele aval ale elementului considerat;
- h. *pentru procesele de sudură electrică, de electroeroziune, de acoperiri metalice ș.a.*: energia la bornele de alimentare a electrozilor;

- i. *pentru iluminatul electric*: energia fluxului luminos util (se preia din manuale, prospecte, buletine de încercare etc.);
- j. *pentru procesele electrochimice (electroliză, galvanotehnică etc.)*: energia teoretic necesară reacțiilor chimice specifice procesului, determinată prin calcul;
- k. *pentru procesele de transformare a energiei*: energia obținută după transformare

2. Pierderile de energie aferente procesului tehnologic sunt considerate următoarele:

- a. căldura sensibilă conținută de gazele de ardere sau/și de gazele tehnologice rezultate din proces, la temperatura cu care acestea părăsesc procesul sau, după caz, instalația de recuperare a resursei energetice refolosibile;
- b. căldura nede dezvoltată ca urmare a unei combustii incomplete (chimic sau mecanic) aferentă procesului tehnologic;
- c. căldura pierdută (radiație și convecție) de suprafețele exterioare ale echipamentelor;
- d. căldura conținută în cantitățile de masă care se pierde prin evaporare, purjare, drenare, decantare, reglare etc., sau prin neetanșeitățile instalației;
- e. căldura sensibilă a vaporilor evacuați în atmosferă de către mașinile unelte (ciocane, prese), de către mașinile termice cu piston sau de către conductele de însoțire (de menținere caldă) a traseelor și rezervoarelor din industria chimică și similare;
- f. căldura evacuată din proces de către agenții de răcire, socotită la ieșirea din proces, respectiv, din instalația de recuperare (dacă există);
- g. căldura sensibilă conținută în rebuturile de fabricație, în deșeuri, în materialele rezultate din proces ca asociate produsului propriu-zis (zgură, cenușă, pulberi, balast, masă inactivă etc.) ca și căldura sensibilă a produsului propriu-zis la ieșirea din recuperatorul de resursă (dacă există) sau, în caz contrar, la ieșirea directă din proces;
- h. căldura conținută de resursele energetice refolosibile la ieșirea din proces, respectiv din instalațiile de recuperare (dacă există);
- i. energia electrică pierdută prin efect Joule, efect Corona, ca și pierderile electromagnetice și mecanice ale motoarelor.

2.1 Bilanțul de proiect

2.1.1 Bilanțul de proiect trebuie să reprezinte soluția optimă, corespunzătoare condițiilor tehnico-economice cele mai avantajoase realizabile în stadiul actual al tehnicii.

2.1.2 Bilanțul de proiect pentru echipament se elaborează pe baza calculelor analitice, a datelor furnizate de literatura de specialitate sau de situații analoage cunoscute, oferte, documentații, experiență în exploatarea unor echipamente asemănătoare, analiza comparativă a avantajelor și dezavantajelor de ordin tehnologic și energetic ale unor echipamente cunoscute, cu care se fabrică același produs în comparație cu echipamentul în curs de proiectare.

2.1.3 Bilanțul de proiect pentru instalație se elaborează de către proiectantul instalației, pe principiul conexiunii optime a echipamentelor care compun instalația, în sensul corelării caracteristicilor lor tehnologice și energetice, astfel încât să rezulte o instalație care exploatează optim resursa energetică pusă la dispoziție. În cazul în care schema instalației se poate realiza în diverse variante de echipare, care, îndeplinind aceeași funcție, realizează consumuri energetice diferite, se va adopta configurația care asigură cel mai mic consum de energie pe unitatea de produs.

2.1.4 Bilanțul de proiect reprezintă obiectul de referință pentru bilanțul de recepție.

2.2 Bilanțul de omologare

Bilanțul de omologare validează concordanța valorilor obținute prin măsurători de omologare cu cele de proiect, performanțele echipamentelor (instalațiilor) la variațiile de regim de exploatare, cât și parametrii nominali ai echipamentului (instalației). În cazul în care la probele de omologare nu se realizează valorile de proiect, abaterile revin spre rezolvare proiectantului, iar valorile parametrilor tehnologici și energetici realizați la omologare devin valori de referință pentru bilanțul de recepție.

2.3 Bilanțul de recepție

2.3.1 Bilanțul de recepție se elaborează la punerea în funcțiune a unui echipament (instalație) în condițiile concrete de exploatare. Se vor utiliza curbele de corecție date de fabricant pentru evaluarea abaterilor parametrilor reali de la valorile nominale (rețetă, temperatură, putere calorifică, presiune, frecvență etc.).

2.3.2 Corecțiile odată operate, diferențele până la valorile nominale ale parametrilor evidențiază fie erori de montaj, fie erori de proiectare (în cazul în care omologarea s-a făcut echipament cu echipament și nu pe ansamblul instalației), fie nealinierea perfectă a parametrilor individuali ai echipamentelor care compun instalația. Până la rezolvarea definitivă a diferențelor, bilanțul de recepție constituie bilanțul de referință pentru unitatea de exploatare. Se vor efectua probe de funcționare și măsurători de bilanț la cel puțin trei niveluri de sarcină ale echipamentului (instalației) dintre care unul va fi la sarcina nominală.

2.3.3 Valorile de referință se înscriu în cartea tehnică a echipamentului, respectiv a instalației.

2.4 Bilanțul real

2.4.1 Bilanțul real se referă la situația în care se găsește, la un moment dat, un echipament (instalație), punând în evidență abaterile valorilor parametrilor reali de la valorile de referință stabilite în bilanțul de recepție, cauzele și soluționarea acestora. Abaterile rezultate reprezintă fie erori de întreținere și exploatare, fie uzură.

2.4.2 Bilanțul real se elaborează operând cu cantități de energie măsurate, completate cu valori calculate analitic.

2.4.3 Se recomandă ca în timpul probelor de bilanț încărcarea să fie egală, sau foarte apropiată de cea nominală.

2.4.4 Bilanțul real constituie baza pentru evaluarea potențialului de resurse energetice refolosibile.

2.5 Bilanțul optimizat

Bilanțul optimizat se elaborează de fiecare dată când se elaborează și bilanțul real. El ia în considerare efectul implementării măsurilor de creștere a eficienței identificate prin analiza bilanțului real.

2.6 Bilanțul simplu (termoenergetic, electroenergetic)

2.6.1 La elaborarea bilanțului termoeenergetic se va avea în vedere căldura fizică conținută în purtătorii de energie (abur, apă fierbinte, gaze de ardere), precum și căldura reacțiilor exoterme la care participă combustibilii și/sau materia primă.

2.6.2 Bilanțul electroenergetic se referă la energia electrică.

2.7 Bilanțul complex

Reprezintă cumularea celor două categorii de bilanțuri simple menționate, aplicate aceleiași instalații, în aceeași perioadă de timp. El comportă transformarea în aceeași unitate de măsură a energiei.

3 - INDICAȚII METODOLGICE PRIVIND ELABORAREA AUDITURILOR ENERGETICE

3.1 Indicații metodologice generale

3.1.1 O lucrare de audit energetic are următoarea structură:

- a. Definirea conturului;
- b. Caracteristicile tehnice ale principalelor agregate și instalații conținute în contur;
- c. Schema fluxului tehnologic;
- d. Prezentarea sumară a procesului tehnologic (parametrii tehnici și economici);
- e. Stabilirea unității de referință asociate bilanțului (oră, ciclu, an, șarjă, tonă);
- f. Aparată de măsură folosite, caracteristici tehnice și clasa de precizie;
- g. Schemă și puncte de măsură;
- h. Fișă de măsurători;
- i. Ecuația de bilanț;
- j. Calculul componentelor de bilanț (expresii analitice, formule de calcul);
- k. Tabelul de bilanț și diagrama Sankey;
- l. Analiza bilanțului (compararea componentelor utile și de pierderi cu cele realizate în procese și instalații similare, de proiect, de recepție, de omologare, cunoscute pe plan intern, extern și în literatură);
- m. Bilanțul optimizat;
- n. Plan de măsuri și acțiuni pentru creșterea eficienței energetice;
- o. Calculul de eficiență economică a principalelor măsuri stabilite;
- p. Calculul elementelor de impact asupra mediului.

3.1.2 De regulă, bilanțul real se determină pentru următoarele mărimi ale sarcinii (încărcare):

- a. sarcină nominală;
- b. sarcină maximă curent realizată în perioada analizată;
- c. sarcină minimă curent realizată în perioada analizată;
- d. sarcină medie anuală din perioadele de funcționare efectivă.

În cazurile în care nu se pot crea condițiile necesare executării bilanțului la sarcinile de mai sus, se aleg cel puțin trei mărimi ale sarcinii, în limitele normale de variație ale acesteia, pentru care se elaborează bilanțul. Pentru cazul sarcinii practic constante, bilanțul se execută numai pentru această sarcină.

În cazul în care consumurile energetice sau producția sunt influențate sensibil de anumiți parametri (caracteristicile materiilor prime, temperatura exterioară etc.), bilanțul se execută pentru câteva mărimi caracteristice ale acestor parametri (mărimile limită, medie, normală).

Starea tehnică și de curățire a echipamentului sau instalației va fi, după caz, următoarea:

- a. pentru elaborarea bilanțului real, echipamentul (respectiv instalația) se va afla în stare normală (stare medie de uzură);
- b. pentru elaborarea bilanțului de omologare și a celui de recepție, echipamentul (respectiv instalația) se va afla în stare perfect curată.

3.1.3 În funcție de natura procesului tehnologic, bilanțul energetic poate fi întocmit orar, pe ciclu, pe șarjă sau pe unitatea de produs realizat.

În scopul luării în considerație a cât mai multor factori care influențează elementele unui bilanț (diversele componente ale energiei intrate în contur, ale energiei generate în contur prin reacții exoterme, ale energiei util folosite în contur, ale energiei livrate în afara conturului pentru a fi folosită în alte contururi, ale pierderilor de energie), acesta se va întocmi pentru o perioadă calendaristică mai mare, de regulă un an.

Observație:

Pentru recepția sau omologarea instalațiilor nu se efectuează decât bilanțuri orare sau pe cicluri de funcționare; nu se execută bilanțuri anuale.

3.1.4 Determinarea mărimilor necesare elaborării bilanțului se va face pe baza măsurărilor 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.

Observație:

Unele elemente ale bilanțului pot fi neglijate, dacă determinarea lor comportă dificultăți apreciabile și reprezintă mai puțin de 1% din totalul energiei intrate sau ieșite. Aceste elemente intră în poziția “necorelarea bilanțului”, care nu poate depăși limita de 2,5% din totalul energiei intrate.

Aparatele folosite pentru măsurători trebuie să dispună de verificare metrologică în conformitate cu normativele în vigoare.

3.1.5 Valorile parametrilor tehnologici și energetici cu care operează bilanțul, cât și evenimentele apărute în perioada de măsurători se vor consemna în fișe.

3.1.6 Elementele bilanțului se vor prezenta atât sub formă de tabel cât și ca diagramă Sankey.

3.2 Bilanțul termoeenergetic

3.2.1 Căldura dezvoltată (eliberată) prin arderea combustibililor se calculează pe baza puterii calorifice a acestora, stabilită prin determinări realizate concomitent cu desfășurarea măsurătorilor de bilanț, respectând prevederile normativelor în vigoare referitoare la asigurarea probei reprezentative de combustibil.

Observatii:

a. *În cazul combustibililor gazoși este permisă stabilirea puterii calorifice (în afară de metoda calorimetrică) și pe baza analizei elementare, cu folosirea căldurii de ardere a componentelor, a ecuației de ardere a fiecăreia și a proporțiilor lor în gazul combustibil.*

b. *În cazul combustibililor lichizi sau gazoși, cu conținut mic de balast (O_2 , N_2 , CO_2) și cu conținut de sulf sub 2%, este permisă determinarea puterii calorifice pe cale indirectă, pe baza analizei gazelor de ardere. Se consideră conținut mic de balast când suma proporțiilor $O_2 + N_2 + CO_2$ este sub 5%.*

c. *În cazul combustibililor micști este obligatorie măsurarea cantității și determinarea directă a puterii calorifice a fiecăruia.*

3.2.2 Modul de calcul al căldurii reacțiilor chimice endoterme și exoterme (altele decât arderea combustibililor) se preia din literatura de specialitate privind fiecare reacție.

Căldura dezvoltată de reacții chimice exoterme se consideră că intră în contur, iar căldura absorbită de reacțiile chimice endoterme se consideră că iese din contur.

În procesul tehnologic mai pot apărea și alte fenomene chimice (reducere, disociere termică) sau fizice (topire, vaporizare, condensare etc.) cu schimb de căldură. Acestea vor fi luate în considerație cu cantitățile de căldură și cu semnul corespunzător (+ pentru degajare, - pentru absorbție).

Căldura chimică a materiei care intră într-un contur, dacă această materie nu urmează să fie consumată prin combustie în cadrul conturului, ci transformată (fizic sau chimic), nu se ia în considerare nici la intrare, nici la ieșire. Dimpotrivă, dacă o parte din materia primă intrată se transformă în cadrul procesului într-un produs secundar (sau în deșeu) combustibil, cantitatea de căldură conținută de această parte, se va lua în considerare atât la intrare cât și la ieșire.

3.2.3 Conținutul de căldură al fluidelor se calculează ca produs între cantitatea de masă care trece prin punctul considerat și entalpia fluidului în același punct. Entalpia se găsește în tabele sau se

calculează cu ajutorul relațiilor analitice specifice date în manualele de specialitate. În lipsa acestor date, se vor face determinări de căldură specifică în laborator, în timpul măsurătorilor de bilanț.

Este permis ca pentru hidrocarburile complexe să se calculeze căldurile specifice cu ajutorul relațiilor analitice care pornesc de la structura moleculei și de la legăturile între atomi și/sau radicali.

3.2.4 Pierderile de căldură prin radiație și convecție în mediul exterior se vor stabili prin calcule.

3.2.5 Echivalentul lucrului mecanic tehnic dezvoltat de mașinile de forță se va calcula ca produs între debitul de fluid intrat, diferența dintre entalpia acestuia la intrarea și la ieșirea din mașină, randamentul intern al acesteia și randamentul său mecanic. Acest echivalent reprezintă o cantitate „ieșită” din contur.

3.2.6 În cazul proceselor tehnologice complexe, în care echipamentele sunt conectate după o anumită schemă, pentru a forma o instalație, identificarea intrărilor (ieșirilor) responsabile de neînchiderea bilanțului este facilitată de condiția că fiecare intrare trebuie să fie egală cu ieșirea de la echipamentul anterior.

În cazul unor diferențe importante între totalul intrărilor și ieșirilor, se vor examina eventualele omisiuni de reacții exoterme, respectiv endoterme.

În Anexa nr.1 este prezentat un model de bilanț termooenergetic iar în Anexa nr. 2 este prezentat un model de calcul al pierderilor de căldură în unele echipamente termooenergetice frecvent întâlnite în industrie.

3.3 Bilanțul electroenergetic

Bilanțul electroenergetic se elaborează diferențiat pentru următoarele tipuri de echipamente și instalații:

- a. Receptoare electrice;
- b. Elemente de rețea.

Observații:

- a. *Prin receptor electric se înțelege ansamblul echipamentului electric și tehnologic:*
 - i. *acționări electrice - motorul electric de antrenare și instalația antrenată: moară, bandă rulantă, pompă, compresor, mașini unelte;*
 - ii. *procese electrotermice: încălzire electrică cu rezistoare, încălzire cu arc electric, încălzire cu inducție electromagnetică, încălzire cu radiații infraroșii, împreună cu incinta încălzită.*
 - iii. *procese de electroliză.*

b. Prin elemente de rețea se înțeleg: linii electrice, transformatoare, bobine de reactanță, instalații de compensare a factorului de putere, instalații de filtrare – simetrizare etc.

3.3.1 Bilanț electroenergetic pentru receptoare electrice

Bilanțul electroenergetic pe un contur dat presupune:

- a. măsurarea cantităților de energie electrică activă intrate în contur pe perioada de referință;
- b. determinarea prin calcul, pe baza aparatelor de măsurare a puterii, sau a măsurării simultane a curentului, tensiunii și factorului de putere, a pierderilor de energie;
- c. stabilirea cantităților de energie absorbite util, ca diferență a celor două valori precedente.

Observații:

- a. *În majoritatea cazurilor, energia electrică se transformă, în cadrul conturului, într-o formă de energie (mecanică, termică), uneori măsurabilă și ea, alteori nemăsurabilă;*
- b. *Din dispozițiile paragrafului 3.3.1 rezultă că egalitatea între cantitățile intrate în și cele ieșite din contur este totdeauna asigurată;*
- c. *În anumite situații, energia utilă poate fi direct calculată (deci nu ca diferență între energia intrată și suma pierderilor). Exemple: energia de pompare, energia necesară compresiei;*
- d. *Valorile care intervin în bilanț sunt unele măsurate, altele calculate, având fiecare erorile sale specifice de determinare;*
- e. *Este permisă și măsurarea indirectă a energiei prin intermediul mărimilor putere și timp, intervalele de citire fiind de maximum 15 minute;*
- f. *În cazul receptoarelor încărcate simetric (motoare electrice trifazate) este permisă și măsurarea monofazică, după care valoarea măsurată se înmulțește cu numărul de faze;*
- g. *În lipsa aparatelor de măsurare a energiei sau a puterii, este permisă și determinarea ei prin calcul, pe baza măsurărilor simultane de curent, tensiune, factor de putere și timp, intervalele fiind mai mici de 15 minute.*

3.3.2 În cazul în care în conturul considerat funcționează consumatori perturbatori, în calculele de bilanț electric nu este permisă folosirea aparatelor de măsură curenți.

În asemenea cazuri, puterile se vor măsura cu aparate specializate pentru regim deformant. Este permisă și determinarea prin calcul a puterilor fundamentalei și armonicilor, folosind metodele analizei armonice.

3.3.3 Pentru măsurători executate în spații în care sunt prezente câmpuri electromagnetice importante (electroliză, rețeaua scurtă a cuptoarelor electrice cu arc ș.a.) se vor lua măsuri de protejare prin incinte Faraday atât a legăturilor electrice la aparate, cât și a aparatelor propriu-zise.

3.3.4 Indicații privind calculul pierderilor de energie pentru diverse tipuri de receptoare electrice sunt prezentate în Anexa nr.3.

3.3.5 Pentru un grup de motoare electrice, care au funcții tehnologice asemănătoare și puteri apropiate (motoarele dintr-o secție de prelucrări mecanice, motoarele dintr-o schelă de extracție a țiteiului, motoarele dintr-o țesătorie ș.a.), este admisă folosirea noțiunii convenționale de „motor echivalent”. El este motorul fictiv a cărui putere nominală este egală cu suma puterilor nominale ale motoarelor reale pe care le cuprinde, puterea absorbită egală cu suma puterilor absorbite de motoarele individuale reale (care se citește într-un singur punct - la intrarea în contur) și are un grad de încărcare β :

$$\beta = \frac{P_{abs}}{\sum P_{nom}}$$

Cu ajutorul motorului echivalent se determină suma pierderilor în motoarele individuale reale. Ca valori nominale ale randamentului și factorului de putere ale motorului echivalent se consideră valorile randamentului și, respectiv, factorului de putere ale motoarelor majoritare.

3.3.6 Pierderile de energie în motoare electrice, se compun din pierderi electromagnetice și din pierderi mecanice.

Pierderile electromagnetice apar în cuprul și fierul motorului, iar pierderile mecanice apar atât în motorul propriu-zis, cât și în mecanismul antrenat. Întrucât separarea pierderilor mecanice este se realizează cu dificultate, în bilanțuri această separare, în general, nu se mai face. Metoda de determinare a pierderilor depinde de regimul de lucru al motorului.

3.3.7 În cazul proceselor electrotermice și de electroliză, bilanțul electroenergetic se elaborează ținând cont și de procesele termice și chimice desfășurate.

Energia electrică este purtătorul de bază, în timp ce căldura este folosită fie ca auxiliar, fie ca rezultat al transformării energiei electrice. Sub această formă ea generează resurse energetice re folosibile. Pentru aceste procese, energia electrică intrată în contur se va stabili prin măsurători. Deoarece pe parcursul procesului energia se înglobează în produs și/sau în pierderi, energia utilă se va determina prin calcul (termotehnic, termochimic, electrochimic etc.).

3.3.8 Bilanț electroenergetic al elementelor de rețea

3.3.9 Pierderile de energie electrică în liniile electrice se pot determina după caz prin măsurători directe (linii radiale fără sarcini racordate de-a lungul lor), sau prin calcule, în funcție de configurația liniilor și de aparatele de care se dispune. Pierderile de energie electrică în transformatoare, bobine de reactanță etc. se vor determina prin calcule.

Observație:

Pentru o stație de transformare, în bilanțul electroenergetic se ține cont și de consumul de energie electrică activă al serviciilor interne ale stației (instalații de răcire forțată, compresoare de aer etc.). În acest caz, consumul de energie electrică al serviciilor interne, cât și energia electrică intrată/ieșită din contur se vor determina prin măsurători.

În Anexa 4 este prezentat un model de bilanț electroenergetic.

3.4. Bilanțul pe “utilități”

3.4.1 Bilanțul energetic se elaborează pentru următoarele tipuri de „utilități”:

- a. apă de răcire;
- b. agenți frigorifici (distribuiți prin rețea);
- c. aer comprimat;
- d. aer comprimat pentru aparatele de măsură și control;
- e. azot;
- f. oxigen;
- g. abur;
- h. condensat.

Observație:

“Utilitățile” ca resurse energetice sunt semnalate la nivelul echipamentelor, cu ocazia elaborării bilanțului real.

3.4.1 Bilanțul pe apa de răcire va fi un simplu bilanț de masă. “Intrările” sunt constituite din cantitățile de apă refulate de pompe, iar “ieșirile” se vor înregistra la aparatele de consum ale secțiilor productive. Neînchiderea bilanțului semnifică existența unor puncte de pierderi pe traseu și/sau erori de înregistrare la aparate.

Observație:

Circuitul de apă de adaos va fi prevăzut și el cu aparat de măsurare a debitului. Cantitatea de apă de adaos va fi comparată cu pierderea prin evaporare adoptată la proiectarea turnurilor de răcire. În cazul unor diferențe importante, se trage concluzia că din secțiile productive se evacuează apă la canal și se va proceda la identificarea locurilor și cauzelor reale ale pierderilor de apă.

3.4.2 Bilanțul pe agenți frigorifici (apă răcită, sole, amoniac, propan ș.a., care se distribuie prin rețele în cadrul unității) se va elabora pentru fiecare agent în parte; el va cuprinde un bilanț de masă, un bilanț termoeenergetic și un bilanț electroenergetic (pentru cazul producerii cu compresie mecanică a agentului frigorific). Bilanțul electroenergetic se va elabora conform punctului **3.3**.

Bilanțul de masă se va elabora după aceleași principii ca și cel al apei de răcire.

Conținutul bilanțului termoeenergetic este următorul:

- bilanțul pe instalația de producere a frigului în cazul procedurii cu absorbție;
- bilanțul pe rețeaua de distribuție a agentului frigorific.

Bilanțul pentru instalația de producere a frigului se va elabora potrivit dispozițiilor pct. 3.2. Bilanțul pentru rețeaua de distribuție va avea la „intrări” cantitatea de căldură (frig) debitată de instalațiile de producere a frigului, iar la „ieșiri” cantitățile de căldură (frig) primite de către instalațiile tehnologice racordate la ea, precum și pierderile de căldură (frig) către exterior prin pereții rețelei de distribuție. Acestea din urmă se vor stabili prin calcule tehnice.

3.4.3 Bilanțul pe aer comprimat se va elabora pentru aerul „tehnologic” și separat pentru cel de „măsură și reglare”. Se va elabora pentru fiecare instalație de aer comprimat în parte, ca bilanț de masă, respectiv, ca bilanț energetic.

Observație:

Bilanțul pe „aer de măsură și reglare” se elaborează similar cu bilanțul pe aerul comprimat „tehnologic”, însă va cuprinde în conturul său și dispozitivele suplimentare de reținere a prafului și de reducere a conținutului de vapori de apă.

3.4.4 Bilanțul pe azot și oxigen se va elabora după aceeași metodă ca și bilanțul pe aer comprimat pentru unitățile care produc azot și/sau oxigen ca produs principal (gaz inert pentru protecție la executarea sudurilor, pentru crearea de perne protectoare în rezervoare din materiale inflamabile etc.), iar pentru unitățile în care azotul și/sau oxigenul rezultă ca produs secundar (la fabricile de oxigen) numai dacă azotul este folosit.

3.4.5 Bilanțul pe abur va cuprinde în conturul său toată rețeaua de abur. Se va elabora un bilanț de masă și un bilanț termoeenergetic. În bilanțul de masă se vor nota: la „intrări”, cantitățile de abur măsurate în punctele de injecție de la furnizorul extern, ca și cele de la centrala proprie, iar la „ieșiri” vor figura cantitățile măsurate în punctele de livrare către secțiunile productive, către mașinile de forță din centrala proprie, precum și către eventualii consumatori externi.

În bilanțul termoeenergetic vor figura la „intrări” cantitățile de căldură conținute în aburul care intră în conturul rețelei, obținute ca produse între debitul masic și entalpia aburului în punctul respectiv; la „ieșiri” bilanțul va cuprinde, pe de o parte, cantitățile de căldură care se livrează secțiilor productive, mașinilor de forță din centrala proprie și consumatorilor externi, iar pe de altă parte, pierderile de căldură prin pereții conductelor rețelei de abur.

Pierderile de căldură se determină prin calcule tehnice, ținând seama de temperatura fluidului din interiorul conductei, de temperatura ambiantă, de diametrul și de izolația termică a conductei.

Dacă presiunea aburului din rețea variază calculele se vor efectua pentru fiecare presiune în parte. Neînchiderea bilanțului cu diferențe mici semnifică erori comise la stabilirea parametrilor aburului sau/și la calcularea pierderilor de căldură. Neînchiderea la diferențe mai mari semnifică existența în rețea a unor scăpări importante de masă, care trebuie să fi fost semnalate la verificarea bilanțului de masă.

Măsurătorile pe “intrări” și pe “ieșiri” se vor organiza astfel încât citirile să se facă simultan în toate punctele.

3.4.6 Bilanțul pe condensat va cuprinde un bilanț de masă și unul termoeenergetic. Conturul trece prin toate punctele de măsură prin care aburul intră în secțiile productive și prin punctul de măsurare al condensatului colectat în vederea returnării către furnizorul de abur. Neînchiderea bilanțului cu diferențe mici semnifică prezența unor erori în indicațiile aparatelor sau nesimultaneitatea citirilor; neînchiderea la diferențe mari semnifică existența unor puncte de scăpări de abur sau de amestec de abur și materie primă în curs de prelucrare, corespunzător unor particularități ale procesului tehnologic, care trebuie identificate și analizate.

3.5 Bilanț energetic complex

3.5.1 Bilanțul energetic complex se bazează pe datele bilanțurilor termoeenergetic și electroenergetic ale instalației considerate, transformate în valori de energie primară (t.e.p).

4 - ANALIZA BILANȚURILOR ENERGETICE REALE

4.1 Bilanțul energetic real va fi supus unei analize foarte amănunțite pentru a formula concluzii asupra posibilităților de îmbunătățire a proceselor, atât pe linie energetică, cât și pe linie tehnologică.

4.2 Analiza bilanțului energetic real pornește de la informațiile furnizate de:

- a. fluxurile de energie intrate, respectiv ieșite din contur;
- b. diagrama Sankey (prezintă în mod sugestiv bilanțul energetic);
- c. indicatorii de eficiență energetică calculați pentru situația existentă;
- d. experiența specialiștilor în bilanțuri energetice;
- e. nivelul indicatorilor de eficiență energetică realizați în țări dezvoltate (de exemplu, în Uniunea Europeană);
- f. proiecte, brevete etc. legate de echipamente identice sau asemănătoare cu cele examinate;
- g. proprietățile materialelor care condiționează creșterea eficienței energetice ale echipamentelor, respectiv instalațiilor analizate (materiale pentru izolații termice, catalizatori, gaze inerte etc.);
- h. caracteristicile tehnice ale aparatelor de măsură, control, reglare și automatizare (permit o mai bună conducere a proceselor).

4.3 Analiza bilanțurilor energetice trebuie să conducă la: localizarea pierderilor de energie, determinarea cauzelor și clasificarea lor, cât și la stabilirea măsurilor care trebuie aplicate pentru optimizarea indicatorilor tehnico-economici.

De asemenea, analiza trebuie să scoată în evidență toate resursele energetice re folosibile, evidențiindu-le pe categorii și potențiale energetice.

4.4 Pe baza analizei se determină indicatorii de eficiență energetică reali, al căror nivel se compară cu cel rezultat din bilanțurile anterioare, cu cei obținuți în instalații similare din țară și străinătate, cât și cu cei rezultați din bilanțurile de proiect, omologare și recepție.

4.5 Pe baza concluziilor rezultate din analiza bilanțului real se va elabora un plan de măsuri, în care se înscriu toate măsurile tehnice, posibile, de eliminare sau reducere a pierderilor prin: îmbunătățirea proceselor energetice și tehnologice, îmbunătățirea exploatarei, organizarea întregii activități, valorificarea resurselor energetice re folosibile.

4.6 Pentru măsurile de creștere a eficienței energetice, se va determina eficiența economică, care face obiectul bilanțului optimizat.

5 - APRECIEREA EFICIENȚEI ENERGETICE A PROCESELOR CONSUMATOARE DE ENERGIE

5.1 Pentru aprecierea din punct de vedere calitativ și cantitativ a unui proces sau a unei instalații, se vor folosi indicatori de eficiență, care pot fi stabiliți pe baza datelor determinate prin bilanțurile energetice.

5.2 Cei mai importanți indicatori de eficiență energetică sunt:

5.2.1 Pentru procesele de transformare energetică

- a. *Randamentul energetic brut*, η_b , definit ca raport dintre suma energiilor utile, livrate în exterior și a celor consumate de serviciile auxiliare ale instalației de transformare și suma energiilor folosite în proces.

$$\eta_b = \frac{\sum E_u + \sum E_{sa}}{\sum E_i + \sum E_{sa}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{unde:}$$

- $\sum E_u$ suma tuturor energiilor utile livrate în exteriorul procesului.
- $\sum E_{sa}$ suma energiilor consumate de serviciile auxiliare
- $\sum E_i$ suma energiilor intrate în proces

- b. *Randamentul energetic net*, η_n , definit ca raport dintre suma energiilor utile, rezultate din procesul de transformare, livrate în exteriorul procesului și suma energiilor intrate în proces:

$$\eta_n = \frac{\sum E_u}{\sum E_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

- c. *Consum specific brut de energie*, $c_{bX/Y}$, de forma X pentru producerea de energie de forma Y, se definește prin relația:

$$c_{bX/Y} = \frac{\sum E_{Xi} + \sum E_{Ysa}}{\sum E_{Yi}} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{unde:}$$

- $\sum E_{Xi}$ suma energiilor de forma X intrate în proces
- $\sum E_{Yi}$ suma energiilor de forma Y livrate în exterior
- $\sum E_{Ysa}$ suma energiilor de forma Y consumate de serviciile auxiliare ale instalației de transformare.

- d. *Consum specific net de energie*, $c_{nX/Y}$, de forma X pentru producerea de energie de forma Y și este definit de relația:

$$c_{nX/Y} = \frac{\sum E_{Xi}}{\sum E_{Yi}} \cdot 100 \quad [\%]$$

5.2.2 Pentru procesele de consum final de energie

- a. *Consumul specific de combustibil* pentru realizarea unei unități din produsul Z ($c_{c/Z}$), definit ca raport între suma cantităților de combustibil și gaze calde primite din afara procesului și consumate în cadrul procesului pentru realizarea unui volum V_Z de producție a produsului considerat, este dat de relația:

$$c_{c/Z} = \frac{\sum B_i}{V_Z} \quad [\text{tep/u.p}] \quad \text{unde:}$$

- $\sum B_i$ suma cantităților de combustibil și gaze calde intrate în contur [t.e.p];
 - V_Z volumul producției din produsul Z, exprimat în unitate de produs [u.p].
- b. *Consumul specific de energie termică* pentru realizarea unei unități din produsul Z ($c_{t/Z}$), definit ca raport între suma cantităților de căldură primite din afara procesului și consumate în cadrul procesului pentru realizarea unui volum V_Z de producție a produsului considerat, este dat de relația:

$$c_{t/Z} = \frac{\sum Q_i}{V_Z} \quad [\text{J/u.p}] \quad \text{unde:}$$

- $\sum Q_i$ energie termică intrată în contur din exteriorul acestuia [J];
- c. *Consumul specific de energie electrică* pentru realizarea unei unități din produsul Z, ($c_{e/Z}$), definit ca raportul dintre suma cantităților de energie electrică primite din afara procesului și consumate în cadrul procesului pentru realizarea unui volum V_Z de producție a produsului considerat, este dat de relația:

$$c_{e/Z} = \frac{\sum W_i}{V_Z} \quad [\text{kWh/u.p}] \quad \text{unde:}$$

- $\sum W_i$ energie electrică intrată în contur din exteriorul acestuia [kWh];
- d. *Consumul specific complex de energie* pentru realizarea unei unități din produsul Z ($c_{\text{complex}/Z}$), se definește cu relația:

$$c_{complex / Z} = \frac{\sum E_i}{V_Z} \quad [\text{t.e.p/u.p}] \quad \text{unde:}$$

- $\sum E_i$ suma energiilor electrice, termice, a combustibililor și gazelor calde intrate în proces din exteriorul acestuia [t.e.p].

e. *Gradul de recuperare a resurselor energetice refolosibile* în contur sau în afara acestuia (i_{RER}), se definește ca raport între energia care este recuperată și totalul resurselor energetice refolosibile disponibile:

$$i_{RER} = \frac{\sum E_{rec}}{\sum E_{RER}} \cdot 100 \quad [\%]$$

f. *Ponderea consumului de energie electrică* în consumul total de energie pentru realizarea unei unități de produs Z [$p_{e/z}$], se definește prin relația:

$$p_{e / Z} = \frac{\sum W_i}{\sum E_i} \cdot 100 \quad [\%]$$

g. *Valoarea costurilor energetice* pentru realizarea unei unități de produs Z ($v_{en/z}$), se definește prin relația:

$$v_{en / Z} = \frac{\sum C_{en}}{V_Z} \quad [\text{lei/u.p}] \quad \text{unde:}$$

- $\sum C_{en}$ cheltuielile totale cu energia pentru realizarea unui volum V_Z de producție a produsului considerat [lei]

h. *Ponderea costurilor energetice* în costul total al unității de produs al produsului Z, ($p_{C_{en}}$), se definește prin relația:

$$p_{C_{en}} = \frac{v_{en / Z}}{c_Z} \cdot 100 \quad [\%] \quad \text{unde:}$$

- c_Z costul total al unității de produs Z [lei/u.p]

5.3 Exprimarea eficienței energetice a procesului se face la fazele de: bilanț de proiect, bilanț de omologare, bilanț de recepție, bilanț real și bilanț optimizat.

5.4. Pentru a face posibilă compararea între procesele care fabrică același produs, folosind tehnologii diferite sau, deși au aceeași tehnologie folosesc forme de energie în proporții diferite, indicatorii de eficiență se vor calcula pe total energie după ce s-au făcut transformările necesare în **t.e.p.**

Factorii de echivalență între unitățile de măsură ale energiei sunt prezentați în Anexa nr. 5.

6- ELABORAREA BILANȚULUI ENERGETIC OPTIMIZAT

6.1 Bilanțul optim reprezintă situația în care energia folosită în mod util în proces, cât și pierderile de energie, vor fi reduse până la limita minimă justificată din punct de vedere tehnico- economic.

6.2 Scăderea semnificativă a energiei utile (și implicit a energiei intrate) se obține prin schimbarea tehnologiei existente cu una modernă.

În cazul în care schimbarea tehnologiei existente nu se justifică din punct de vedere economic, bilanțul optimizat va scoate în evidență diminuarea pierderilor de energie (la tehnologia existentă).

6.3 La baza elaborării bilanțului optim stă analiza bilanțului real. Această analiză trebuie să fie foarte amănunțită, pentru a se putea trage concluzii asupra posibilităților de îmbunătățire a proceselor, atât pe linie energetică, cât și pe linie tehnologică; de aceea, la analiza bilanțului energetic trebuie să participe atât specialiști energeticieni, cât și specialiști tehnologi.

6.4 Analiza bilanțului energetic real trebuie să conducă la localizarea pierderilor, determinarea cauzelor lor, cât și la măsurile care trebuie aplicate pentru ameliorarea și optimizarea indicatorilor tehnico-economici.

În cadrul acestei analize, toate datele de bilanț trebuie comparate cu cele din bilanțurile anterioare, cu datele de proiect, cât și cu alte date de la agenți economici similari sau din literatura de specialitate.

Analiza trebuie, de asemenea, să scoată în evidență toate resursele energetice refolosibile, evidențiindu-le pe categorii și potențiale.

6.5 Pe baza concluziilor rezultate din analiza bilanțului real se elaborează auditul energetic care include un plan de măsuri, în care se vor trece toate măsurile tehnice necesare, atât pe linie energetică, cât și pe linie tehnologică, în vederea eliminării sau reducerii într-o măsură cât mai mare a pierderilor de energie și valorificării resurselor energetice refolosibile.

6.6 Planul de măsuri întocmit va fi prezentat astfel:

<i>Nr. crt.</i>	<i>Denumirea măsurii</i>	<i>Economii estimate</i>		<i>Costuri de investiție [Euro]</i>	<i>Durată de recuperare [ani]</i>
		<i>[t.e.p./an]</i>	<i>[Euro/an]</i>		
<i>1.</i>					
<i>2.</i>					
<i>...</i>					
<i>n</i>					

Măsurile care prezintă eficiență economică se clasifică, în funcție de nivelul investiției, în următoarele categorii :

- măsuri fără investiții (no cost – low cost);
- măsuri cu investiții modice (cu perioadă simplă de recuperare mai mică de 5 ani);
- măsuri cu investiții mari (schimbări tehnologice), care, de regulă, au perioadă simplă de recuperare a investiției .

7. EVALUAREA EFICIENȚEI ECONOMICE ȘI A IMPACTULUI ASUPRA MEDIULUI

7.1 Evaluarea eficienței economice

Rolul auditului energetic este cuantificarea costurilor pentru economia de energie respectiv investițiile necesare pentru implementarea măsurilor de economisire.

Indicatorul economic de decizie privind ierarhizarea unor variante concurente este determinat de *Perioada Simplă de Recuperare (PSR)* care reprezintă timpul, în ani, în care costurile de investiții se recuperează din valoarea economiilor la costurile de funcționare.

$$PSR = \frac{I}{R} \quad \text{în care:}$$

I Investițiile suplimentare necesare pentru implementarea măsurii de economisire considerând că lucrările de realizare a investițiilor se realizează într-un singur an;

R Valoarea economiilor la costurile de funcționare (considerate egale în fiecare an);

PSR are avantajul de a fi ușor de calculat și datorită faptului că de regulă factorii de decizie sunt interesați de acele investiții care se recuperează foarte repede, această metodă este relativ des folosită.

Este recomandabil însă ca pentru investițiile cu perioadă mai lungă de recuperare acest indicator să fie utilizat împreună cu alte instrumente de decizie. El singur poate conduce la alegerea unor variante mai puțin profitabile, dar care prezintă recuperări inițiale cu valoare mare pe o perioadă redusă în detrimentul unor variante de investiții mult mai avantajoase care asigură profituri mari pentru perioade lungi de timp.

Pentru a crește precizia indicatorilor financiari de decizie este necesar să se cunoască costurile pe ciclul de viață. Analizele de costuri pe durata ciclului de viață evaluează toate costurile (nu numai costurile inițiale) și iau în considerație valoarea în timp a banilor. Acest tip de evaluare este utilizat pentru ierarhizarea variantelor concurente în cadrul proiectelor.

Durata ciclului de viață pentru diferite echipamente, instalații și clădiri este dată în tabele din literatura de specialitate.

Pentru compararea variantelor de utilizare a energiei este necesară convertirea tuturor fluxurilor financiare ale fiecărei variante pe baze echivalente. Analizele de costuri pe durata ciclului de viață țin cont de faptul că un leu deținut astăzi este mult mai valoros ca unul obținut cândva în viitor. Din acest motiv este necesar ca principiul să fie aplicat oricărui flux de bani care ies sau intră în bugetul agenților economici.

Indicatorul financiar de decizie care are în vedere și variația valorii banilor în timp este *Venitul Net Actualizat (VNA)*. Indicatorul reprezintă valoarea rămasă după ce au fost recuperate costurile de investiții din valoarea economiilor de funcționare în valori actualizate la momentul inițial.

Indicatorul se calculează pentru fiecare variantă în parte și se alege cea variantă care prezintă cea mai mare valoare a VNA.

VNA se calculează cu următoarea formulă:

$$VNA = -I + P \quad \text{în care:}$$

P reprezintă valoarea actuală (în prezent) care poate fi plătită prin plăți anuale egale R cu o rată anuală de actualizare de i procente în decurs de n ani și se calculează astfel:

$$P = R * F \quad \text{în care:}$$

F Factorul de actualizare se calculează astfel:

$$F = \frac{i * (1+i)^n - 1}{i * (1+i)^n} \quad \text{în care:}$$

i rata anuală de actualizare

n numărul de ani (ciclul de viață)

Valorile factorului de actualizare sunt determinate prin programe simple de calculator și sunt prezentate în literatura de specialitate sub formă tabelară funcție de numărul de ani ai ciclului de viață n și de rata de actualizare i .

În situația în care durata de realizare a investiției este mai mare de un an și deci și economiile anuale nu sunt egale pe toată durata ciclului de viață, VNA se calculează prin actualizarea anuală a tuturor fluxurilor monetare (investiții, costuri, venituri, profit) în fiecare an și însumarea valorilor anuale. Se crează astfel un tabel care indică fluxurile monetare pe toată perioada analizată compusă din durata de realizare și durata ciclului de viață al obiectului investiției așa numitul “cash flow”. Factorul de actualizare anuală va avea următoarea expresie:

$$F = \frac{1}{(1+i)^t} \quad \text{în care:}$$

t anul de calcul

În Anexa nr.6 este prevăzut un exemplu de analiză economică a unor variante de investiții.

Rata Internă de Recuperare (RIR) este un indicator financiar de decizie pe baza căruia se pot realiza comparații pertinente ale variantelor analizate, se calculează prin interpolare și reprezintă valoarea pentru care VNA devine egală cu zero. RIR reprezintă rata de actualizare minimă i pentru care investiția se recuperează strict în perioada analizată.

7.2 Evaluarea impactului asupra mediului

7.2.1 Noțiuni teoretice generale:

Principalele emisii de poluanți evacuate la coșurile de fum ale cazanelor de abur și apă caldă sunt *emisiile de SO₂ și NO_x* (cu efecte synergice la scară regională), *emisiile de pulberi – cenușă zburătoare* (cu efecte la scară locală) și *emisiile de CO₂* (cu efecte la scară globală).

Determinarea corectă a emisiilor de poluanți se realizează pe baza măsurărilor efectuate cu aparatură specializată. În situația în care nu se dispune de această aparatură, pentru postevaluări pe diferite perioade de timp, inclusiv pentru întocmirea inventarelor și a rapoartelor statistice, pentru verificări ale încadrării în norme, precum și pentru elaborarea unor prognoze, evaluarea emisiilor se face conform *“Metodologiei de evaluare operativă a emisiilor de SO₂, NO_x, pulberi (cenușă zburătoare) și CO₂ din centralele termice și termoelectrice”*, indicativ **PE – 1001/1994**. Metodologia poate fi aplicată și de alte unități interesate care nu dispun de metodologii proprii, fiind în concordanță cu cea folosită în prezent în țările Uniunii Europene. Metoda se bazează pe utilizarea factorilor de emisie.

Cantitatea de poluant evacuat în atmosferă se determină cu relații de forma:

$$E = B * Q_i * \varepsilon \quad \text{unde:}$$

- E cantitatea de poluant evacuat în atmosferă, într-o perioadă de timp [kg]
- B cantitatea de combustibil consumată în perioada respectivă [kg]
- Q_i puterea calorifică inferioară a combustibilului [kJ/kg]
- ε factorul de emisie [kg/kJ]

Factorul de emisie reprezintă cantitatea de poluant evacuat în atmosferă, raportată la unitatea de căldură introdusă cu combustibilul în cazan.

În cazul utilizării mai multor tipuri de combustibil, cantitatea de poluant se determină prin însumarea cantităților calculate pentru fiecare dintre aceștia.

7.2.2 Modelele de calcul pentru factorii de emisie pentru fiecare poluant, sunt următoarele:

a. Poluant SO₂

$$\varepsilon_{SO_2} = \frac{\frac{m_{SO_2}}{m_s} * X * \frac{S}{100}}{Q_i} \cdot (1 - r) \quad \text{unde:}$$

- ε_{SO_2} factorul de emisie pentru SO₂ [kg/kJ];
- m_{SO_2} masa moleculară pentru SO₂; $m_{SO_2} = 64$

- m_s masa moleculară a sulfului; $m_s = 32$
- S conținutul de sulf al combustibilului (sulful combustibil), determinat ca valoare medie, pe baza analizei chimice elementare pe loturi și exprimat în procente de masă (%)

Observație:

La calculele de prognoză se recomandă folosirea următoarelor valori pentru concentrațiile de sulf în combustibil (S %):

- lignit 1,15
- huile mixte și șlam (inclusiv din import) 2,15
- păcură din țară: 1
- păcură din import 3
- r gradul de reținere a sulfului în zgură și cenușă

Valori recomandate pentru r :

- lignit: 0,2
- uilă: 0,05
- păcură și gaze: 0

b. Poluant NO_x

Factorii de emisie pentru acest poluant sunt prezentați în tabelul următor:

Combustibilul	ϵ_{NO_x}		
	Puterea termică a cazanului* [MW _t]		
	50 - 100	100 - 300	>300
	g/GJ	g/GJ	g/GJ
Lignit	200	220	260
Huilă	380	420	450
Păcură	190	210	280
Gaze naturale	130	150	170

*Se determină prin produsul dintre debitul de combustibil introdus în cazan (kg/s sau Nm³/s) și puterea calorică inferioară a combustibilului (MJ/kg sau MJ/ Nm³)

Observație:

Valorile prezentate în tabelul anterior corespund pentru o sarcină a cazanului de 100%. În cazul funcționării cazanului la sarcini parțiale se utilizează următoarea corecție:

$$\epsilon_x^{NO_x} = \epsilon_{100}^{NO_x} * [a + (1-a) * \frac{L-50}{50}] \quad \text{unde:}$$

- $\epsilon_x^{NO_x}$ factorul de emisie la sarcina x %

- $\varepsilon_{100}^{NO_x}$ factorul de emisie la sarcina de 100%
- L sarcina cazanului, cuprinsă între 50% și 100%
- a coeficient în funcție de tipul combustibilului, având următoarele valori:
 - Cărbune pulverizat: 0,85
 - Păcură: 0,75
 - Gaze naturale: 0,5

c. Poluant pulberi (cenușă zburătoare):

$$\varepsilon_p = \frac{A * (1 - X) * (1 - Y)}{Q_i} \quad \text{unde:}$$

- ε_p factorul de emisie pentru pulberi [kg/kJ];
- A conținutul de cenușă în cărbune [%]
- X gradul de reținere a cenușii în focar, în procente de masă [%]
- Y eficiența (randamentul) instalației de reținere a cenușii zburătoare (electrofiltru, filtru mecanic) [%]

Observație:

În postcalcul, se vor folosi valori medii efectiv rezultate din exploatare pentru elementele care intră în formulă.

La calcule de prognoză se recomandă utilizarea următoarelor valori:

- Lignit $A=40\%$
- Huilă din țară $A=30\%$
- Huilă din import $A=20\%$
- $X=15\%$
- $Y=97 - 99 \%$

Emisia de particule la arderea păcurii se neglijează dar pentru calcule riguroase se poate considera $A = 0,1\%$, care se evacuează integral la coș.

d. Poluant CO₂:

Factorii de emisie pentru CO₂ sunt cei adoptați în prezent în țările Comunității Economice Europene și sunt prezentați în tabelul următor:

Combustibil	ε_{CO_2} [g/GJ]
Cărbune	98000
Păcură	72000
Gaze naturale	50000

Observație:

Valorile din tabelul anterior pot fi folosite în calculele de prognoză. Pentru calcule mai exacte se utilizează formula următoare:

$$\varepsilon_{CO_2} = \frac{\frac{m_{CO_2}}{m_C} * X * \frac{C}{100}}{Q_i} \quad \text{unde:}$$

- ε_{CO_2} factorul de emisie pentru CO₂ [kg/kJ];
- m_{CO_2} masa moleculară pentru CO₂ $m_{CO_2} = 44$
- m_C masa moleculară a carbonului $m_C = 12$
- C conținutul de carbon al combustibilului, exprimat în procente de masă (%)

7.2.3. Verificarea încadrării în norme

Concentrația poluantului în gazele evacuate se calculează astfel:

$$c = \frac{E_h * 10^6}{D} \quad \text{unde:}$$

- c concentrația poluantului în gazele evacuate [mg/Nm³];
- E_h cantitatea de poluant evacuată în atmosferă [kg/h];
- D debitul de gaze de ardere evacuate, rezultat din calculul arderii [Nm³/h];

Valoarea lui c astfel obținută se compară cu valoarea de referință din legislația în vigoare. La calcule de prognoză c poate fi determinat astfel:

$$c = \frac{\varepsilon}{F_v} \quad \text{unde:}$$

- ε - factorul de emisie [mg/GJ];
- F_v - factorul de volum, definit ca raportul dintre volumul de gaze de ardere rezultate și cantitatea de căldură aferentă combustibilului introdus în cazan [Nm³/GJ]

F_v poate avea următoarele valori:

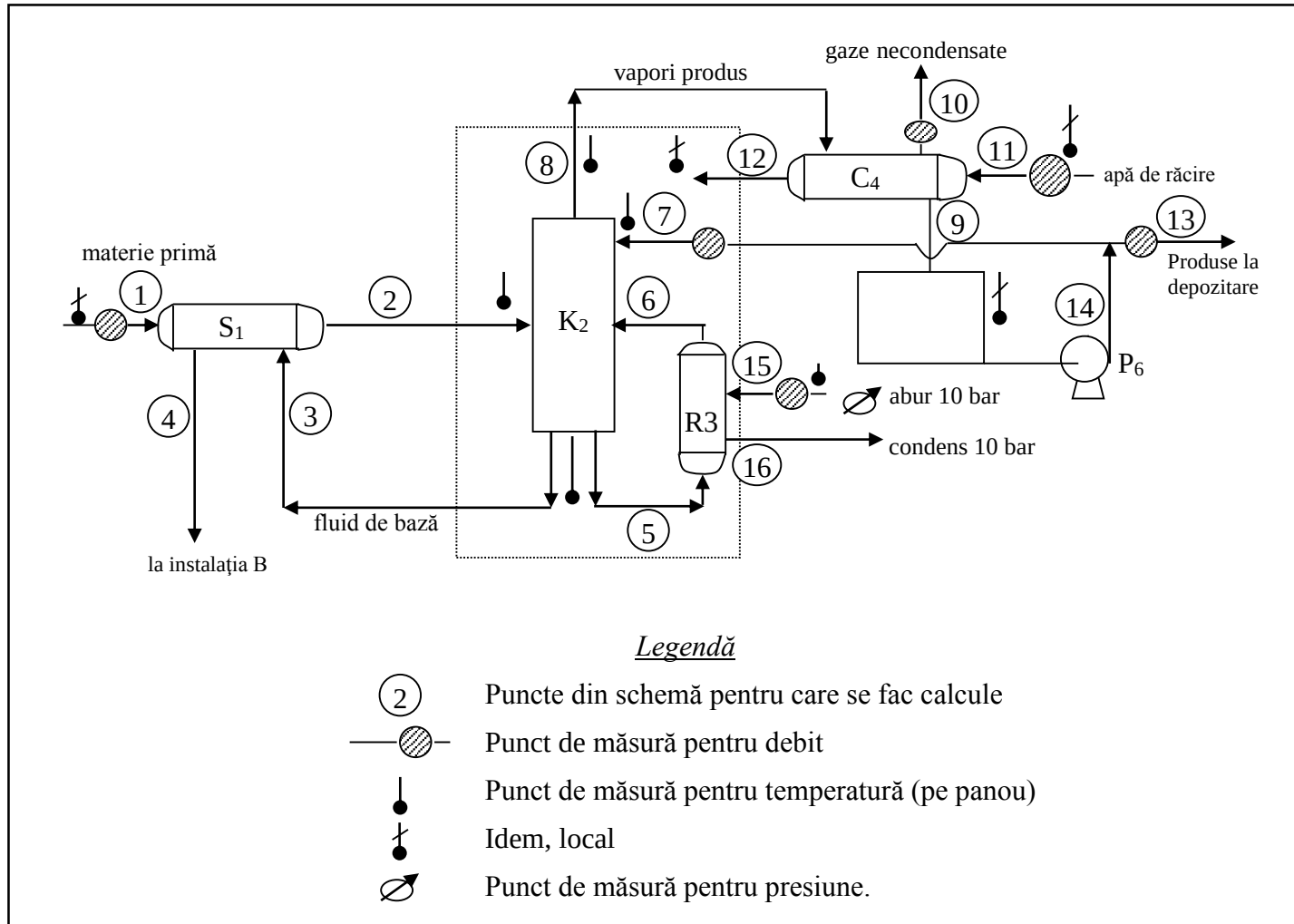
- lignit: 480
- ulei: 380
- păcură: 290
- gaze naturale: 320

În Anexa nr.7 este prezentat un exemplu de calcul pentru determinarea emisiilor la un cazan de abur.

Anexele nr.1-7 fac parte integrantă din prezentul Ghid.

Model de bilanț termoeenergetic

Schema bloc a instalației A



Bilanțurile pe echipamentele instalației A
Preîncălzitorul S₁

INTRĂRI					IEȘIRI				
Materie primă	D ₁	T ₁	H ₁	Q ₁	Materie primă	D ₁	T ₂	H ₂	Q ₂
Fluid de bază	D ₄	T ₃	H ₃	Q ₃	Fluid de bază	D ₄	T ₄	H ₄	Q ₄
					Pierderi radiație	PS ₁			
Total intrare				QIS ₁	Total ieșire				QES ₁

Coloana K₂

Materie primă	D ₁	T ₂	H ₂	Q ₂	Fluid de bază	D ₄	T ₃	H ₃	Q ₃
Reflux	D ₇	T ₉	H ₉	Q ₇	Vapori produs	D ₈	T ₈	H ₈	Q ₈
Abur 10 bar	D ₁₅	T ₁₅	H ₁₅	Q ₁₅	Condens 10 bar	D ₁₅	T ₁₆	H ₁₆	Q ₁₆
					Pierderi radiație	PK ₂			
Total intrare				QIK ₂	Total ieșire				QEK ₂

Notă:

a. D₈ se măsoară, dar se deduce din bilanțul de masă $D_8 = D_7 + D_{10} + D_{13}$;

b. D₄ nu se măsoară, dar rezultă din bilanțul de masă $D_4 = D_1 + D_7 - D_8$;

c. T₁₆ temperatura de saturație la presiunea $p = P_{15}$;

d. H₁₆ entalpia lichidului la presiunea $p = P_{15}$;

e. D₅ și D₆ neputându-se măsura, reținerătorul R₃
a fost inclus în conturul colonei K₂;

f. Se verifică dacă pe coloană este satisfăcut
bilanțul de masă:

$$D_1 + D_7 + D_{15} = D_4 + D_8 + D_{16}$$

Condensatorul C₄

Vapori produs	D ₈	T ₈	H ₈	Q ₈	Faza lichidă	D ₉	T ₉	H ₉	Q ₉
Apa de răcire	D ₁₁	T ₁₁	H ₁₁	Q ₁₁	Faza gazoasă	D ₁₀	T ₉	H ₁₀	Q ₁₀
					Apa de răcire	D ₁₁	T ₁₂	H ₁₂	Q ₁₂
					Pierderi radiație	PC ₄			
Total intrare				QIC ₄	Total ieșire				QEC ₄

Notă:

a. T temperatura (°C)

H entalpie (kJ/kg);

b. Q debit de căldură (flux termic) (kJ/h)

D debit (kg/h).

Bilanțul real pe instalația A

INTRĂRI

[kJ/h]

- | | |
|--|-----------|
| 1. Căldura introdusă cu materia primă | Q_1 |
| 2. Căldura introdusă cu aburul | Q_{15} |
| 3. Căldura introdusă cu apa de răcire | Q_{11} |
| 4. Echivalentul energiei electrice absorbite | QW_{14} |

Total intrări QI

IEȘIRI

[kJ/h]

- | | |
|--|------------|
| 1. Căldura evacuată cu fluidul de bază la instalația B | Q_4 |
| 2. Căldura evacuată cu produsul la depozit | Q_{13} |
| 3. Căldura evacuată cu gazele necondensabile | Q_{10} |
| 4. Căldura evacuată cu condensatul | Q_{16} |
| 5. Căldura evacuată cu apa de răcire | Q_{12} |
| 6. Echivalentul energiei electrice utile | QUW_{14} |
| 7. Echivalentul pierderilor de energie electrică | QPW_{14} |
| 8. Pierderi prin radiație (PS1 + PK2 + PC4) | PI |

Total ieșiri QE

Eroarea bilanț $e = \frac{QE - QI}{QI} \cdot 100$

Randamentul convențional de transformare energetică:

$$\eta_e = \frac{Q_{13} + QUW_{14}}{QI} \cdot 100$$

Notă:

În cazul în care condensatul se returnează furnizorului, căldura evacuată cu condensatul este „utilă” și se va include la numărător, în expresia randamentului.

Data(ora, ziua, luna, anul)

Organizarea notării datelor

<u>Temperaturi citite</u>	<u>Simbol</u>	[°C]
1. Intrări materie primă în S1	T ₁	
2. Ieșire materie primă din S1	T ₂	
3. Intrare fluid de bază în S1	T ₃	
4. Ieșire fluid de bază din S1	T ₄	
5. Vârf de coloană	T ₈	
6. Reflux coloană	T ₉	
etc.		

<u>Debite citite</u>	<u>Simbol</u>	[m ³ /h]
1. Materie primă	D ₁	
2. Reflux coloană	D ₇	
3. Gaze necondensate	D ₁₀	
4. Apa de racire	D ₁₁	
5. Produs la depozit	D ₁₃	
etc.		

<u>Greutăți specifice</u>	<u>Simbol</u>	[kg/m ³]
1. Materie primă	R ₁	
2. Reflux coloană	R ₇	
3. Gaze necondensate	R ₁₀	

Notă:

Indicii corespund cu punctele numerotate pe schema bloc a instalației

Unele măsuri de creștere a eficienței energetice a proceselor tehnologice

În principiu, se examinează fiecare ieșire din contur, ca :

- debit;
- nivel de temperatură;
- conținut de căldură;
- proprietăți fizico-chimice importante (toxicitate, corozivitate, conținut de suspensii s.a.), care limitează valorificarea resursei potențiale reprezentată de ieșirea respectivă.

În același timp resursa menționată se compară cu procese utilizatoare posibile din cadrul aceleiași instalații în care se generează resursa, sau din cadrul altor instalații din aceeași unitate sau chiar din cadrul altor unități din apropiere .

Referitor la procesul tehnologic se analizează următoarele:

- gazele necondensate (pct. 10);
- condensatul de 10 bar (pct. 16);
- fluidul de bază (pct. 4).

Utilizatorii prezumtivi ar putea fi:

- a. gazele necondensate să fie folosite drept combustibil într-un generator de abur de 10 bar, de care procesul are nevoie la reîncălzitorul R_3 ;
- b. condensatul de 10 bar să se destindă la 2,5 bar; aburul de 2,5 bar este necesar în instalația vecină (B), iar condensatul de 2,5 bar se va verifica dacă poate preîncălzi suplimentar alimentarea coloanei K_2 , într-un preîncălzitor S_1' , plasat între S_1 și K_2 ; fluidul de bază evacuat din S_1 ar putea preîncălzi apa de alimentare pentru generatorul de abur preconizat, sau apa pentru necesități igienico-sanitare din unitate.

Se fac calculele tehnico-economice estimative privind dimensiunile echipamentelor noi preconizate și se stabilesc (tot estimativ) cantitățile de căldură recuperabile. Calculele conchid de exemplu, că :

- a. gazele pot fi arse într-un generator de abur, fără a apela la un combustibil suport (deși gazele conțin balast, arderea este stabilă) , însă nu se poate produce abur de 10 bar, ci de 2,5 bar;
- b. preîncălzirea suplimentară a alimentării coloanei K_2 este posibilă și eficientă;
- c. fluidul de bază, la ieșirea din S_1 , nu se recomandă să fie răcit mai profund decât în prezent, deoarece conține componente care congelează.

În consecință, se rețin ca fezabile unele din măsurile examinate, și se evidențiază câștigul energetic după cum urmează:

- a. căldura recuperabilă de la gazele necondensate, care, după considerarea unui randament de generare a aburului este Q_g [MJ/h];
- b. căldura aburului de 2,5 bar obținut prin destinderea condensatului de 10 bar Q_v [MJ/h];
- c. căldura ce urmează, să fie cedată în preîncălzitorul de materie primă S_1 Q_p [MJ/h].

Se determină valoarea economiilor nete de energie ținând cont și de cheltuielile anuale de exploatare și întreținere ale instalațiilor preconizate a se realiza.

Se evaluează cheltuielile de investiție, I , pentru fiecare lucrare. Se calculează durata aproximativă de recuperare a investiției pe seama economiilor nete de energie.

Observație:

Căldura aburului Q_v , obținut prin destinderea condensatului de 10 bar ca și căldura care se va transfera în preîncălzitorul suplimentar propus, Q_p , care devin cantități "utile" , iar căldura pierdută cu condensatul Q_{16} se diminuează corespunzător.

Bilanțul termoeenergetic optimizat pe instalația A

<u>INTRĂRI</u>	[kJ/h]
1. Căldura introdusă cu materia primă	Q_1
2. Căldura introdusă cu aburul	Q_{15}
3. Căldura introdusă cu apa de răcire	Q_{11}
4. Echivalentul energiei electrice absorbite	QW_{14}
5. Căldura introdusă cu gazele combustibile necondensate în cazanul de abur	Q_g
6. Căldura introdusă cu apa de alimentare a generatorului de abur	Q_a
<i>Total intrări $QI' = QI + Q_g + Q_a$</i>	
<u>IEȘIRI</u>	[kJ/h]
1. Căldura evacuată cu fluidul de bază	Q_4
2. Căldura evacuată cu produsul la depozit	Q_{13}
3. Căldura evacuată cu gazele de ardere	$(1 - \eta_c) \cdot Q_g$
4. Căldura evacuată cu condensatul	$Q_{16} - Q_v$
5. Căldura evacuată cu apa de răcire	Q_{12}
6. Căldura evacuată cu aburul produs	Q_{ab}
7. Echivalentul energiei electrice utile (inclusiv noile pompe)	QUW_{14}'
8. Pierderi prin radiație (inclusiv S_1' și generatorul de abur)	PI'
9. Echivalentul pierderilor de energie electrică (inclusiv noile pompe)	QW_{14}'
<i>Total ieșiri QE</i>	

Randamentul convențional de transformare energetică :

$$\eta = \frac{(Q_{13} + QUW_{14}' + Q_{ab} + \eta_c \cdot Q_g) \cdot 100}{QI + Q_g + Q_a}$$

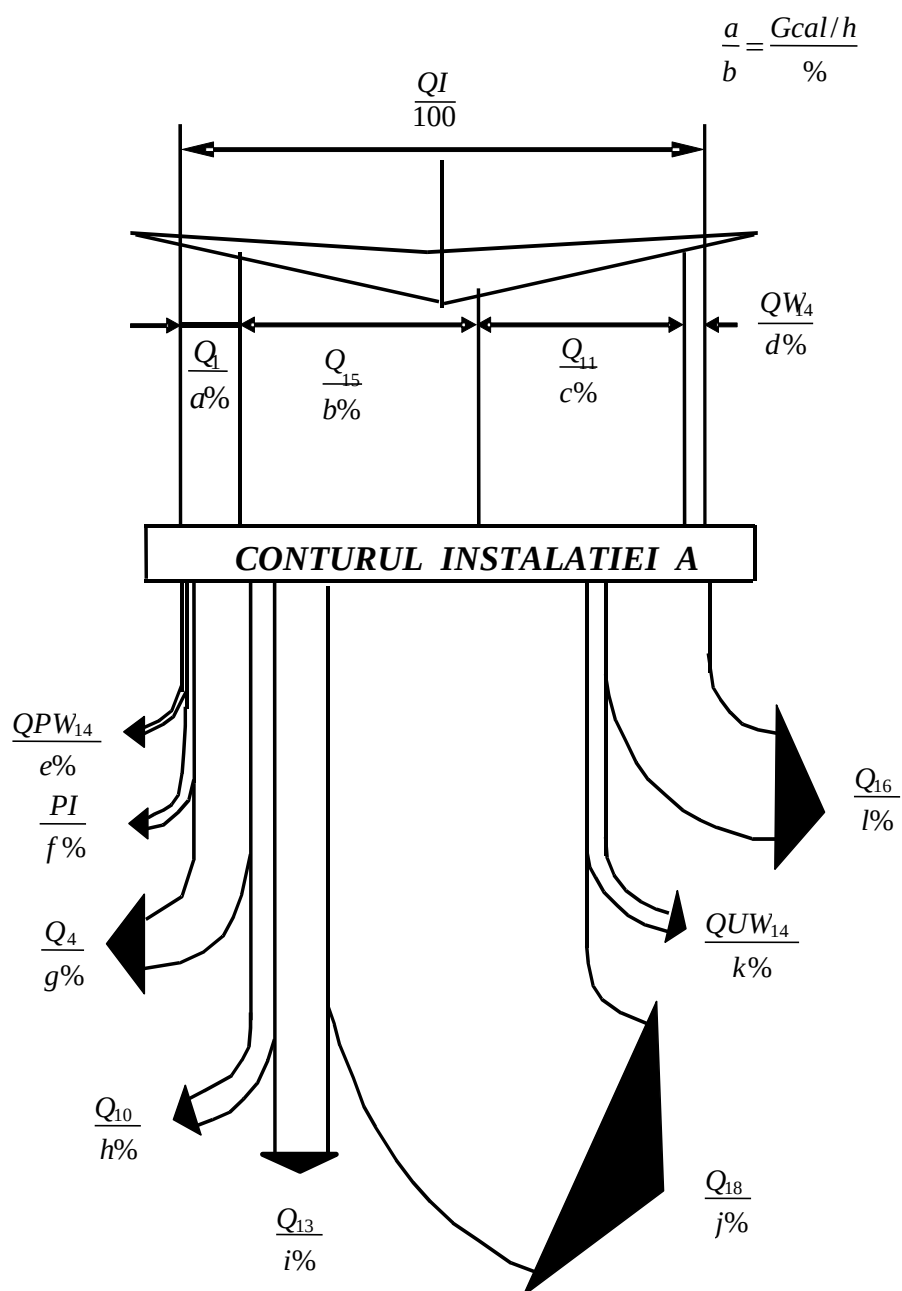
Eroarea de bilanț:

$$e = \frac{QE' - QI'}{QI'}$$

Notă:

În cazul în care se returnează furnizorului, căldura evacuată cu condensatul este „utilă” și se va include la numărător în expresia randamentului.

Diagrama Sankey



Calculul pierderilor de căldură în unele echipamente termoenergetice frecvent întâlnite în industrie

2.1 Pierderile de căldură cu gazele de ardere

2.1.1 Combustibili solizi

Se consideră cunoscută compoziția elementară a combustibilului:

Elementul	C	H	S	N	A	W	O
Părți de greutate	a	b	c	d	e	f	g

unde: $a + b + c + d + e + f + g = 1,0$

De asemenea, se cunoaște analiza gazelor de ardere după ultima suprafață de schimb de căldură din conturul de bilanț al echipamentului.

$$\text{CO}_2 + \text{SO}_2 + \text{CO} + \text{N}_2 + \text{O}_2 + \text{N}_2 = 100 \quad [\% \text{ procente de volum}]$$

Excesul de aer “e” se va determina prin calcul.

Volumele de gaze de ardere elementare, în $[\text{m}^3\text{N/kg combustibil}]$, se determină cu următoarele relații:

– Volumul de gaze de ardere uscate:

$$V_{\text{gau}} = V_{\text{CO}_2} + V_{\text{SO}_2} + V_{\text{CO}} + V_{\text{N}_2} + V_{\text{O}_2}$$

$$V_{\text{gau}} = 1,867 \cdot \frac{a + 0,375 \cdot c'}{RO_2 + CO} \cdot 100 \quad \text{unde:}$$

c' – sulful combustibil din sulful total c ;

$$RO_2 = \text{CO}_2 + \text{SO}_2$$

$$V_{\text{O}_2} = \frac{O_2}{100} \cdot V_{\text{gau}}$$

$$V_{\text{N}_2} = \frac{N_2}{100} \cdot V_{\text{gau}}$$

$$V_{\text{CO}} = \frac{CO}{100} \cdot V_{\text{gau}}$$

$$V_{\text{CO}_2} = 1,867 \cdot a - V_{\text{CO}}$$

$$V_{\text{SO}_2} = 0,7 \cdot c'$$

$$V_{\text{HO}_2} = 11,2 \cdot a + 1,24 \cdot f + 0,00161 \cdot x \cdot \frac{V_{\text{N}_2} - 0,8 \cdot d}{0,79} \quad \text{unde:}$$

x – este umiditatea absolută a aerului în [g/kg aer uscat];

– Volumul de gaze de ardere:

$$V_{ga} = V_{gau} + V_{HO_2}$$

La elaborarea bilanțurilor de proiect se consideră că arderea este completă. La bilanțurile de omologare, de recepție sau reale, prezența oxidului de carbon în gazele de ardere se va stabili prin analiza acestora.

Observații:

a. *La elaborarea bilanțurilor energetice oxidul de carbon se va considera în mod diferențiat:*

- La cazanele energetice, prezența oxidului de carbon reprezintă o funcționare defectuoasă a instalațiilor de ardere.
- În alte cazuri, oxidul de carbon reprezintă un element necesar procesului tehnologic (la cuptoarele din metalurgie, care necesită o atmosferă reducătoare); în asemenea cazuri, procentul de CO se va compara cu cel impus prin normativele interne de fabricație.
- Uneori oxidul de carbon reprezintă obiectivul procesului tehnologic (la gazeificarea cărbunilor).
- Într-o serie de procese rezultă ca un produs al disocierii termice care se petrece în echipament (cupatoare rotative în industria cimentului, cupatoare înalte în siderurgie).

b. *In cazurile care se încadrează în categoriile de mai sus, calculul se va adapta corespunzător normelor interne de specialitate.*

- *Excesul de aer “ε”, pentru bilanțurile reale, de omologare și de recepție, se determină pe baza analizei gazelor de ardere.*
- Pentru arderea completă:

$$\varepsilon = \frac{N_2}{N_2 - 3,7619 \cdot O_2}$$

unde:

O₂ – este determinat prin analiză (% de volum), iar N₂ se determină cu ajutorul relației:

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2$$

unde:

RO₂ = CO₂ + SO₂, este compus din elemente determinate prin analiză [% volum].

- Pentru arderea incompletă:

$$\varepsilon = \frac{N_2}{N_2 - 3,7619 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO)},$$

unde:

O₂ și CO au fost stabiliți prin analiză [% volum];

$$RO_2 = CO_2 + SO_2$$

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2 - CO$$

Pentru bilanțurile de proiect valorile lui “ε” se adoptă conform datelor din literatura de specialitate.

- *Entalpia gazelor de ardere evacuate pentru 1kg de combustibil ars* se calculează cu relația:

$$I_{ev} = V_{ga} c_{ga} t_{ev} + e \cdot \frac{a_{ev}}{100} \cdot c_c \cdot t_{ev} \quad [\text{kJ/kg combustibil}] \quad \text{unde:}$$

c_{ga} – căldura specifică medie, la presiune constantă, a gazelor de ardere la temperatura t_{ev} ;

$$c_{ga} = \frac{c_{CO_2} \cdot V_{CO_2} + c_{SO_2} \cdot V_{SO_2} + c_{CO} \cdot V_{CO} + c_{N_2} \cdot V_{N_2} + c_{O_2} \cdot V_{O_2} + c_{HO_2} \cdot V_{HO_2}}{V_{ga}}$$

t_{ev} – temperatura gazelor de evacuare din ultima suprafață de schimb de căldură a echipamentului [°C];

c_c – căldura specifică a cenușii, care se va calcula cu relația:

$$c_c = 0,84 + 0,17 \cdot t_{ev}/1000 \quad [\text{kJ/kg K}]$$

a_{ev} – cota parte de cenușă (% greutate din total), evacuată cu gazele de ardere conform Tabelului 2.1.

În relația de mai sus “e” reprezintă conținutul de cenușă al combustibilului conform analizei elementare.

- *Debitul de combustibil* care generează gazele de ardere este:

$$B_c = \frac{100 - q_4}{100} \cdot B, \quad [\text{kg/h}] \quad \text{unde:}$$

B – reprezintă debitul orar de combustibil introdus în focar (cuptor) [kg/h];

q_4 – pierderile nearse de natură mecanică [% greutate], care la rândul lor au trei componente:

- q_{4zg} – pierderi prin particulele combustibile cuprinse în zgură;
 - $q_{4căz}$ – pierderi prin particule combustibile căzute prin grătar;
 - q_{4ev} – pierderi prin particule combustibile antrenate de gazele evacuate din echipament (cuptor, cazan).
- *Pierderile prin zgură se calculează cu relația:*

$$q_{4zg} = \frac{a_{zg} \cdot C_{zg} \cdot e \cdot 33907}{(100 - C_{zg}) \cdot H_i}, \quad [\%]$$

$$q_{4caz} = \frac{a_{caz} \cdot C_{caz} \cdot e \cdot 33907}{(100 - C_{caz}) \cdot H_i} \quad [\%]$$

$$q_{4ev} = \frac{a_{ev} \cdot C_{ev} \cdot e \cdot 33907}{(100 - C_{ev}) \cdot H_i} \quad [\%]$$

Valorile “*a*” reprezintă părți din cenușa aferentă cantităților de zgură, căzute prin grătar sau evacuate cu gazele de ardere ($a_{zg} + a_{căz} + a_{ev} = 100$) și se regăsesc în *Tabelul 2.1*.

Tabelul 2.1

<i>Tipul focarului</i>	<i>Felul combustibilului</i>	<i>a_{zg} [%]</i>	<i>a_{căz} [%]</i>	<i>a_{ev} [%]</i>
Pentru cărbune pulverizat	huile, ligniți, șisturi	15 – 35	-	85 - 65
Turn	cu conținut mic de cenușă	50	-	50
Cu evacuare hidraulică a zgurei	cărbuni cu conținut mare de cenușă	60	-	40
Cu grătar lanț sau în trepte	cărbuni sortați	4 – 8	76 – 72	20
Idem	cărbune mărunț	15	55 – 65	30 - 20

Valorile *C_{zg}*, *C_{căz}*, *C_{ev}* reprezintă conținutul de materii combustibile din zgură, respectiv din particulele căzute prin grătar sau evacuate cu gazele de ardere, în % greutate. Ele sunt prezentate în *Tabelul 2.2*.

Tabelul 2.2

<i>Tipul focarului</i>	<i>Felul combustibilului</i>	<i>C_{zg} [%]</i>	<i>C_{căz} [%]</i>	<i>C_{ev} [%]</i>
Pentru cărbune pulverizat	huile	1	-	25 – 0,5 V _c
Turn	ligniți, șisturi,	0,5; 1	-	1; 3
Turn	ligniți, șisturi	0,5; 3	-	2,5; 2
Cu grătar lanț	huile necoxificabile; ligniți	20; 21	9; 9	30; 20
Cu grătar înclinat	ligniți	15	10	15 – 20

V_c reprezintă conținutul de materii volatile raportat la starea combustibilă.

Valoarea H_i din relațiile de mai sus reprezintă puterea calorifică inferioară a combustibilului. Ea se va determina în laborator, cu bomba calorimetrică. În lipsa acesteia, puterea calorifică inferioară se va calcula cu relația lui Mendeleev:

$$H_i = 33907 C + 102976 H - 10884 (O - S_v) - 2512 (9 H + W) \quad [\text{kJ/kg combustibil}]$$

unde C, H, O, S_v, W sunt părțile de greutate din analiza elementară.

Componenta S_v cuprinde numai sulful combustibil (organic și mineral).

- *Cantitatea orară de căldură evacuată prin entalpia gazelor de ardere se determină cu relația:*

$$Q_{ga} = B_c \cdot I_{ev} \quad [\text{kJ/h}]$$

În acele cazuri în care din echipament se evacuează atât gazele de ardere, cât și gaze rezultate din reacții chimice, volumul componentelor respective va fi majorat corespunzător.

– Volumul orar de gaze de ardere evacuat se calculează cu relația:

$$V_{ga}^h = B_c (V_{CO_2} + V_{SO_2} + V_{CO} + V_{N_2} + V_{O_2} + V_{H_2O}) + P (V_{g1} + V_{g2} + \dots + V_{gn}) \quad [m^3/h]$$

unde:

P – este producția fizică orară a echipamentului [t/h, m^3/h etc.];

V_{gi} – volumul de gaze de reacție din componenta i ($i = CO_2, CO, H_2O$ etc.), generat de o unitate de producție fizică orară [m^3N/t ; m^3N/m^3 etc].

- Cantitatea de căldură evacuată cu gazele de ardere ca rezultat al arderii chimice incomplete este dată de relația:

$$Q_{ard.incompl.ch} = V_{CO} \cdot 12636 \quad [kJ/kg \text{ combustibil}]$$

Pierderile procentuale prin ardere chimică incompletă sunt:

$$q_3 = Q_{ard.incompl.ch} \cdot \frac{100}{H_i} \quad [\%]$$

– Cantitatea orară de căldură evacuată cu gazele de ardere ca rezultat al arderii chimice incomplete se determină cu relația:

$$Q_{ard.incompl.ch}^h = B_c \cdot V_{CO} \cdot 12636 \quad [kJ/h]$$

2.1.2 Combustibili lichizi

Se consideră dată compoziția elementară a combustibilului:

Elementul	C	H	S	N	A	W	O
Părți de greutate	a	b	c	d	e	f	g

unde: $a + b + c + d + e + f + g = 1,0$

Se consideră excesul de aer “ ε ”, în punctul în care gazele de ardere părăsesc ultima suprafață de schimb de căldură din conturul echipamentului. Excesul de aer se va determina prin calcul.

$$\varepsilon = \frac{N_2}{N_2 - 3,7619 \cdot (O_2 - 0,5 \cdot CO - 2 \cdot CH_4 - 0,5 \cdot H_2)}$$

unde:

$$N_2 = 100 - RO_2 - O_2 - CO - CH_4 - H_2;$$

$$RO_2 = CO_2 + SO_2;$$

Componentele RO_2 , O_2 , CO , CH_4 , H_2 fiind determinate, pentru bilanțurile de omologare, de recepție și real, prin analiza gazelor de ardere, în % de volum. Pentru bilanțul de proiect se va adopta pentru ε o valoare cuprinsă între 1,15 și 1,20.

Volumul de gaze de ardere elementare, în m³N/kg combustibil, se determină ținând cont de arderea incompletă chimic datorită prezenței CO, CH₄ și H₂.

Entalpia gazelor de ardere se calculează cu relația de la combustibili solizi neglijând ultimul termen, care se referă la cenușă. În volumele de gaze elementare se vor cuprinde și gazele de reacție dacă acestea există.

Cantitatea de căldură evacuată cu gazele de ardere, ca rezultat al arderii chimice incomplete, se va calcula cu relația:

$$Q_{\text{ard.incompl.chim.}} = V_{\text{CO}} \cdot 12636 + V_{\text{CH}_4} \cdot 35774 + V_{\text{H}_2} \cdot 10784 \quad [\text{kJ/kg combustibil}].$$

Puterea calorifică H_i, pentru combustibil lichid, se va determina cu ajutorul bombei calorimetrice.

Pierderile de căldură cu gazele de ardere, ca rezultat al arderii chimice incomplete, se vor calcula cu relațiile de la combustibili solizi care sunt aplicabile la elaborarea bilanțurilor de omologare, de recepție și reale.

2.1.3 Combustibili gazoși

Se consideră dată compoziția elementară a combustibilului:

Elementul	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆ + C ₂ H ₄	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	peste C ₅	H ₂	CO	CO ₂	H ₂ S	(H ₂ O) _{va}
Părți de volum	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l

unde: $a + b + c + d + e + f + g + h + i + j + k + l = 1,00$

Se consideră cunoscută analiza gazelor de ardere, după ultima suprafață de schimb de căldură din conturul echipamentului. La elaborarea bilanțurilor de omologare, de recepție și reale, excesul de aer “e” se va determina prin calcul. Pentru bilanțul de proiect se va adopta pentru e o valoare cuprinsă între 1,1 și 1,15.

Volumul de gaze de ardere elementare, în m³N/m³N combustibil, se determină cu relațiile care țin cont de analiza elementară a combustibililor și analiza gazelor de ardere.

Se va constata dacă este cazul să se ia în considerație și gazele rezultate din reacții chimice.

Cantitatea de căldură evacuată cu gazele de ardere se calculează cu relația de la combustibili solizi și se exprimă în kJ/m³N gaz combustibil. Termenul referitor la cenușă se ignoră.

Puterea calorifică a combustibilului gazos se va determina prin metode calorimetrice. În lipsa posibilităților de acest fel, se va folosi relația lui Mendeleev (pornind de la analiza elementară).

$$H_i = 35703 \mathbf{b} + 61476 \mathbf{c} + 91013 \mathbf{d} + 118385 \mathbf{e} + 145750 (\mathbf{f} + \mathbf{g}) + 10741 \mathbf{h} + 12636 \mathbf{i} + 23371 \mathbf{k}$$

2.2 Pierderile de căldură în mediul înconjurător prin radiația și convecția pereților

Calculul pierderilor de căldură prin pereți se execută diferit pentru regimul continuu sau discontinuu de utilizare a echipamentului sau instalației. În cazul regimului discontinuu, în practică predomină regimul ciclic, cu răcire completă a instalației (până la temperatura mediului ambiant) sau cu răcire incompletă, reluarea procesului făcându-se de la temperatura atinsă la finele perioadei de răcire. Pentru funcționarea continuă a instalației, transmisia căldurii din interior, prin pereți, spre mediul ambiant are loc în regim termic stabilizat.

Pierderile de căldură prin pereți se determină astfel:

- se împarte întreaga suprafață a instalației în zone caracteristice (boltă, pereți laterali, vatră), iar acestea în elemente de suprafață de egală temperatură;
- se determină pierderea de căldură pe fiecare element;
- se însumează pierderile de căldură a tuturor elementelor.

Relația de calcul utilizată în cazul cunoașterii temperaturii exterioare a unui element de perete este următoarea:

$$Q_{rc} = \alpha_e \cdot (T_p - T_a) \cdot S \cdot \tau \quad [J] \quad \text{unde:}$$

$$\alpha_e = \alpha_c + \alpha_r - \text{coeficientul total de transfer de căldură} \quad [W/m^2K];$$

$$\alpha_c = \text{coeficient de transfer de căldură prin convecție} \quad [W/m^2K];$$

$$\alpha_r = \text{coeficient de transfer de căldură prin radiație} \quad [W/m^2K];$$

$$T_p - \text{temperatura medie a suprafeței exterioare a elementului de perete considerat} \quad [K];$$

$$T_a - \text{temperatura aerului ambiant, măsurată dincolo de limitele de influență a instalației calde} \quad [K];$$

$$S - \text{suprafața elementului considerat} \quad [m^2];$$

$$\tau - \text{durata pentru care se execută bilanțul} \quad [s].$$

$$\alpha_c = m \cdot 4 \sqrt[4]{T_p - T_a} \quad \text{unde:}$$

m este coeficientul care depinde de poziția peretelui:

m = 2,55 pentru perete vertical;

m = 3,25 pentru perete orizontal cu suprafața exterioară dirijată în sus;

m = 1,625 pentru perete orizontal cu suprafața exterioară dirijată în jos.

$$\alpha_r = \frac{C}{T_p - T_a} \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_a}{100} \right)^4 \right] \quad \text{unde:}$$

C = coeficientul de radiație de la suprafața exterioară spre
mediul ambiant

[W/m²K⁴].

Pentru funcționarea discontinuă, pierderile de căldură prin pereți se compun din pierderile în perioada de încălzire și pierderile din perioada de regim termic stabilizat. În perioada încălzirii, are loc un proces de acumulare a căldurii în materialele din care sunt construiți pereții și o transmitere a căldurii către mediul ambiant, pe măsură ce temperatura pereților crește în mod progresiv, până la atingerea regimului termic stabilizat.

Căldura acumulată, Q_{ac} , se determină prin însumarea căldurilor acumulate de volumele de perete corespunzătoare elementelor de suprafață, de egală temperatură, în care au fost împărțiți pereții.

Pentru un element “j” de suprafață, compus din mai multe straturi de materiale diferite:

$$Q_{acj} = \sum_s v_{js} \cdot \rho_s \cdot (c_{sf} \cdot T_{med}^f - c_{si} \cdot T_{med}^i) \quad [J] \quad \text{unde:}$$

v_{js} – volumul materialului din stratul s, corespunzător elementului j [m³];

ρ_s – densitatea materialului din stratul s [kg/m³];

T_{med}^f, T_{med}^i – temperatura medie a stratului la sfârșitul, respectiv

începutul perioadei de încălzire [K];

c_{sf}, c_{si} – căldura specifică medie la T_{med}^f , respectiv T_{med}^i

a materialului din stratul s [J/kg K]

Pierderile prin radiație și convecție ale pereților în perioada de încălzire se determină cu suficientă exactitate, împărțind durata totală a perioadei de încălzire în intervale de timp astfel alese, încât pe fiecare interval să aibă loc o creștere a temperaturii cu 20 – 33% din diferențele dintre temperatura finală și inițială a suprafeței exterioare a elementului din perete. Căldura pierdută pe întreaga perioadă de încălzire se obține prin însumarea căldurilor pierdute pe toate intervalele luate în considerație.

2.3 Pierderi de căldură prin izolația termică a conductelor și rezervoarelor

Ele se stabilesc prin calcul pornind de la temperatura medie a fluidului din interior, de la temperatura medie exterioară și de la caracteristicile termice și geometrice ale izolației utilizate, conform relațiilor de calcul din literatura de specialitate. La elaborarea bilanțurilor energetice de

omologare, de recepție și reale, temperaturile necesare calculelor se vor stabili prin măsurători; la bilanțul de proiect, aceste temperaturi se adoptă, iar apoi se verifică prin calcule iterative.

Valoarea de referință cu care se vor compara pierderile stabilite prin calcul va fi cea optimă, corespunzătoare grosimii optime a izolației termice, stabilită prin compararea între costul pierderilor de căldură prin izolație — pe o durată de viață de 5 ani pentru instalațiile în aer liber și de 10 ani pentru instalațiile amplasate în interior — și costul (de reînnoire) a izolației termice. În calculele de optimizare temperatura mediului ambiant se va considera, la exterior, cea medie anuală precizată prin standardele în vigoare, pentru localitatea în care se află obiectivul, iar în interiorul construcțiilor se va admite 20°C.

Pentru rețele și conducte termice (aeriane sau în canale), fără derivații între punctul termic sau centrala termică și punctul de consum, sau derivații obturate, pierderea procentuală de căldură prin izolații se stabilește cu relația:

$$p = \left(1 - \frac{t_2 - t_3}{t_1 - t_4}\right) 100 \quad [\%] \quad \text{unde:}$$

t_1, t_4 - sunt temperaturile de tur, și respectiv, retur la punctul termic sau centrală termică;

t_2, t_3 - sunt temperaturile de intrare și respectiv, de ieșire la punctul consum;

2.4 Pierderile de căldură prin vatra cuptoarelor

În cazul cuptoarelor cu vatră așezată direct pe fundație (pe vatră aflându-se fie topitură, fie material solid în curs de tratare), pierderile prin vatră se vor calcula astfel:

- se calculează suprafața exterioară a zidăriei echipamentului, exclusiv vatra: S_e [m²];
- se calculează suprafața interioară a echipamentului, exclusiv vatra: S_i [m²];
- se calculează suprafața medie:

$$S = \sqrt{S_i \cdot S_e}, \quad [\text{m}^2]$$

- se calculează pierderile prin pereți q_{rc} în procente din căldura introdusă în spațiul de lucru:

$$Q_p = q_{rc} B H_i / S \cdot 100 \quad [\text{kJ/m}^2\text{h}]$$

- Pierderile prin vatră Q_v , a cărei suprafață este F_v , vor fi:

$$Q_v = 0,75 Q_p F_v \quad [\text{kJ/h}]$$

Observație:

La cuptoarele așezate pe picioare vatra va fi tratată ca și un perete lateral.

2.5 Pierderile de căldură cauzate de radiațiile prin gurile de încărcare - descărcare

Pierderile de căldură datorită radiațiilor prin gurile de încărcare - descărcare, ca și prin alte orificii se vor calcula cu relația Stefan – Boltzmann:

$$Q_d = 4,96 \cdot S \cdot \varphi \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot 4,186 \quad [\text{kJ/h}] \quad \text{unde:}$$

S - suprafața orificiului $[\text{m}^2]$;

φ - coeficientul de diafragmare care are valorile prezentate în *Tabelul 2.3*;

T_1 - temperatura absolută din interiorul echipamentului $[\text{K}]$;

T_2 - temperatura absolută a mediului ambiant $[\text{K}]$.

Se poate adopta valoarea medie $T_2 = 298 \text{ K}$.

La calcularea pierderilor prin gurile de încărcare - descărcare și prin alte orificii, în cazul în care bilanțul se referă la tona de oțel (și, implicit, la șarjă) se va ține seama de raportul dintre timpul cât acestea sunt deschise și timpul de elaborare a șarjei.

Tabelul 2.3

Grosimea peretelui [mm]	Lățimea orificiului [mm]	Înălțimea orificiului [mm]				
		150	250	450	600	750
15	150	0,55	0,63	0,66	0,68	0,69
	300	0,63	0,70	0,73	0,76	0,78
	600	0,68	0,76	0,80	0,82	0,84
	900	0,71	0,79	0,83	0,85	0,87
	1200	0,72	0,81	0,85	0,87	0,89
	1500	0,73	0,82	0,86	0,89	0,91
30	150	0,43	0,49	0,52	0,55	0,56
	300	0,49	0,56	0,60	0,63	0,64
	600	0,55	0,63	0,67	0,70	0,72
	900	0,57	0,66	0,70	0,73	0,75
	1200	0,59	0,68	0,72	0,76	0,78
	1500	0,61	0,68	0,74	0,77	0,79
45	150	0,36	0,42	0,44	0,47	0,49
	300	0,42	0,48	0,52	0,55	0,57
	600	0,47	0,55	0,59	0,62	0,64
	900	0,50	0,58	0,63	0,66	0,69
	1200	0,52	0,60	0,65	0,68	0,71
	1500	0,53	0,61	0,66	0,70	0,72

60	150	0,31	0,36	0,39	0,42	0,43
	300	0,36	0,43	0,46	0,49	0,51
	600	0,42	0,49	0,53	0,56	0,58
	900	0,45	0,52	0,57	0,60	0,62
	1200	0,47	0,55	0,59	0,63	0,65
	1500	0,48	0,56	0,61	0,64	0,67

2.6 Pierderile de căldură cauzate de răbufnirea produselor de ardere

Pierderile de căldură datorită răbufnirii produselor de ardere prin orificiile de lucru, prin interstiții etc., se vor calcula cu relația:

$$Q_r = V_0 H_0 \quad [\text{kJ/h}] \quad \text{unde:}$$

V_0 - volumul de produse care răbufnesc, redus la condițiile normale [$\text{m}^3\text{N/h}$];

Acest volum se ia egal cu 4% până la 20% din volumul orar de gaze generat de echipament și anume:

- 4% se va adopta pentru o atmosferă închisă (doar cu interstițiile din jurul electrozilor, cu interstiții firești la uși etc.);
- 8% se va adopta pentru o atmosferă închisă relativ (interstițiile menționate anterior, plus închiderea-deschiderea cu grijă a orificiilor de lucru pentru luarea de probe, măsurători de temperatură, controlul vizual al zidăriei ș.a.);
- 20% pentru o atmosferă nesatisfăcător închisă (capace permanent deschise sau lipsă, pe lângă interstițiile menționate anterior, plus o folosire fără precauție a acestora).

Valoarea H_0 reprezintă entalpia gazelor din interiorul echipamentului la temperatura de regim a acestuia [$\text{kJ/ m}^3\text{N}$].

În ceea ce privește volumul V_0 , acesta se determină prin calcul, cunoscând materialul introdus în echipament și reacțiile chimice care au loc.

2.7 Pierderile de căldură prin apa de răcire

La cuptoarele ai căror pereți laterali, capac sau schelet metalic, uși, sau bobine inductoare, sunt răcite cu apă, cantitatea de căldură pierdută cu apa de răcire se va calcula cu relația:

$$Q_a = D \cdot (t_e - t_i) \cdot c \quad [\text{kJ/h}]$$

unde:

- D - debitul de apă [kg/h]
 t_e și t_i - temperatura apei la ieșirea, respectiv, la intrarea în sistemul de răcire al echipamentului [°C];
 c – căldura specifică a apei [J/kgK].

2.8 Pierderi de căldură prin materialele evacuate

Pierderile de căldură prin materialele evacuate (de exemplu, zgura) se consideră ca atare numai în cazul în care acestea se răcesc cu un agent care se evacuează inutil: zgura, în industria siderurgică precum și în cea energetică se răcește cu apă, care merge la canal. Aceeași căldură este recuperată util în cazul în care zgura se folosește la fabricarea de vată minerală în imediata apropiere a furnalului, fără a mai fi răcită. În mod asemănător, se consideră căldura conținută în piesele calde rezultate din procesul de laminare a metalelor, în clincher ș.a.

Model de calcul al pierderilor de energie electrică pentru receptoarele și instalațiile curent folosite în industrie

Între receptoarele și instalațiile curent folosite în industrie, în cadrul prezentului model de calcul s-au cuprins liniile electrice, transformatoarele, bobinele de reactanță trifazate și motoarele electrice.

1. Determinarea pierderilor de energie electrică în liniile electrice

Pierderile de energie electrică în liniile electrice de curent alternativ trifazat se pot determina, după caz, prin măsurări directe sau prin calcule, în funcție de configurația liniilor și de aparatele de măsurat de care se dispune.

1.1 Măsurarea directă cu ajutorul contoarelor trifazate de energie activă montate la ambele capete ale liniei se poate face numai în cazul liniilor radiale (fără ramificații), fără sarcini racordate de-a lungul lor, și numai dacă atât contoarele cât și transformatoarele de măsură folosite au erori cât mai mici, egale și de același sens, la 10%, 50% și 100% din sarcină, la $\cos \varphi = 0,8$ și $\cos \varphi = 1$. Transformatoarele de măsură trebuie să fie cel puțin de clasă 0,5. **Metoda nu este indicată în cazul liniilor cu perioade lungi de mers în gol.**

În cazul unei linii în care energia electrică circulă într-un singur sens, pierderile ΔE_L pe un timp τ sunt date de relația:

$$\Delta E_L = \Delta E_1 - \Delta E_2 \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

ΔE_1 și ΔE_2 sunt diferențele dintre indicațiile, la începutul și sfârșitul perioadei τ , ale contorului din capătul amonte al liniei, respectiv al contorului din capătul aval, în kWh.

În cazul unei linii în care energia circulă în ambele sensuri, trebuie montate câte două contoare la fiecare capăt al liniei, din care unul cu blocaj pentru unul din sensurile de circulație a energiei. În acest caz, pierderile pe un timp τ sunt date de relația:

$$\Delta E_L = \Delta E'_1 - \Delta E'_2 + \Delta E''_1 - \Delta E''_2 \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

$\Delta E'_1$ și $\Delta E''_2$ sunt diferențele între indicațiile, la începutul și sfârșitul perioadei τ ale contorului din capătul amonte al liniei, de la cele două capete ale liniei, care înregistrează energia care circulă dinspre capătul 1 spre capătul 2;

$\Delta E''_1$ și $\Delta E'_2$ sunt diferențele între indicațiile, la începutul și sfârșitul perioadei τ ale ale
contoarelor care înregistrează energia care circulă dinspre capătul 2 spre
capătul 1.

1.2 Determinarea prin măsurări și calcule:

$$\Delta E_L = 3 \cdot k_f \cdot I_m^2 \cdot R_L \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

k_f este coeficientul de formă al funcției $I = f(t)$ și reprezintă variația în timp a
curentului din linie I , definit cu relația:

$$k_f = \frac{I_{mp}}{I_m}$$

Se realizează prin măsurători într-un interval de 24h (o zi) alegându-se în acest scop,
o zi reprezentativă;

I_m este valoarea medie a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei:

$$I_m = \frac{\sum_{i=1}^n I_i}{n} \quad [\text{kA}]$$

I_{mp} valoarea medie pătratică a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei:

$$I_{mp} = \frac{\sum_{i=1}^n I_i^2}{n} \quad [\text{kA}]$$

n numărul de intervale egale (minim 24, pentru 24h) la care se face citirea curentului;

I_i valoarea curentului, măsurată la mijlocul intervalului i , în capătul alimentat al liniei
[kA];

R_L rezistența echivalentă, pe fază, a liniei, care se determină [Ω];

τ_f timpul de funcționare a liniei [h]

1.3 Determinarea rezistenței echivalente, pe fază, a unei linii electrice de curent alternativ trifazat R_{eL} [Ω]:

1.3.1 În cazul unei linii radiale (fără ramificații) și fără sarcini racordate de-a lungul ei,
rezistența se determină cu relația:

$$R_{eL} = R_m \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\theta_{L \max} - \theta_{Lm}) \cdot \frac{I_{mp}^2}{I_{\max}^2} + \alpha \cdot (\theta_{aer} - \theta_{am}) \right] \quad [\Omega] \quad \text{în care:}$$

R_m rezistența electrică a liniei, calculată la temperatura conductorului:

θ_{Lm} [°C] și a aerului θ_{am} [°C];

α coeficient de temperatură al rezistenței, în [°C]⁻¹, care are valorile:

- $\alpha = 0,004$ pentru conductoare din cupru, aluminiu și oțel – aluminiu;

- $\alpha = 0,006$ pentru conductoare din oțel;

θ_{Lmax} temperatura maximă admisă a conductorului [°C];

θ_{Lm} temperatura conductoarelor în momentul măsurării lui R_m [°C];

θ_{aer} temperatura medie a aerului în timpul exploatării [°C];

θ_{am} temperatura aerului în momentul măsurării lui R_m [°C];

I_{mp} intensitatea medie pătratică a curentului în linie [A];

I_{max} intensitatea maximă admisibilă a conductoarelor [A].

Rezistența R_m se poate determina după cum urmează:

7. cu linia scoasă de sub tensiune, cu ajutorul unei punți Wheastone;

8. cu linia în funcțiune, prin măsurarea simultană a puterii active la cele două capete, cu wattmetre trifazate de laborator și a intensității curentului cu un ampermetru de laborator la capătul din amonte al liniei, R_m fiind dată de relația:

$$R_m = \frac{P_1 - P_2}{3I^2} * 10^{-3} \quad [\Omega] \quad \text{în care:}$$

P_1, P_2 sunt puterile măsurate simultan la capătul din amonte,

respectiv la cel din aval [kW]

I intensitatea curentului, la capătul din amonte al liniei,

măsurată simultan cu P_1 și P_2 [A];

9. Prin calcul, cunoscându-se elementele constructive ale liniei;

- secțiune s [mm²],

- lungimea l [m],

- rezistivitatea ρ [mm²/m] a materialului conductoarelor, la temperatura θ_{Lm}

$$R_m = \rho \frac{l}{s} \quad [\Omega]$$

1.3.2 În cazul unei linii cu derivații sau cu sarcini racordate de-a lungul ei, rezistența echivalentă R_{eL} a ansamblului liniei și a derivațiilor rezultă din formula:

$$R_{eL} = \frac{1}{3} \cdot \left[\sum_{i=1}^n I_{mi}^2 \cdot \frac{I_{mi}^2}{I_{\max L}^2} R_{i20} + \frac{I_{mL}^2}{I_{\max L}^2} \cdot \sum_{i=1}^n k_{fi} \cdot R_{i20} \cdot \frac{I_{mi}^2}{I_{\max i}^2} \right] \quad [\Omega] \quad \text{în care:}$$

$I_{\max L}$ este intensitatea maximă admisibilă (din condițiile de încălzire) a conductorului

de la capătul din amonte al liniei [A];

I_{mL} intensitatea medie curentului la capătul din amonte al liniei i [A];

I_{mi} intensitatea medie a curentului în ramura i a rețelei [A];

$I_{\max i}$ intensitatea maximă admisibilă a conductoarelor ramurii i a rețelei [A];

R_{i20} rezistența ramurii i a rețelei, la 20 °C [Ω];

n numărul de ramuri ale rețelei, ramura fiind porțiunea de rețea, dintre:

- două derivații, sau
- între două sarcini racordate sau
- între o derivație și o sarcină racordată, sau
- între capătul din amonte și prima derivație sau sarcină racordată;

k_{fi} factorul de formă al curbei curentului ramurii i a rețelei.

Observații:

Rezistența electrică R_{i20} , se calculează cum s-a arătat anterior, cunoscând valoarea rezistivității ρ , corespunzător temperaturii de 20 °C.

Întrucât formula prevăzută la punctul 1.3.2 este laborioasă, se utilizează următoarele relații aproximative, pentru situații mai des întâlnite în practică:

10. pentru o linie radială cu conductoare din același material și cu secțiune constantă cu m sarcini concentrate de-a lungul său, fără derivații:

$$R_{eL} = \frac{1}{6} \cdot r \cdot l \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right) \cdot \left(2 + \frac{1}{m}\right) \quad \text{unde:}$$

r este rezistența de fază în [Ω/km], a conductorului linie;

L lungimea totală a liniei, în [km];

m numărul de puncte de consum.

11. pentru o linie radială, cu sarcini concentrate de-a lungul său, fără derivații, linia fiind construită din porțiuni cu rezistențe kilometrice r diferite, se aplică relația precedentă pentru fiecare porțiune având un r constant și se adună apoi rezultatele.
12. pentru o linie cu ramificații,

$$R_{eL} = R_{La} \cdot \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n R_i \cdot \beta_i}{R_{La} \cdot \left(\sum_{i=1}^n \beta_i \right)^2} \right] \quad [\Omega] \quad \text{în care:}$$

R_{La} rezistența pe fază a porțiunii de linie de la capătul din amonte până la prima ramificație $[\Omega]$;

R_i rezistența pe fază, a ramificației i $[\Omega]$;

$$\beta_i = \frac{P_i}{P_{La}} \quad \text{în care:}$$

P_i sarcina medie a ramificației i [kW];

P_{La} sarcina medie a întregii linii cu ramificații [kW];

n numărul de ramificații.

Dacă la linia precedentă, linia principală depășește cu mult lungimea medie a ramificațiilor, se poate considera:

$$R_{eL} = R_{La} \cdot \left[1 + \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n^2 \cdot R_{La}} \right] \quad [\Omega]$$

iar dacă partea neramificată din amonte liniei principale depășește cu mult totalul lungimii ramificațiilor, se poate considera:

$$R_{eL} = R_{La} \quad [\Omega]$$

2. Determinarea pierderilor de energie electrică în transformatoare (cu două și respectiv trei înfășurări)

Pierderile de putere activă într-un transformator se pot determina cu ajutorul relației:

$$\Delta P_T = \Delta P_0 + \beta^2 \cdot \Delta P_{sc} + \Delta P_s \quad \text{în care:}$$

ΔP_T pierderea totală de putere activă în transformator;

ΔP_0 pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea sa în gol;

ΔP_{sc} pierderea de putere activă în transformator, la funcționarea sa în scurtcircuit;

ΔP_s pierderea de putere activă suplimentară, ce apare în cazul transformatoarelor cu răcire forțată (prin măsurători);

β coeficientul de sarcină al transformatorului.

Pierderile de energie activă în transformator la funcționarea în gol se consideră egale cu pierderile în fier, iar pierderile de putere activă la funcționarea în scurtcircuit se consideră egale cu pierderile în cupru și se iau din cataloage sau din cartea tehnică a transformatorului respectiv.

Coeficientul de sarcină β se determină cu relația:

$$\beta = k_f \cdot \frac{I_m}{I_n} \quad \text{în care:}$$

I_m intensitatea medie a curentului ce străbate transformatorul;

I_n intensitatea nominală a curentului, la medie tensiune, transformatorului.

În cazul transformatoarelor cu trei înfășurări, pierderile de putere activă se determină cu relația:

$$\Delta P_{T(3)} = \Delta P_0 + \beta_I^2 \cdot \Delta P_{scI} + \beta_M^2 \cdot \Delta P_{scM} + \beta_J^2 \cdot \Delta P_{scJ} + \Delta P_s \quad \text{în care:}$$

$\Delta P_{scI}, \Delta P_{scM}, \Delta P_{scJ}$ pierderile în scurtcircuit ale înfășurărilor de înaltă, medie, respectiv joasă tensiune;

$\beta_I, \beta_M, \beta_J$ coeficienții de încărcare ai înfășurărilor de înaltă, medie, respectiv joasă tensiune.

Pierderile de energie electrică activă în transformatoare se calculează cu relația:

$$\Delta E_a = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta^2 \cdot \Delta P_{sc} \cdot \tau_f + \Delta P_s \cdot \tau_s \quad \text{în care:}$$

τ_t este timpul total de conectare;

τ_f timpul de funcționare în sarcină;

τ_s timpul de funcționare a instalațiilor auxiliare de răcire.

Pentru transformatoare cu trei înfășurări, pierderile de energie electrică activă sunt:

$$\Delta E_{a(3)} = \Delta P_0 \cdot \tau_t + \beta_I^2 \cdot \Delta P_{scI} \cdot \tau_{fI} + \beta_M^2 \cdot \Delta P_{scM} \cdot \tau_{fM} + \beta_J^2 \cdot \Delta P_{scJ} \cdot \tau_{fJ} + \Delta P_s \cdot \tau_s$$

în care:

$\tau_{fI}, \tau_{fM}, \tau_{fJ}$ reprezintă timpul de funcționare în sarcină a înfășurărilor de înaltă, medie, respectiv joasă tensiune.

Pierderile la mersul în gol ΔP_0 și pierderile în scurtcircuit ΔP_{sc} se citesc pe eticheta transformatorului sau din documentația acestuia.

3. Pierderile de energie electrică în bobinele de reactanță trifazate

Pierderile de energie electrică activă în cele trei faze ale bobinei de reactanță se determină cu relația:

$$\Delta E_{br} = 3 \cdot k_f \cdot I_m^2 \cdot R_{br} \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

k_f factorul de formă al curentului;

I_m curentul mediu pe fază [A];

R_{br} rezistența pe fază a bobinei, măsurată printr-o metodă oarecare [Ω];

τ_f timpul de funcționare a bobinei [h].

4. Determinarea pierderilor de energie în motoare electrice

Pierderile de energie în motoarele electrice se compun din pierderi electromagnetice și din pierderi mecanice.

Pierderile electromagnetice apar în cuprul și fierul motorului, iar pierderile mecanice apar atât în motorul propriu-zis cât și în mecanismul antrenat. Întrucât separarea pierderilor mecanice este adesea dificilă, în general în lucrările de bilanț această separare nu se mai face.

Relația de calcul pentru pierderile ΔE_m de energie este:

$$\Delta E_m = \Delta E_{\text{inf}} + \Delta E_{Fe} + \Delta E_{mec} \quad [\text{kWh}]$$

Metoda de determinare a pierderilor depinde de regimul de lucru al motorului.

4.1 Cazul motoarelor cu regim de lucru practic uniform

În cazul motoarelor cu regim de lucru practic uniform (fără opriri, repausuri, frânări sau inversări de sens repetate) pierderile se determină astfel:

4.1.1 Pierderile în înfășurări

$$\Delta E_{\text{inf}} = 3 \cdot k_f^2 \cdot I_{med}^2 \cdot R_e \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

k_f factorul de formă al funcției $I = f(t)$, pentru care subliniem
valori cuprinse în domeniul $[1,01 \div 1,1]$ (pentru motoarele asincrone cu
inele, se recomandă valoarea $k_f = 1,01$);

I_{med} valoarea medie aritmetică a curentului absorbit de motor în intervalul τ_f [A];

τ_f timpul de funcționare [h];

R rezistența echivalentă a motorului, [Ω];

care pentru diferitele tipuri de motoare se definește astfel:

- pentru motoarele de curent continuu: $R_e = r_{indus}$ $[\Omega]$
- pentru motoarele sincrone: $R_e \approx r_{stator}$ $[\Omega]$
- pentru motoarele asincrone cu inele colectoare: $R_e = r_1 + r_2'$ $[\Omega]$

în care:

- r_1 rezistența statorului $[\Omega]$;
- r_2' rezistența rotorului redusă la stator $[\Omega]$;

$$r_2' = 0,98 \left(\frac{U_1}{U_{2i}} \right)^2 * r_2 \quad \text{în care:}$$

- r_2 rezistența rotorului $[\Omega]$;
- U_1 tensiunea între fazele statorului $[V]$;
- U_{2i} tensiunea între fazele inelelor rotorului (măsurată cu rotorul blocat și circuitul deschis) $[V]$.

- pentru motoarele asincrone fără inele colectoare:

$$R_e = \frac{P_1 - P_0}{3(i_1^2 - i_0^2)} \cdot 10^3 \quad [\Omega] \quad \text{în care:}$$

- P_1 este puterea absorbită de motor la o sarcină oarecare $[kW]$;
- P_0 puterea de mers în gol a motorului cuplat cu utilajul antrenat $[kW]$;
- i_1 curentul absorbit la sarcina P_1 $[A]$;
- i_0 curentul corespunzător lui P_0 $[A]$.

Rezistențele r_{indus} , r_1 și r_2 se determină prin măsurare cu ajutorul punții sau prin metoda voltmetru – ampermetru.

4.1.2 Pierderile în circuitul magnetic (fier)

13. Pentru motoarele asincrone cu inele colectoare:

$$\Delta E_{Fe} = (P_{rd} - 3i_{1d}^2 * R_1) * \tau_f * 10^{-3} \quad [kWh] \quad \text{în care:}$$

- P_{rd} puterea absorbită de motor când circuitul rotoric este deschis, măsurată cu ajutorul wattmetrului $[W]$;
- i_{1d} curentul statoric când circuitul rotoric este deschis, măsurată cu ajutorul ampermetrului $[A]$;
- R_1 rezistența statorului $[\Omega]$.

14. Pentru toate celelalte tipuri de motoare, cu excepția motorului asincron cu inele colectoare, determinarea pierderilor în fier este foarte dificilă. Având în vedere faptul că aceste pierderi sunt practic independente de sarcină, ca și cele mecanice, cele două categorii de pierderi se stabilesc împreună, cu ajutorul relației:

$$\Delta E_{Fe} + \Delta E_{mec} = (P_0 - 3i_0^2 * R_e) * \tau_f * 10^{-3} \quad [\text{kWh}]$$

4.1.3 Pierderi mecanice

15. *Motoare de curent continuu.* La motoare de curent continuu pierderile în fier sunt foarte mici în raport cu pierderile mecanice și de aceea se pot neglija ($\Delta E_{Fe} \approx 0$)

16. *Motoare asincrone cu inele colectoare:*

$$\Delta E_{mec} = P_0 - (P_{rd} - 3i_{1d}^2 * r_1) - 3i_0^2 * (r_1 + r_2') \quad [\text{kWh}]$$

17. *Pentru toate celelalte categorii de motoare* nu se determină pierderile mecanice separat, ci numai împreună cu pierderile în fier.

4.2 Cazul motoarelor cu regim de lucru variabil.

În această categorie intră motoarele al căror regim de lucru comportă repetate perioade de regim tranzitoriu (porniri, opriri, inversări de sens etc.).

Pentru această categorie de motoare pierderile în circuitul magnetic (Fe) și înfășurări provocate de curentul de magnetizare, reprezintă o cotă foarte mică în raport cu pierderile în regim tranzitoriu și pot fi neglijate.

Pentru un motor, suma pierderilor datorită funcționării în regim tranzitoriu pe o perioadă τ_f este:

$$\Delta E_{tranz} = \Delta e_p (n_p + n_{fmech} + 3n_{frinv} + 4n_{inv}) \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

Δe_p este pierderea pe un ciclu de pornire;

n_p numărul de porniri în perioada τ_f ;

n_{fmech} numărul de frânări mecanice, electrice sau prin inversarea sensului curentului, în perioada τ_f ;

n_{inv} numărul de cicluri de inversare a sensului de rotație, în perioada τ_f .

Pierderea pe un ciclu de pornire se determină cu relația:

$$\Delta e_p = K \cdot J \cdot n_0 \cdot \Delta n_0 \quad [\text{kWh}] \quad \text{în care:}$$

K coeficient ce depinde de tipul motorului și care are valorile:

- pentru motoarele de curent continuu cu excitația în derivație, $K=1$;
- pentru motoarele asincrone cu rotorul în scurt circuit și pentru motoarele sincrone cu pornirea în asincron, $K=2$;
- pentru celelalte motoarelor asincrone, $K= 1+r_1/r_2$;

J momentul de inerție polar al ansamblului motor – mecanismul antrenat, care are unitatea de măsură S.I. $[\text{N m s}^2]$

$$J = \frac{\Delta E_{mec}}{n_0 \cdot \Delta n_0} \quad [\text{kWh s}^2/\text{rad}^2] \quad \text{în care:}$$

ΔE_{mec} pierderile mecanice în motor și mecanism, determinate anterior;

n_0 viteza unghiulară de rotație la funcționarea în gol [rad/s];

Δn_0 variația vitezei unghiulare de frânare, din momentul deconectării până la momentul opririi [rad/s].

Mărimea Δn_0 , se determină prin *metoda lansării* care constă în următoarele etape:

18. se aduce în stare cuplat, ansamblul motor - mecanismul antrenat, până la realizarea vitezei de rotație caracteristică regimului de mers în gol;
19. se oprește alimentarea motorului;
20. la intervale egale de timp, cât mai scurte, se măsoară, cu ajutorul unui tahometru, viteza de rotație a motorului;
21. se trasează curba de oprire $n=f(t)$;
22. se duce tangenta geometrică la această curbă în punctul $t=0$ (ce reprezintă motor nealimentat cu energie electrică);
23. tangenta trigonometrică a unghiului format de această tangentă cu axa absciselor, este tocmai mărirea Δn_0 .

Model de bilanț electroenergetic*

1. Procesul tehnologic

În moara de ciment se introduce clincher, zgură, cenușă și gips cu ajutorul dozatoarelor. Operația de măcinare a clincherului și adaosurilor, pentru obținerea cimentului, se realizează în morile tubulare rotative în trei camere blindate, umplute parțial cu corpuri de măcinare. În camerele 1 și 2 măcinarea se realizează în general prin lovire, iar în camera finisoare corpurile de măcinat acționează prin lovire și în special prin frecare. Producția morii este de 42 t/h, iar greutatea bilelor de măcinare 109 t. Diametrul morii este de 3 m, iar lungimea de 14 m.

Moara este antrenată, prin intermediul unui reductor de viteză, de un motor electric asincron, cu inele colectoare, prevăzut cu compensator de fază pentru îmbunătățirea factorului de putere alimentat la tensiunea de 6kV și având puterea nominală de 1600 kW și turația de 980 rot/min.

2. Ecuația de bilanț și calculul componentelor acestuia

Bilanțul se realizează numai pentru energia activă. Energia intrată (E_i) este cea absorbită din rețeaua electrică. În acționările electrice, drept energie utilă (E_u) se consideră energia mecanică dezvoltată la finele lanțului cinematic, aceasta deducându-se ca diferența între E_i și suma ΔE a pierderilor.

Principalele pierderi sunt:

- | | |
|--|---------------------------|
| ▪ electrice în linia de alimentare | ΔE_L |
| ▪ electrice în înfășurările motorului | ΔE_{inf} |
| ▪ electrice în circuitul magnetic al motorului | ΔE_{Fe} |
| ▪ mecanice în motor | $\Delta E_{mec.mot}$ |
| ▪ mecanice în mecanismul antrenat | $\Delta E_{mec.mecanism}$ |

Ecuația de bilanț (orar) se scrie astfel:

$$E_i = E_u + \sum \Delta E = E_u + \Delta E_L + \Delta E_{inf} + \Delta E_{Fe} + \Delta E_{mec.motor} + \Delta E_{mec.mecanism} \quad [\text{kWh}]$$

Pentru întocmirea bilanțului s-au măsurat următoarele elemente:

- energia activă consumată în patru jumătăți de oră consecutive;
 $E_{i1} = 800 \text{ kWh} \quad E_{i2} = 750 \text{ kWh} \quad E_{i3} = 690 \text{ kWh} \quad E_{i4} = 740 \text{ kWh};$
- energia activă medie consumată orar: $E_i = 1490 \text{ kWh};$
- energia reactivă medie consumată orar: $E_{ri} = 148 \text{ kvarh};$

- lungimea cablului de alimentare al motorului: $L = 76 \text{ m}$ (conform cu schema monofilară reală sau de proiectare);
- rezistența specifică a cablului: $R_{sp} = 0,1462 \text{ } \Omega/\text{km}$ (de obicei menționată de către fabricant);
- rezistența statorului: $r_1 = 0,171 \text{ } \Omega$;
- rezistența rotorului: $r_2 = 0,0185 \text{ } \Omega$;
- tensiunea de alimentare: $U_1 = 6 \text{ kV}$;
- tensiunea între fazele înfășurării rotorice, cu rotorul deschis: $U_2 = 1,7 \text{ kV}$;
- puterea și curentul absorbite de motor având circuitul rotoric deschis: $P_{rd} = 54 \text{ kW}$
 $I_{rd} = 40 \text{ A}$;
- puterea și curentul absorbite de motor la mersul în gol al acestuia (decuplat de reductor și de moară): $P_{0 \text{ mot}} = 85 \text{ kW}$
 $I_{0 \text{ mot}} = 44 \text{ A}$;
- puterea și curentul absorbit de motor la mersul în gol al morii (fără material de măcinat, dar cu bile): $P_0 = 1375 \text{ kW}$
 $I_0 = 130 \text{ A}$;

Se calculează:

- curentul mediu absorbit:

$$I_{med} = \frac{\sqrt{(\sum E_{ik})^2 + E_{ri}^2}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \tau} = \frac{\sqrt{1490^2 + 148^2}}{\sqrt{3} \cdot 6000 \cdot 1} \cdot 10^{-3} = 144,08 \text{ A} \approx 144 \text{ A}$$

- factorul de formă al curentului:

$$k_f = \frac{I_{mp}}{I_m} \approx \sqrt{n} \cdot \frac{\sqrt{\sum E_{ik}^2}}{\sum E_{ik}} \quad \text{unde:}$$

- I_{mp} valoarea medie pătratică a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei, [A]
- I_m valoarea medie a curentului măsurat la capătul alimentat al liniei [A]
- n numărul de intervale egale la care se face citirea curentului

$$k_f = \sqrt{4} \cdot \frac{\sqrt{800^2 + 750^2 + 690^2 + 740^2}}{800 + 750 + 690 + 740} = 1,01$$

- rezistența liniei de alimentare a motorului (6 kV)

$$L = 76 \text{ m}, S = 3 \times 120 \text{ mm}^2: \quad R_L = R_{sp} \cdot L = 0,1462 \cdot 0,076 = 1,0111 \quad [\Omega]$$

3. Calculul pierderilor ($\tau_f = 1h$)

$$\Delta E_L = 3 \cdot k_f^2 \cdot I_{med}^2 \cdot R_L \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_L = 3 \cdot 1,01^2 \cdot 144^2 \cdot 1,0111 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 0,7 \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_{inf} = 3 \cdot k_f^2 \cdot I_{med}^2 \cdot R_e \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad \text{unde:}$$

– k_f în cazul motoarelor asincrone cu inele se recomandă să fie egal cu 1,01;

– I_{med} valoarea medie aritmetică a curentului

absorbit de motor în intervalul τ_f [A];

– τ_f timpul de funcționare [h];

– R_e rezistența echivalentă a motorului [Ω];

Pentru motoarele asincrone cu inele colectoare, R_e este:

$$R_e = r_1 + r'_2 \quad [\Omega] \quad \text{unde:}$$

– r_1 rezistența statorului [Ω];

– r'_2 rezistența rotorului redusă la stator [Ω]

$$r'_2 = 0,98 \cdot \left(\frac{U_1}{U_{2i}} \right)^2 \cdot r_2;$$

– r_2 rezistența rotorului [Ω];

– U_1 tensiunea între fazele statorului [V];

– U_{2i} tensiunea între faze la inelele rotorului

(măsurată cu rotorul blocat și circuitul deschis) [V].

$$\Delta E_{inf} = 3 \cdot 1,01^2 \cdot 144^2 \cdot \left[0,171 + 0,0185 \cdot 0,98 \cdot \left(\frac{6}{1,7} \right)^2 \right] \cdot 1 \cdot 10^{-3} \approx 25,2 \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_{Fe} = (P_{rd} - 3 \cdot i_{1d}^2 \cdot r_1 \cdot 10^{-3}) \cdot \tau_f \quad [\text{kWh}] \quad \text{unde:}$$

– P_{rd} este puterea absorbită de motor când circuitul rotoric este deschis, măsurată cu ajutorul wattmetrului [kW];

– i_{1d} curentul statoric când circuitul rotoric este deschis, măsurată cu ajutorul ampermetrului, [A];

– r_1 rezistența statorului [Ω]

$$\Delta E_{Fe} = (54 - 3 \cdot 40^2 \cdot 0,171 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 = 53,179 \approx 53,2 \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_{mec.mot} = P_{0mot} \cdot \tau_f - \Delta E_{fe} - 3 \cdot k_f^2 \cdot R_e \cdot I_{0mot}^2 \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}] \quad \text{unde:}$$

$$- R_e = r_1 + r'_2$$

$$\Delta E_{mec.mot} = 85 \cdot 1 - 53,2 - 3 \cdot 1,012 \cdot \left[0,171 + 0,0185 \cdot 0,98 \cdot \left(\frac{6}{1,7} \right)^2 \right] \cdot 442 \cdot 1 \cdot 10^{-3} = 29,5 \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_{mec.mecanism} = P_0 \cdot \tau_f - \Delta E_{inf} - \Delta E_{fe} - 3 \cdot k_f^2 \cdot R_e \cdot I_0^2 \cdot \tau_f \cdot 10^{-3} \quad [\text{kWh}]$$

$$\Delta E_{mec.mecanism} = 1375 \cdot 1 - 29,5 - 53,2 - 3 \cdot 1,012 \cdot \left[0,171 + 0,0185 \cdot 0,98 \cdot \left(\frac{6}{1,7} \right)^2 \right] \cdot 130^2 \cdot 1 \cdot 10^{-3} \approx 1271,8 [\text{kWh}]$$

Energia utilă E_u :

$$E_u = 1490 - (0,7 + 25,5 + 53,2 + 29,5 + 1271,8) = 109,9 \quad [\text{kWh}]$$

Rezultatele bilanțului sunt centralizate în tabelul următor și în diagrama Sankey din figura de mai jos:

<i>Mărimea caracteristică</i>	[kWh]	[%]
Energie intrată, luată din rețea	1490,0	100,00
<i>Energie ieșită</i>	109,9	7,38
1. Energie utilă (pentru măcinare)	109,9	7,38
2. Pierderi	1380,1	92,62
- în cuprul motorului	25,5	1,71
- în fierul motorului	53,2	3,57
- mecanice în motor	29,5	1,98
- mecanice în moară și reductor	1271,2	85,32
- în linia de alimentare	0,7	0,05
Total ieșiri	1490,0	100,00

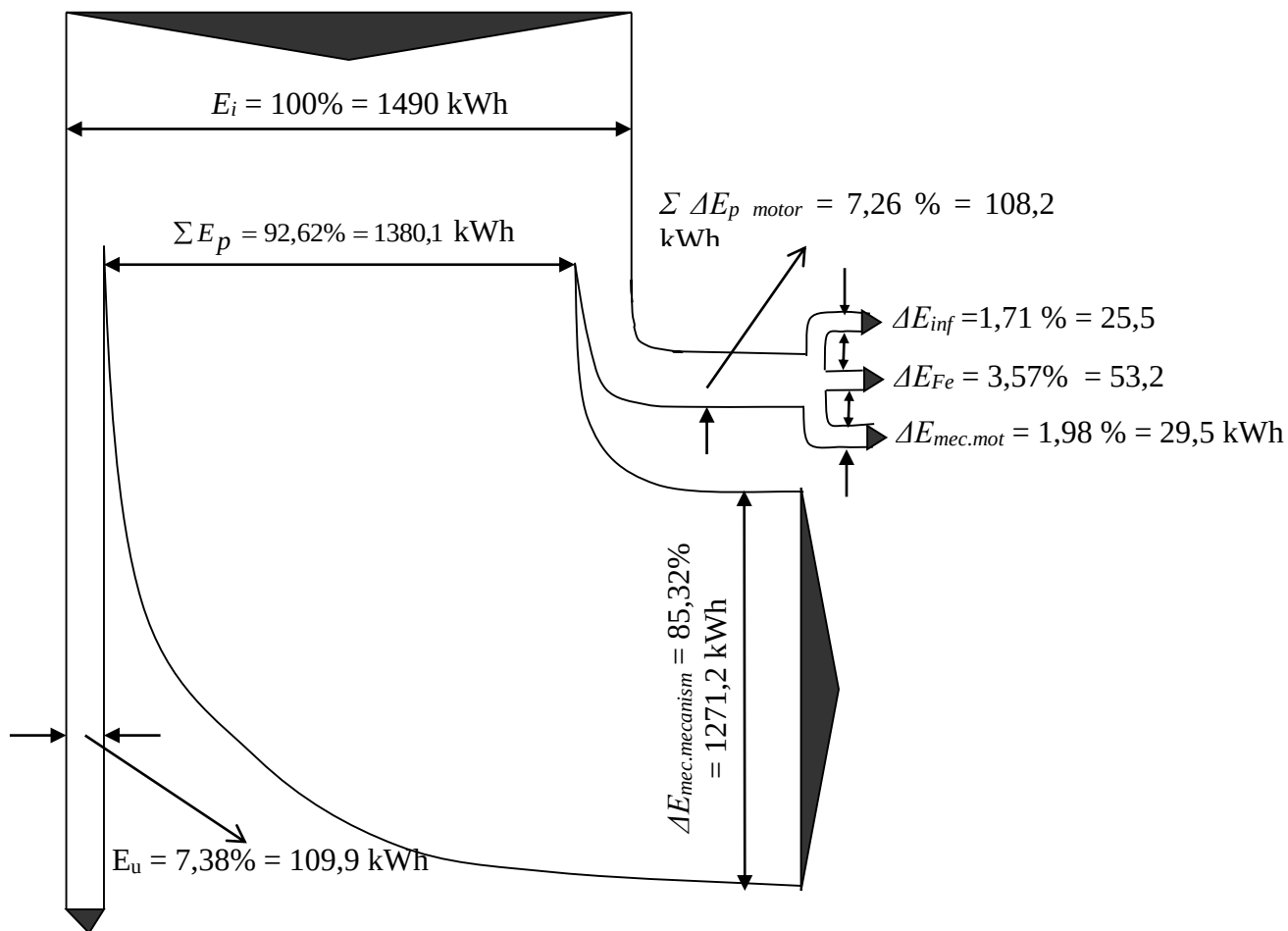


Diagrama Sankey pentru antrenarea morii de ciment

Randamentele energetice ale antrenării sunt:

- randamentul energetic global, η_g

$$\eta_g = \frac{E_u}{E_i} \cdot 100 = 7,38\%$$

- randamentul motorului la sarcina medie (1490 kW - 93% din sarcina nominală) se determină cu relația:

$$\eta_{mot.med} = \frac{1490 - (25,5 + 53,2 + 29,5)}{1490} \cdot 100 = 92,73\%$$

- randamentul motorului la puterea nominală (1600 kW):

$$\eta_{mot.nom} = \frac{1600 - (25,5 \cdot \frac{1600}{1490} + 53,2 + 29,5)}{1600} \cdot 100 = 93,0\%$$

4. Măsurile generale de economisire a energiei în cazul acționărilor electrice

- În cazul acționărilor electrice la care pierderile mecanice în utilajul antrenat sunt mari – cazul antrenării morilor de ciment – se impune *încărcarea utilajului cât mai aproape de capacitatea nominală*, orice subîncărcare ducând la creșterea consumului specific; astfel, la moara analizată, o încărcare sub 25% din capacitatea nominală, implică creșterea cu 29% a consumului specific aferent.
- La utilajele cu mase importante în rotație – de exemplu cazul morilor de ciment – se impune *limitarea/evitarea pornirilor și opririlor dese*, deoarece până la intrarea în regimul normal de funcționare apar pierderi suplimentare de energie electrică, prin regimul tranzitoriu al utilajului.
- Pentru motoarele asincrone, *cu timpi mari de subîncărcare, sub 45% din puterea nominală*, se impune imperativ, *analiza tehnico-economică a înlocuirii lor cu motoare de putere mai mică* – numai dacă tehnologic este posibil, de exemplu dacă durata de funcționare totală a motorului este mai mare de 1500 h/an.
- Dacă încărcarea unui motor asincron este între 45% și 70 % din puterea nominală, la o durată de funcționare mai mare de 1500 h/an, trebuie *studiată eficiența economică a înlocuirii cu un motor de putere mai mică* – dacă tehnologic este posibil.
- La un motor cu conexiune normală stea, la care se constată funcționarea, timp îndelungat, la o sarcină mai mică decât 33% din cea nominală și în ipoteza imposibilității înlocuirii acestuia cu un motor de putere mai mică, se impune *montarea unui comutator stea-triunghi*; diverse studii au dovedit eficiența montării comutatoarelor stea-triunghi numai atunci când acest motor are în funcționare permanentă conexiunea triunghi, iar sarcina sa este cuprinsă în domeniul (33% ÷ 44%) din cea nominală.
- Pentru motoarele electrice, la care durata de mers în gol, între diferite operații tehnologice (faze de lucru), este mai mare de 20% din întregul timp de funcționare a motorului, se impune obligativitatea realizării unui *studiu al eficienței tehnice și economice privind montarea de limitatoare de mers în gol*.

Factori de echivalență între unitățile de măsură ale energiei

Unitatea de măsură	Factorul de echivalență									
	kJ	kWh	kcal	tep	tcc	Btu	boe	mtoe	m ³ gaz	ft ³ gaz
1 kJ	1	0,278·10 ⁻³	0,239	2,388·10 ⁻⁸	3,412·10 ⁻⁵	9,479·10 ⁻¹	1,634·10 ⁻¹⁰	2,334·10 ⁻¹¹	2,684·10 ⁻⁸	0,948·10 ⁻⁶
1 kWh	3,6·10 ³	1	860	8,6·10 ⁻⁵	123·10 ⁻⁶	3,41·10 ³	5,882·10 ⁻⁴	8,037·10 ⁻⁵	0,965·10 ⁻¹	3,41
1 kcal	4,187	1,162·10 ⁻³	1	10 ⁻⁷	0,143·10 ⁻⁶	3,966	6,838·10 ⁻⁷	9,347·10 ⁻⁸	1,123·10 ⁻⁴	3,966·10 ⁻³
1 tep	4,187·10 ⁷	1,163·10 ⁴	10 ⁷	1	1,429	3,965·10 ⁷	6,84	0,935	1,123·10 ³	
1 tcc	2,931·10 ⁷	8,14·10 ³	7·10 ⁶	0,7	1	2,776·10 ⁷	4,786	6,543·10 ⁻¹	786,1	2,776·10 ⁴
1 Btu	1,055	2,932·10 ⁻⁴	2,522·10 ⁻¹	2,522·10 ⁻⁸	3,603·10 ⁻⁸	1	1,724·10 ⁻⁷	2,357·10 ⁻⁸	2,832·10 ⁻⁵	10 ⁻³
1 boe	6,119·10 ⁶	1,7·10 ³	1,462·10 ⁶	1,462·10 ⁻¹	2,089·10 ⁻¹	5,8·10 ⁶	1	1,367·10 ⁻¹	1,642·10 ⁻²	5,8·10 ³
1 mtoe	4,476·10 ⁷	1,244·10 ⁴	1,07·10 ⁷	1,07	1,528	4,243·10 ⁷	7,315	1	1,201·10 ³	4,243·10 ⁴
1 m³ gaz	3,726·10 ⁴	1,035·10 ¹	8,905·10 ³	8,905·10 ⁻⁴	1,272·10 ⁻³	3,521·10 ⁴	6,089·10 ⁻³	8,323·10 ⁻⁴	1	35,31
1 ft³ gaz	1,056·10 ³	2,933·10 ⁻¹	252,2	2,522·10 ⁻⁵	3,602·10 ⁻⁵	10 ³	1,724·10 ⁻⁴	2,357·10 ⁻⁵	2,832·10 ⁻²	1

Observatii:

Btu British thermal unit

1 boe Baril petrol echivalent, cantitate de energie conținută în volumul de 1 baril petrol (1 baril = 0,1589873 m³);

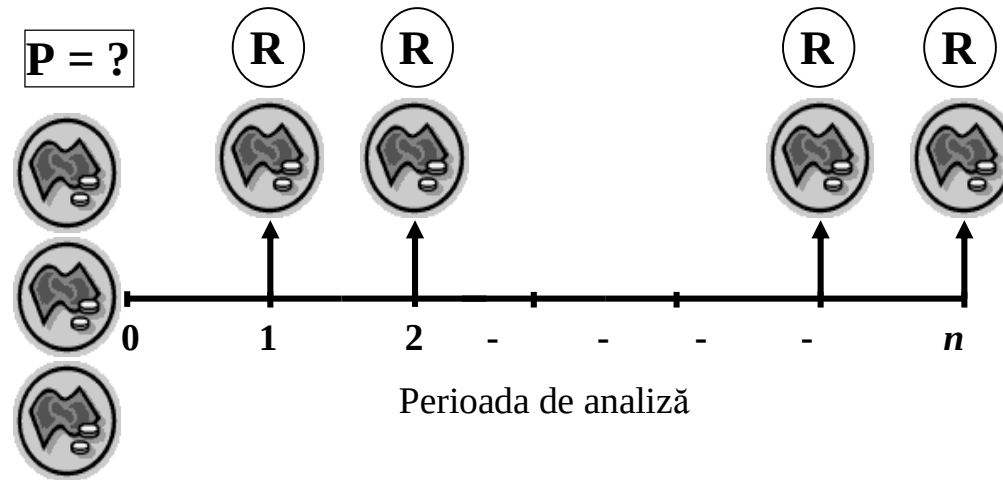
1 mtoe Tonă metrică petrol, cantitate de energie conținută în volumul de 1 m³ petrol (echivalent cu energia a 7,345 barili petrol);

1 m³ gaz Cantitate de energie conținută în 1 m³ gaze naturale, în condiții normale, cu puterea calorifică inferioară de 37276 kJ / m_N³;

1 ft³ gaz Cantitate de energie conținută în volumul de gaz echivalentă cu 1000 Btu

Exemplu de analiză economică

Variantele de analiză



	Varianta 1		Varianta 2		Varianta 3	
	Totală	Anuală	Totală	Anuală	Totală	Anuală
Investitie [mii lei]	600	200	15000	5000	120000	40000
Economii [mii lei]	1200		5100		15000	
PSR [ani]	0,50		3,00		8,00	
Durata de realizare [ani]	1		2		3	
Durata ciclului de viață n [ani]	20,00					
Rata de actualizare i [%]	0,12					

Venitul Net Actualizat

Anul	Factor actualizare	Varianta 1			Varianta 2			Varianta 3		
		Investiția	Economii	VNA	Investiția	Economii	VNA	Investiția	Economii	VNA
0	1,0000	-600	0	-600	-7500	0	-7500	-40000	0	-40000
1	0,8929		1200	1071,4	-7500	2500	-5267,9	-40000	5000	- 35535,7
2	0,7972		1200	956,6		5000	3986	-40000	10000	- 32028,1
3	0,7118		1200	854,1		5000	3558,9		15000	10676,7
4	0,6355		1200	762,6		5000	3177,6		15000	9532,8
5	0,5674		1200	680,9		5000	2837,1		15000	8511,4
6	0,5066		1200	608		5000	2533,2		15000	7599,5
7	0,4523		1200	542,8		5000	2261,7		15000	6785,2
8	0,4039		1200	484,7		5000	2019,4		15000	6058,2
9	0,3606		1200	432,7		5000	1803,1		15000	5409,2
10	0,3220		1200	386,4		5000	1609,9		15000	4829,6
11	0,2875		1200	345,0		5000	1437,4		15000	4312,1
12	0,2567		1200	308,0		5000	1283,4		15000	3850,1
13	0,2292		1200	275,0		5000	1145,9		15000	3437,6
14	0,2046		1200	245,5		5000	1023,1		15000	3069,3
15	0,1827		1200	219,2		5000	913,5		15000	2740,4
16	0,1631		1200	195,7		5000	815,6		15000	2446,8
17	0,1456		1200	174,8		5000	728,2		15000	2184,7
18	0,1300		1200	156		5000	650,2		15000	1950,6
19	0,1161					5000	580,5		15000	1741,6
20	0,1037								15000	1555

VNA 1 = 8363,3 mii lei

VNA 2 = 18703,2 mii lei

VNA 3 = -20872,9 mii lei

RIR 1= 200 %

RIR 2 = 29,4 %

RIR 3 = 9,40 %

Rezultatul analizei financiare:

SE SELECTEAZĂ VARIANTA 2

**Exemplu de calcul pentru determinarea
emisiilor la un cazan de abur**

Se consideră un cazan de abur având următoarele caracteristici tehnice:

- Puterea termică: > 300 MW_t
- Sarcina medie: 80 %
- Combustibil:

<i>Mărimea</i>	<i>UM</i>	<i>Valoare</i>	
		<i>Lignit</i>	<i>Păcură -suport-</i>
H _i – puterea calorifică inferioară a combustibilului	kJ/kg	6700	38456
S – conținutul de sulf al combustibilului	%	1,15	3
B ₁ – cantitatea de lignit consumată în perioada respectivă	kg	100000	10000

▪ **Emisii de SO₂**

▪ *Lignit:*

$$\varepsilon_{SO_2} = \frac{\frac{m_{SO_2}}{m_s} \cdot \frac{S}{100}}{H_i} \cdot (1-r);$$

$$\frac{m_{SO_2}}{m_s} = \frac{64}{32} = 2; \quad \frac{S}{100} = \frac{1,15}{100}; \quad r = 0,2;$$

$$\varepsilon_{SO_2} = \frac{2 \cdot 0,0115 \cdot 0,8}{6700} = \frac{1,84 \cdot 10^{-2}}{6,7 \cdot 10^3} = 2,74 \cdot 10^{-6} \text{ [kJ/kg]}$$

$$E_{1SO_2} = 100 \cdot 10^3 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 2,74 \cdot 10^{-6} = 1800 \text{ [kg]}$$

▪ *Păcură:*

$$\frac{S}{100} = \frac{3}{100} = 0,03; \quad r = 0;$$

$$\varepsilon_{SO_2} = \frac{2 \cdot 0,03}{38456} = \frac{0,06}{38456} = 1,56 \cdot 10^{-6} \text{ [kg/kJ]}$$

$$E_{2SO_2} = 10 \cdot 10^3 \cdot 38,456 \cdot 10^3 \cdot 1,56 \cdot 10^{-6} = 580 \text{ [kg]}$$

$$E_{SO_2} = E_{1SO_2} + E_{2SO_2} = 1,80 + 0,58 \approx 2,40 \quad [t]$$

▪ **Emisii de NO_x**

▪ **Lignit:**

La sarcina cazanului de 100% ($P_t > 300MW_t$);

$$\varepsilon_{NO_x} = 2,6 \cdot 10^{-7} \quad [kg/kJ]$$

La sarcina de lucru de 80%: $L = 80$; $a = 0,85$.

$$\varepsilon_{NO_x} (80\%) = \varepsilon_{NO_x} (100\%) [a + (1-a) \cdot \frac{L-50}{50}]$$

$$\varepsilon_{NO_x} (80\%) = 2,6 \cdot 10^{-7} [0,85 + (1-0,85) \cdot \frac{80-50}{50}];$$

$$\varepsilon_{NO_x} (80\%) = 2,6 \cdot 10^{-7} \cdot 0,94 = 2,5 \cdot 10^{-7} \quad [kg/kJ]$$

$$E_{1NO_x} = 100 \cdot 10^3 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 2,5 \cdot 10^{-7} = 170 \quad [kg]$$

▪ **Păcură:**

La sarcina cazanului de 100% ($P_t > 300MW_t$).

$$\varepsilon_{NO_x} = 2,8 \cdot 10^{-7} \quad [kg/kJ]$$

La sarcina de lucru de 80%: $L = 80$; $a = 0,75$

$$\varepsilon_{NO_x} (80\%) = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot [0,75 + (1-0,75) \cdot \frac{80-50}{50}];$$

$$\varepsilon_{NO_x} (80\%) = 2,8 \cdot 10^{-7} \cdot [0,75 + 0,25 \cdot 0,6] = 2,52 \cdot 10^{-7} \quad [kg/kJ]$$

$$E_{2NO_x} = 10 \cdot 10^3 \cdot 38,456 \cdot 10^3 \cdot 2,52 \cdot 10^{-7} = 97 \quad [kg]$$

$$E_{NO_x} = E_{1NO_x} + E_{2NO_x} = 0,17 + 0,097 \approx 0,27 \quad [t]$$

▪ **Emisii de pulberi (cenușă zburătoare)**

▪ **Lignit:**

$$\varepsilon_p = \frac{A \cdot (1-x) \cdot (1-y)}{H_i}$$

$$a = 40\%; \quad x = 0,15; \quad y = 97\%;$$

$$\varepsilon_p = \frac{0,40 \cdot (1 - 0,15) \cdot (1 - 0,97)}{6700} = \frac{0,40 \cdot 0,85 \cdot 0,03}{6700} = 1,5 \cdot 10^{-6} \quad [\text{kg/kJ}]$$

$$E_p = 100 \cdot 10^3 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6} = 1000 \quad [\text{kg}]$$

- *Păcură:* Se consideră $\varepsilon_p = 0$

▪ **Emisii de CO₂**

- *Lignit:*

$$\text{Cu factorul UE:} \quad \varepsilon_{CO_2} = 98 \cdot 10^{-6} \quad [\text{kg/kJ}]$$

$$E_1 = 100 \cdot 10^3 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 98 \cdot 10^{-6} = 65600 \quad [\text{kg/kJ}]$$

$$\text{Cu formula:} \quad \varepsilon_{CO_2} = \frac{\frac{m_{CO_2}}{m_C} \cdot \frac{C}{100}}{H_i}$$

$$\frac{m_{CO_2}}{m_C} = \frac{44}{12} = 3,66; \quad C = 18 \%;$$

$$\varepsilon_{CO_2} = \frac{3,66 \cdot 0,18}{6700} = \frac{0,659}{6700} = 0,98 \cdot 10^{-4} \quad [\text{kg/kJ}]$$

$$E_{1CO_2} = 100 \cdot 10^3 \cdot 6,7 \cdot 10^3 \cdot 0,98 \cdot 10^{-4} = 65600. \quad [\text{kg}]$$

- *Păcură:*

$$\text{Cu factorul UE:} \quad \varepsilon_{CO_2} = 72 \cdot 10^{-6} \text{ kg/kJ.}$$

$$E_{2CO_2} = 10 \cdot 10^3 \cdot 38,456 \cdot 10^3 \cdot 72 \cdot 10^{-6} = 27688 \quad [\text{kg}]$$

$$E_{CO_2} = E_{1CO_2} + E_{2CO_2} = 65,6 + 27,7 = 93,3 \quad [\text{t}]$$

Calculul exemplificat a fost preluat din Anexa 2 la Normativul PE 1001/1994, iar rezultatele sunt centralizate în tabelul următor:

<i>Element de calculație</i>	<i>U.M.</i>	<i>Valoare</i>
Emisii SO ₂	t_{SO_2}	2,4
Emisii NO _x	t_{NO_x}	0,3
Emisii de pulberi	t_p	1,0
Emisii CO ₂	t_{CO_2}	93,3

