

UN NOU MODEL ANALITIC AL CURBEI CLASATE A SARCINII TERMICE

V. ARION, C. NEGURĂ
Universitatea Tehnică a Moldovei

INTRODUCERE

Tranziția către sisteme energetice (SE) inteligente și flexibile, determinată în principal de necesitatea integrării profunde a surselor variabile de energie regenerabilă (solare, eoliene), presupune o implicare activă a consumatorilor în stabilirea unor regimuri optime de funcționare a SE în ansamblu. Nodurile de consum ale SE, ale căror regimuri, în trecut erau determinate în totalitate de consumatori – în prezent sunt privite ca noduri flexibile, care la o intervenție a operatorului de sistem pot să-și schimbe comportamentul (să consume mai puțin sau mai mult) sau chiar să se prezinte ca surse de energie (noduri “prosumere” [1 - 4]). Dezvoltarea pe calea tranziției către sisteme energetice flexibile, cu un înalt grad de integrare a surselor de energii regenerabile, conduce la creșterea cerințelor față de posibilitățile de modelare a nodurilor de consum.

În prezent este de actualitate căutarea unor modele ale curbei clasate de sarcină, care ar permite în condițiile unei flexibilități avansate ale SE și consumatorilor realizarea unei game variate de aluri ale curbei. Scopul acestei lucrări consta în identificarea unei descrieri matematice cât mai riguroase a curbei clasate a sarcinii termice, care ar asigura o calitate mai bună a soluțiilor adoptate.

1. CURBA CLASATĂ ȘI NECESITATEA IMBUNĂTĂȚIRII MODELULUI EI MATEMATIC

1.1. Generalități privind curba clasată

O curbă de sarcină descrie *variația în timp* (zi, luna, an) a puterii electrice sau termice, produse sau consumate. Curba clasată (CC) este o curbă ordonată după valoarea puterii, pornind de la cea mai mare valoare până la cea mai mică. Astfel, CC întotdeauna reprezintă o curbă descendentă și arată câte ore pe zi/lună/an este solicitat un anumit interval de valori putere (figura 1).

O curbă clasată reprezintă în mod generalizat regimul de producere/consum a energiei; ea este caracterizată de un șir de parametri

precum sunt: valorile maximă (de calcul), medie și minimă a puterii – q_M , q_{med} și q_{min} (figura 1, a). Gradul de umplere al curbei caracterizează intensitatea producerii/consumului.

Sistemele actuale de alimentare cu energie termică (SAET), sunt, în principal, sisteme „climatice”, sarcina termică zilnică a cărora depinde preponderent de temperatura exterioară. Ponderea necesarului de căldură pentru încălzire este dominantă (70-90%), ponderea consumului industrial de energie, în prezent este mica și nu depășește câteva procente (spre exemplu, în mun. Chișinău – 1-2%). Pentru un asemenea SAET curba clasată a sarcinii termice (CC-ST) va avea o formă asemănătoare unui *S-inversat alungit*, așa cum este și forma curbei clasate a temperaturilor exterioare sau chiar unui *dublu-S-inversat* (figura 1, b).

O curbă clasată reală *conține o cădere mai mult sau mai puțin abruptă* sau o coborâre în pantă. Căderea abruptă (CA) a sarcinii este determinată de deconectarea forțată a sistemului de încălzire a unui sau mai multor consumatori. Pe curba clasată CA poate prezenta și situația unei deconectări voluntare a mai multor consumatori într-o scurtă perioadă de timp – de la câteva ore și până la câteva zile (7-10 zile). CA este prezentă, cu precădere pe CC-ST a consumatorilor individuali, însă ea poate fi prezentă și pe curba de sarcină a SAET.

Coborârea în pantă (CP) a sarcinii ține de o diminuare graduală a sarcinii termice către finele sezonului de încălzire – când consumatorii, odată cu creșterea temperaturii exterioare, se deconectează de la SAET în mod voluntar. Această diminuare lentă a sarcinii ar putea dura chiar și câteva săptămâni.

Forma (alura) curbei clasate anuale depinde mult de categoria de consum și gradul de agregare a consumatorilor (nodurilor de consum). Agregarea consumatorilor, pe care se suprapune factorul de simultaneitate a sarcinilor maxime, conduce la creșterea gradului de umplere a curbei de sarcină. Cu cât gradul de agregare este mai înalt, cu atât coeficientul de umplere al curbei este mai mare și forma ei devine mai netedă.

În figura 1 sunt prezentate două curbe clasate - a unui apartament (figura 1, a) și a unui SAET (figura 1, b).

Căderea bruscă a sarcinii (figura 1, a) este cauzată de deconectarea sistemului de încălzire la momentul de timp τ_0 . De observat, că pentru un nod agregat de consum (bloc de locuințe, cartier etc.), în locul unei linii abrupte am putea avea o coborâre în panta, cauzată de faptul ca către finele perioadei de

încălzire consumatorii se deconectează la diferite momente de timp și nu simultan. Cât privește consumul de apă caldă menajeră - în ipoteza unui consum zilnic constant - pe CC vom avea o linie orizontală, iar în realitate - o curbă descendentă (figura 1, b).

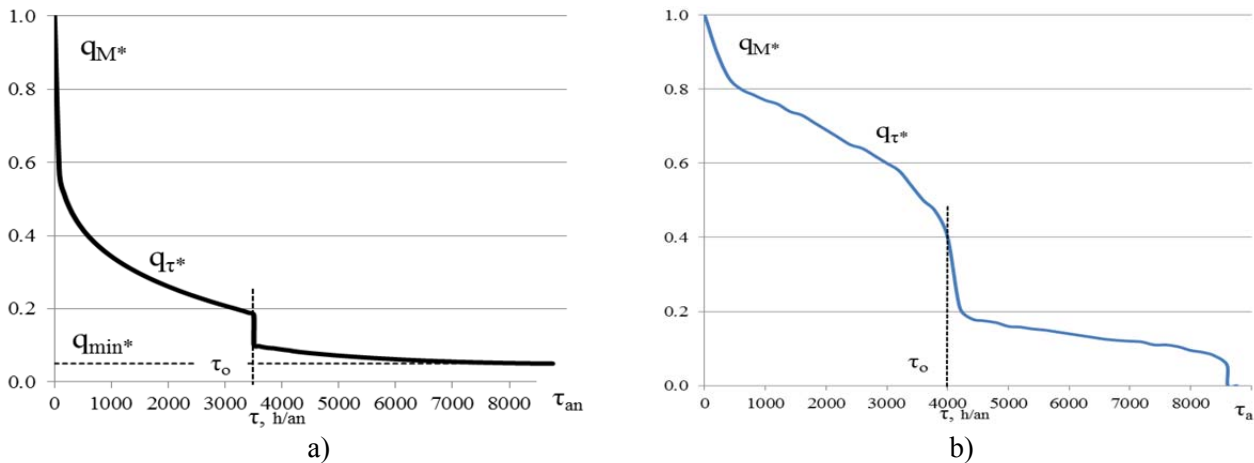


Figura 1. Alura curbei clasate a sarcinii termice: a unei case individuale (a) și a unui SAET (b).

Pentru un sistem energetic existent, curba clasată poate fi obținută pe mai multe căi:

- sistemele energetice moderne, de regula, sunt dotate cu sisteme de monitorizare, control și achiziții de date (SCADA), care permit, inclusiv și înregistrarea curbelor de sarcina pentru un sir de noduri, iar în urma prelucrării acestor date se obțin curbele clasate de sarcina.

- în alte cazuri curba anuală clasată de sarcină se deduce în baza cunoașterii doar câtorva curbe zilnice caracteristice (pentru zilele de lucru, de weekend, sau cele patru anotimpuri sau doar a curbei clasate anuale a temperaturilor exterioare. Pentru sisteme în proiectare curba anuală clasată adesea este construită doar în baza celor trei valori caracteristice evaluate – valoarea maximă, medie și minimă a sarcinii.

Modelul matematic al curbei clasate a sarcinii termice (CC-ST) reprezintă un important instrument pe larg folosit la soluționarea mai multor probleme practice, atât la faza de proiectare, cat și cea de operare a sistemelor energetice, precum sunt [5-14]:

- determinarea consumului de energie și a duratei de utilizare a sarcinii maxime;

- determinarea structurii optime a instalațiilor de producție, integrate într-un sistem de alimentare cu căldură („înscrierea” surselor de energie în curba de sarcina);

- evaluarea potențialului economic al cogenerării pentru un nod sau o zonă de consum energie termică, inclusiv pe ramuri ale economiei sau în profil teritorial etc.

1.2. Modelul Sochinsky-Rossander aplicat la descrierea CC-ST

Odată cu introducerea noțiunii de curba clasată de sarcină, circa 100 ani în urmă a și fost propus primul model analitic al CC. În domeniul energiei electrice de la începuturi și pana în prezent se aplica unul și același model, cunoscut sub denumirea de funcția lui Sochinsky [15].

Cât privește curba clasată a sarcinii termice (CC-ST) – pentru ea, in primul rând, este caracteristică micșorarea rapidă a sarcinii la finele sezonului de încălzire – ceea ce face alura acestei curbe să fie diferită de cea a consumului de energie electrică.

În lucrarea [14] pentru CC-ST a unui SAET se aplica funcția putere cu trei parametri, determinați de condițiile climatice. Tot în lucrarea [14] pentru consumul tehnologic se recomandă același tip de model, cu trei parametri, determinați respectiv de valorile maximă, medie și minimă ale sarcinii termice; acest model este extins asupra duratei anuale a cererii de căldură. In [16] pentru consumul integrat de energie termică, destinat încălzirii și preparării apei calde, se aplică un alt model, cu patru parametri, din care trei sunt determinați de regimul de temperaturi, iar al patrulea reprezintă ponderea consumului de căldură necesar preparării a.c.m. în consumul total de căldură.

Modelele matematice aplicate până în prezent la descrierea curbelor clasate a sarcinii termice puțin diferă de la caz la caz și majoritatea

din ele, în esență, reprezintă simple funcții putere de forma:

$$q(\tau) = q_M \cdot \left[1 - (1 - q_{\min} / q_M) \cdot (\tau / \tau_{an})^\beta \right] \quad (1)$$

în care q_M și q_{\min} reprezintă valoarea maximă (de calcul) și valoarea minimă a sarcinii în anul respectiv;

q_{\min}^* - valoarea minimă relativă a sarcinii;

$q_{\min}^* = q_{\min} / q_M$; τ - valoarea curentă a timpului;

τ_0 - durata perioadei de încălzire, h/an;

β - factorul de putere.

De menționat că ecuația (1) este cunoscută ca ecuația lui Sochinsky [15] sau a lui Rossander [14,16], chiar dacă este vorba de unul și același model cu trei parametri. Acest model, mai departe în lucrare va fi notat ca modelul/ecuația So-Ro (SR).

În această lucrare minuțios a fost studiată funcția putere So - Ro, ecuația (1), precum și curbele pe care această funcție le poate reproduce. În figura 2 este prezentat un larg spectru de curbe clasate, obținute cu aplicarea modelului So-Ro, iar în tabelul 1 sunt aduse caracteristicile acestora - q_{\min}^* , β și T_M .

Ca sinteza la cele prezentate, vom enumera un șir de caracteristici ale CC-ST a unui SAET pe care un model analitic ar trebui să le poată reproduce:

- curba clasată este o curbă ordonată, descendentă, cu coborâre în pantă sau cădere abruptă;
- pentru o perioadă de studiu acceptată (zi, luna, an) curba pornește din punctul cu sarcina

maximă și se finalizează în punctul cu sarcina minimă;

- coborârea poate fi pe curbă concavă, sau convexă sau pe una ce ar îmbina ambele elemente;
- în preajma unui moment de timp cunoscut τ_0 curba poate avea o cădere abruptă sau o coborâre în pantă.

1.3. Necesitatea îmbunătățirii modelului existent

Din figura 2 este ușor de observat că modelul So-Ro poate reda doar câteva elemente ale CC-ST: linie descendentă continuă – linie dreaptă, sau curbă concavă sau curbă convexă. Astfel, rămân alte două elemente-cheie care nu pot fi reproduse pe curbă cu aplicarea acestui model, acestea sunt:

- căderea abruptă sau coborârea în pantă a sarcinii termice în preajma unui punct dat și
- schimbarea sensului concavității curbei (treccrea de la concav la convex și viceversa - curbă de tip sigmoid, cu punct de reflexiune).

Aceste două caracteristici sunt frecvent prezente pe CC-ST și ele, în majoritatea cazurilor, nu pot fi neglijate. Astfel, plecând de la faptul că ecuația (1) nu permite de a realiza aluri specifice variației reale ale sarcinii termice (figura 1) - se pune problema căutării unui alt model, care ar oferi o mai bună calitate de aproximare a curbei clasate.

În această lucrare se propune o altă descriere matematică a curbei clasate a sarcinii termice a unui SAET, care integrează modelul So-Ro cu un model sigmoidal modificat - pentru captarea principalelor elemente ale curbei clasate.

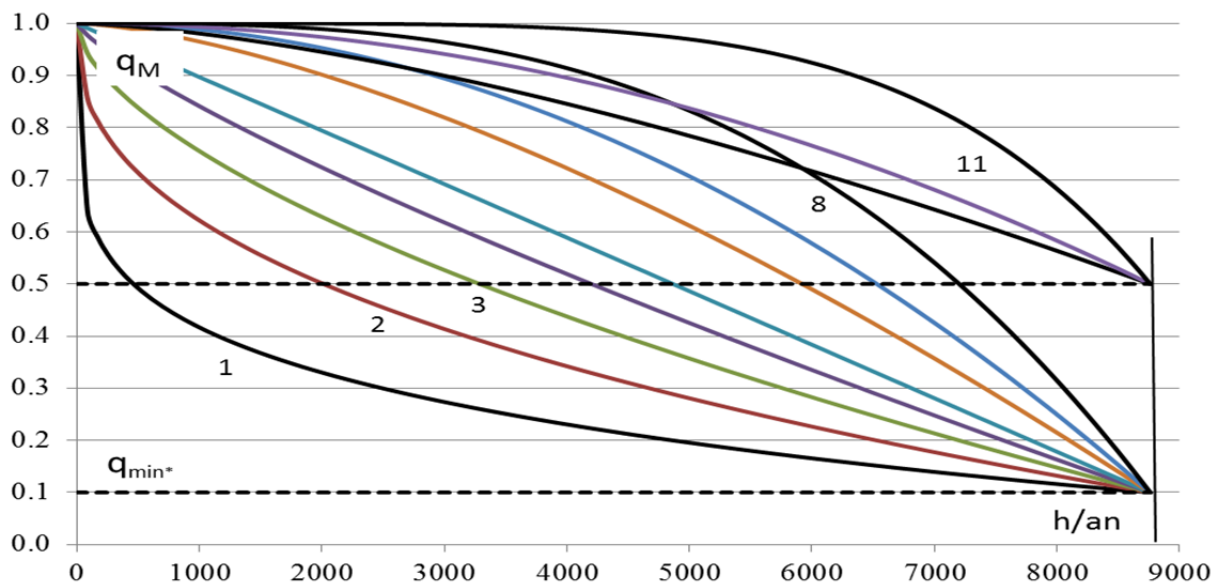


Figura 2. O diversitate de curbele anuale clasate descrise cu ecuația So-Ro.

Tabelul 1. Datele utilizate la aplicarea modelului So-Ro

Parametri	Numărul curbei în figura 2										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sarcina minimă, q_{\min}^*	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5
Factorul de neuniformitate β	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5	2,0	3,0	1,5	2,0	5,0
Durata T_M , h/an	2190	3129	3833	4380	4818	5606	6132	6789	7008	7300	8030

2. UN NOU MODEL ANALITIC AL CURBEI CLASATE

2.1. Structura modelul CC-ST

Modelul propus $q_{CC}(\tau)$ realizează o integrare a două funcții – a funcției putere So-Ro $q_{SR}(\tau)$ și a funcției logistice modificate $q_L(\tau)$:

$$q_{CC}(\tau) = q_{SR}(\tau) - q_L(\tau) \quad (2)$$

Astfel, conform (2), curba clasată a sarcinii termice va rezulta în urma deducerii valorii funcției logistice din valoarea funcției So-Ro pentru fiecare

moment de timp τ , $\tau = 1, \dots, \tau_{an}$. În figura 3 sunt prezentate două CC-ST, obținute prin aplicarea noului model pentru două diferite regimuri de consum.

Prima funcție captează câteva elemente cheie ale CC-ST: (i) evoluția descendentă a sarcinii în timp, pornind de la valoarea maximă q_M și până la valoarea minimă q_{\min} și (ii) intensitatea consumului de energie (frecvența apariției valorilor clasate ale sarcinii sau suprafața de sub CC).

A doua funcție oferă posibilitatea modelării pe curba clasată a elementului „cădere abruptă” sau „coborâre în pantă” (elementul CA/CP).

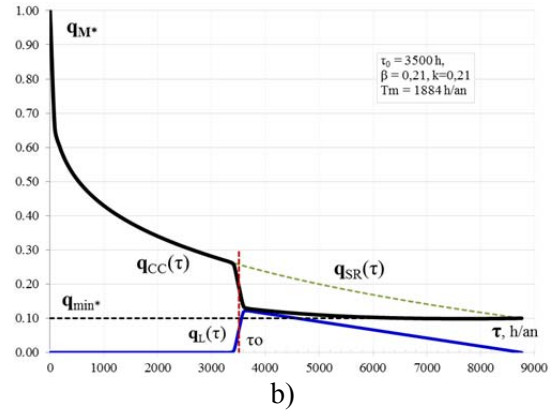
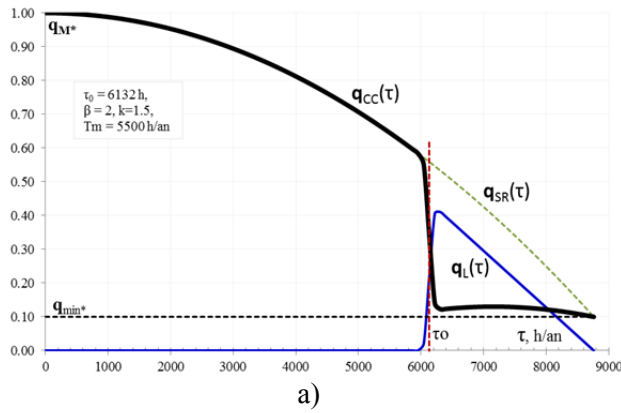


Figura 3. Ilustrarea structurii modelului analitic al CC-ST: curbele - $q_{SR}(\tau)$, $q_L(\tau)$ și $q_{CC}(\tau)$.

Plecând de la funcția putere So-Ro, prezentată sub forma

$$q_{SR}(\tau) = q_M \cdot \left[1 - (1 - q_{\min} / q_M) \cdot (\tau / \tau_{an})^\beta \right] \quad (3)$$

și funcția logistică modificată

$$q_L(\tau) = q_M \cdot \frac{k \cdot (1 - \tau / \tau_{an})}{1 + e^{-m \cdot (\tau - \tau_0)}} \quad (4)$$

ecuația (2) a curbei clasate obține forma:

$$q_{CC}(\tau) = q_M \left[1 - (1 - q_{\min} / q_M) \cdot (\tau / \tau_{an})^\beta - \frac{k \cdot (1 - \tau / \tau_{an})}{1 + e^{-m \cdot (\tau - \tau_0)}} \right] \quad (5)$$

În unități relative pentru funcțiile (3)-(5) avem

$$q_{SR}^*(\tau_*) = 1 - (1 - q_{\min}^*) \tau_*^\beta \quad (6)$$

$$q_L^*(\tau_*) = \frac{k \cdot (1 - \tau_*)}{1 + e^{-m \cdot (\tau_* - \tau_{0*})}} \quad (7)$$

și

$$q_{CC}^*(\tau_*) = 1 - (1 - q_{\min}^*) \tau_*^\beta - \frac{k \cdot (1 - \tau_*)}{1 + e^{-m \cdot (\tau_* - \tau_{0*})}} \quad (8)$$

în care Q și q_* reprezintă valoarea absolută și respectiv relativă a sarcinii termice curente,

$q_{tr*} = q_{tr} / q_M$; $k \cdot (1 - \tau_*)$ - valoarea asimptotei superioare a funcției logistice; m - panta curbei logistice în punctul $\tau_* = \tau_0$; τ și τ_* - durata curentă și durata curentă relativă, $\tau_* = \tau / \tau_{an}$;

Q_M , Q_{med} și Q_{min} - valorile maximă (de calcul), medie și minimă a sarcinii în anul respectiv;

Q_{med*} și Q_{min*} - valorile relative ale sarcinii medii și respectiv sarcinii minime, raportate la valoarea maximă - $Q_{med*} = Q_{med} / Q_M$, $Q_{min*} = Q_{min} / Q_M$;

Q_{med*} reprezintă și factorul de aplatizare al curbei de sarcină;

Q_{med*} și Q_{min*} sunt indicatori, care reflectă cantitativ neuniformitatea consumului.

În figura 4 pentru exemplificare este prezentat un șir de curbe clasate obținute cu aplicarea noului model, iar figura 5 oferă posibilitatea aprecierii calitative a diferenței între modelul existent de prezentare a CC-SR și modelul propus. Curbele realizate prin linii întrerupte corespund modelului So-Ro, iar cele cu linii continue – modelului propus.

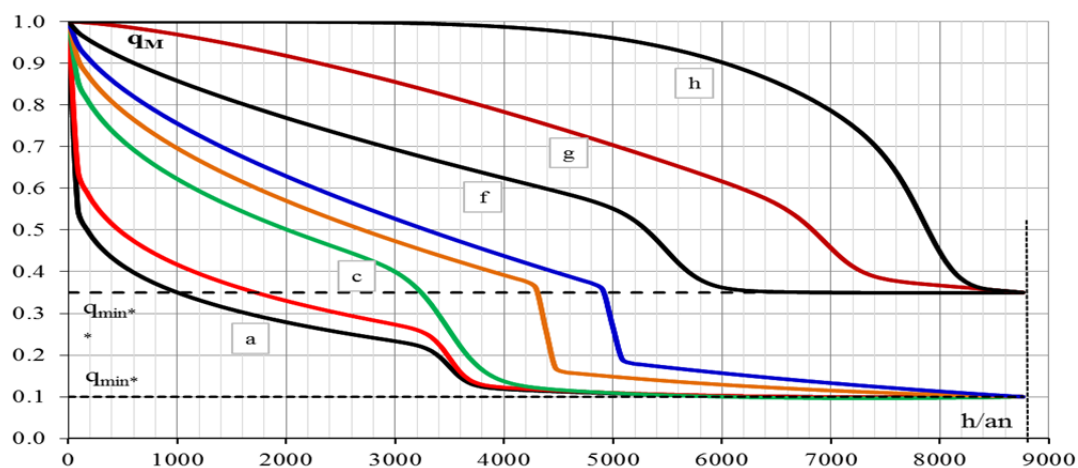


Figura 4. O diversitate de curbe anuale obținute prin aplicarea modelului (5).

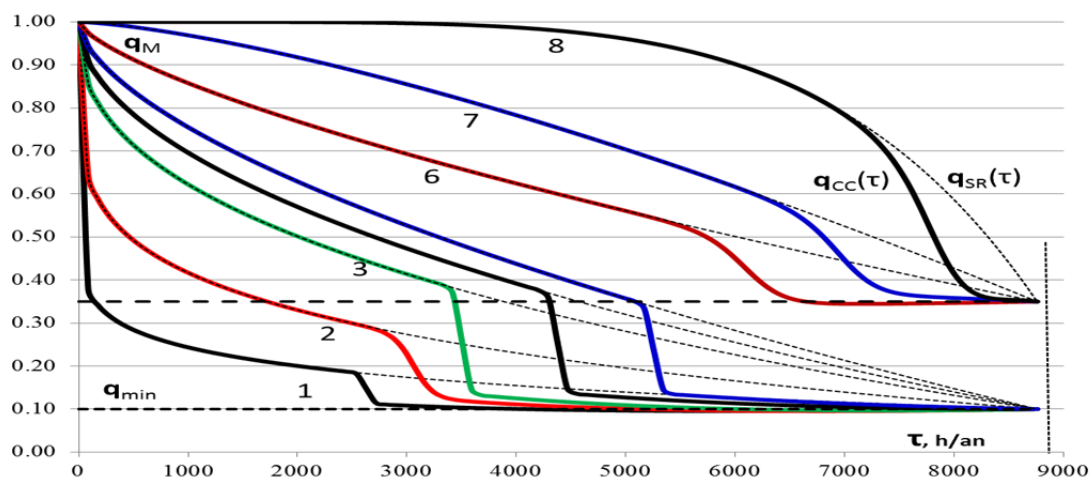


Figura 5. O ilustrare a diferenței dintre calitatea modelul So-Ro și a celui propus.

Datele inițiale caracteristice acestor curbe sunt prezentate în tabelul 2. Tot în acest tabel sunt aduse și valorile duratei de utilizare a sarcinii maxime pentru curbele studiate – T_{M-ST} și T_{M-CC} .

2.2. Funcția logistică și caracteristicile ei

2.2.1. Generalități

Cercetările arată că modelarea pe curba clasată a unei căderi abrupte a sarcinii sau coborâri în pantă poate fi realizată prin utilizarea așa-numitei funcții logistice, cunoscute și ca funcția Verhulst-Pearl, inițial propusă de Verhulst (1838) pentru a descrie creșterea populației umane, iar mai apoi

redescoperită de Pearl (1925) [17 - 19].

Ecuția (9) de mai jos reprezintă cel mai simplu model logistic (forma standard), iar ecuația (10) – o formă mai generală, ce permite de a varia atât pragului de saturație k , cât și momentul de timp τ_0 în preajma căruia are loc diminuarea rapidă a valorii q_τ

$$q_L(\tau) = \frac{1}{1 + e^{-m \cdot \tau}}, \quad (9)$$

$$q_{LI}(\tau) = \frac{k}{1 + e^{-m \cdot (\tau - \tau_0)}}. \quad (10)$$

În ecuațiile (9) - (10) avem următorii parametri:

τ - un moment pe axa timpului;

τ_0 - un moment de timp, reprezentativ pentru o perioadă în care valoarea funcției se diminuează rapid (cădere abruptă sau coborâre în pantă);

k - valoarea asimptotei superioare sau pragul de saturație;

m - panta curbei în punctul de inflexiune.

β - factorul de neuniformitate al curbei clasate,

$$\beta = (q_{med^*} - q_{min^*}) / (1 - q_{med^*}) \text{ sau} \\ \beta = (T_M - T_{an} \cdot q_{min^*}) / (T_{an} - T_M) \quad (11)$$

Tabelul 2. Datele utilizate la realizarea curbelor prezentate în figura 5.

Nr. curbă, figura 5	q_{min^*}	β	k	m	τ_0^*	τ_0	T_{M-SR}	T_{ML}	T_{M-CC}
	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.	u.r.	h	h/an	h/an	h/an
1	0,1	0,08	0,1	30	0,30	2628	1460	215	1245
2	0,1	0,2	0,22	100	0,35	3066	2190	407	1783
3	0,1	0,4	0,4	300	0,40	3504	3129	631	2498
4	0,1	0,5	0,45	300	0,50	4380	3504	493	3011
5	0,1	0,6	0,5	300	0,60	5256	3833	350	3482
6	0,35	0,7	0,4	50	0,70	6132	5411	158	5253
7	0,35	1,4	0,8	50	0,80	7008	6388	140	6247
8	0,35	5,0	3,0	50	0,90	7884	7811	131	7680

Curba logistică este o curbă cu creștere limitată, care are forma unui S-alungit (figura 6). Ea caracterizează o evoluție care pornește de la limita asimptotică inferioară cu valoarea zero, iar în final ajunge la limita superioară cu valoarea k .

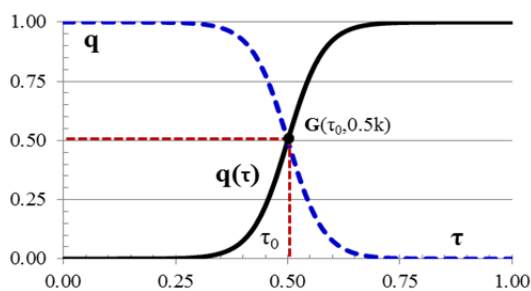


Figura 6. Funcțiile logistică și logistică-inversată (linia intreruptă).

La început evoluția se desfășoară lent, asemănător creșterii simple exponențiale. Mai apoi creșterea se accelerează, între timp se trece printr-un punct $G(\tau_0, q_0)$, după care creșterea în mod lent se diminuează, astfel evoluția îndreptându-se asimptotic către limita superioară. Punctul G al curbei, reprezintă “punctul de inflexiune”, în care funcția este convexă de o parte a lui τ_0 și concavă pe cealaltă parte sau viceversa. În punctul de inflexiune

viteza creșterii valorii funcției este maximă; coordonatele punctului G sunt $(\tau_0, 0,5k)$.

Interesul principal față de modelul logistic, în esență, ține de posibilitatea obținerii așa numitei funcții logistice-inversate (figura 6), ce are o formă potrivită elementului CA/CP al CC-ST. Din figura 6 se vede că funcția logistică este simetrică față de punctul de inflexiune; dacă funcția logistică este descrisă de ecuația (10), atunci pentru funcția logistică inversată avem:

$$q_{LI}(\tau) = q_L(-\tau) \quad (12)$$

sau

$$q_{LI}(\tau) = k - \frac{k}{1 + e^{-m \cdot (\tau - \tau_0)}} \quad (13)$$

Figura 7 ilustrează posibilitatea mișcării curbei logistice pe axa timpului, precum și variației pantei acestei curbe.

Este important de observat că în modelul propus (2) valorile funcției logistice se deduc din valorile funcției SR, ceea ce face ca în final să rezulte forma unei *funcții logistice inversate*, cu valori descrescătoare, așa cum și arată în realitate o curbă clasată.

2.2.2. Particularitățile funcției logistice aplicate și semnificația parametrilor

scoate în evidență unele particularități ale ei.

$$q_L(\tau) = \frac{k \cdot (1 - \tau_*)}{1 + e^{-m \cdot (\tau_* - \tau_0)}} \quad (14)$$

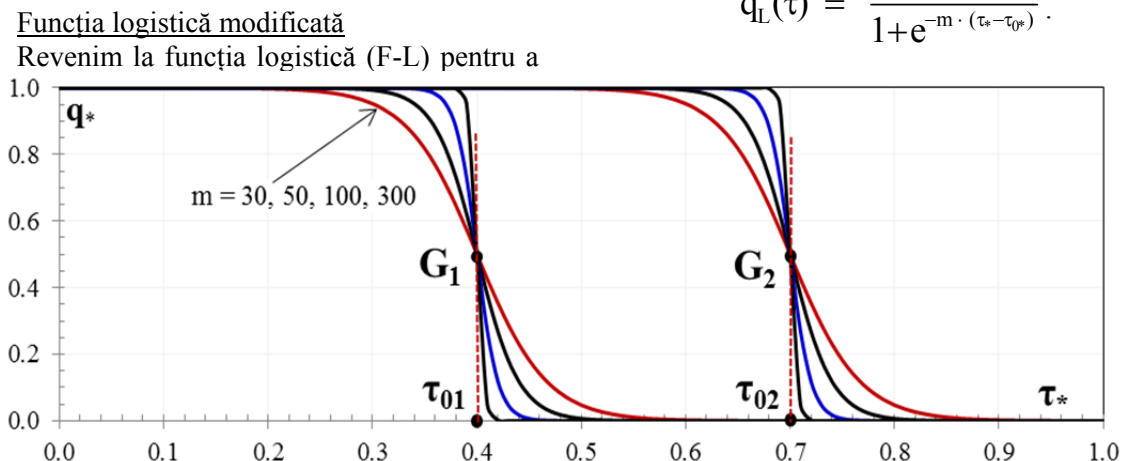


Figura 7. Graficele funcției logistice inversate pentru diferite valori ale lui m și τ_0 .

Funcția (14), parte a modelului propus (2), are o formă modificată față de varianta clasică a F-L (vezi expresiile (9)-(10) și figura 6 și 8). Necesitatea introducerii componentei $(1 - \tau_*)$ în această funcție este determinată de faptul, că funcția So-Ro $q_{SR}(\tau)$ în (2), pentru $\tau \rightarrow \tau_{an}$ asigură coborârea sarcinii până la valoarea minimă q_{min} ; aceasta înseamnă că valorile funcției logistice în intervalul de timp $\tau_0 - \tau_{an}$ trebuie să tindă către zero. Deci, prezența componentei $(1 - \tau_*)$ în (14) asigură în intervalul de timp $\tau_0 - \tau_{an}$ o diminuare graduală a impactului F-L asupra formei CC, astfel încât către sfârșitul anului ($\tau = \tau_{an}$ sau $\tau_* = 1$) valoarea F-L să devină egală cu zero (figura 8).

Acum vom prezenta expresia (14) în forma:

$$q_L(\tau) = A/B, \text{ unde } A(\tau) = k \cdot (1 - \tau)$$

și $B(\tau) = 1 + e^{-m(\tau - \tau_0)}$. Ușor de observat că:

(i) funcția $A(\tau) = k \cdot (1 - \tau)$ reprezintă o linie dreaptă descendentă ce intersectează axa

ordonatelor în punctul cu valoarea k și axa absciselor - în punctul cu valoarea τ_{an} (figura 8);

(ii) la o cădere abruptă a sarcinii ($m \approx 200-300$) valoarea lui $B(\tau)$ în intervalul de timp $0 - \tau_0$ este foarte mare; în consecință, valoarea funcției $q_L(\tau)$ în acest interval este neglijabil de mică. Altfel spus, în intervalul de timp $0 - \tau_0$ funcția $q_L(\tau)$ practic nu are impact asupra alurii CC-ST (vezi figura 8).

(iii) În apropierea nemijlocită de punctul τ_0 valoarea funcției $q_L(\tau)$ crește vertiginos, iar imediat după punctul τ_0 creșterea încetinește și curba $q_L(\tau)$ asimptotic se apropie de linia dreaptă descendentă $A(\tau)$, ce conduce către valoarea zero.

(iv) valoarea funcției $q_L(\tau)$ în punctul de inflexiune τ_0 nu depinde de panta curbei m și întotdeauna este egală cu $0,5 \cdot A(\tau_0)$ sau $0,5k \cdot (1 - \tau_0)$. Figura 9 ilustrează procesul obținerii CC-ST prin deducerea valorilor F-L din valorile funcției So-Ro.

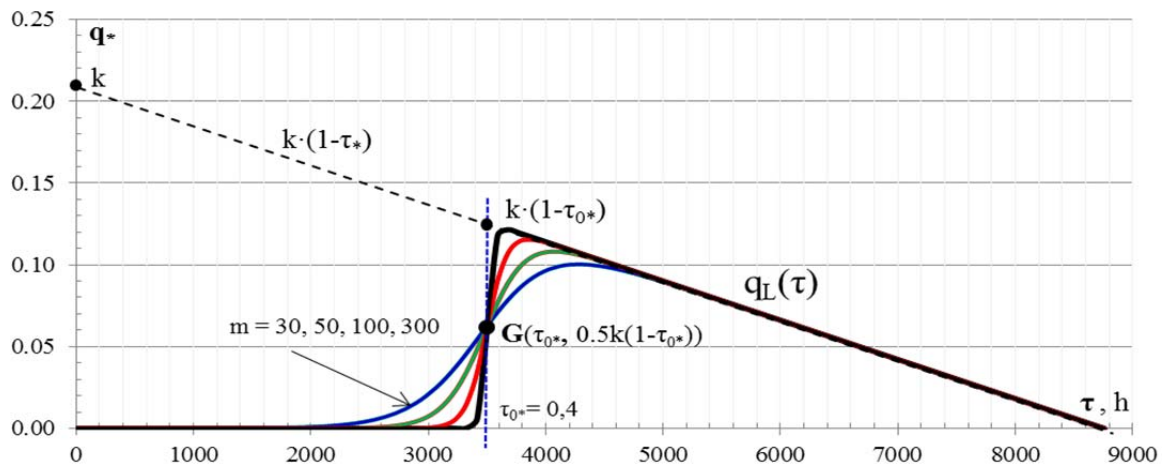


Figura 8. Forma funcției logistice modificate.

2.3. Determinarea parametrilor modelului.

A prezenta analitic CC-ST înseamnă a cunoaște cei trei parametri ce caracterizează funcția So-Ro (q_M , q_{med} sau T_M și q_{min}) și alți trei - ai funcției logistice (τ_0 , k și m). Modul de determinare a acestor parametri va depinde de disponibilitatea datelor necesare, de faza la care se află sistemul energetic considerat (planificare / proiectare / operațională). În acest sens, mai jos, vom considera două situații informaționale.

Situația 1: Curba clasată este cunoscută în formă tabelară.

Această situație este caracteristică, în primul rând, unui SAET existent, dotat cu sisteme de măsurare. Pentru o perioadă de studiu considerată (lună, sezon de încălzire, an) sistemul informațional respectiv oferă posibilitatea înregistrării valorilor sarcinii, care ulterior fiind prelucrate, permit de a obține CC-ST în forma tabelară, iar la dorință, și în forma grafică. Indiferent de modul cum CC a fost obținută este nevoie de a deține descrierea ei analitică. Identificarea valorilor celor șase parametri ai modelului pentru situația considerată reprezintă un exercițiu comparativ simplu ce include următorii pași:

(i) în baza măsurărilor sunt cunoscute cele trei valori caracteristice ale sarcinii - valoarea maximă q_M , medie q_{med} și minimă q_{min} , care permit de a determina parametrii modelul SR - $q_{M-SR} = q_M$,

$q_{med-SR} = \delta \cdot q_{med}$, $q_{min-SR} = q_{min}$ și β , unde β urmează a fi calculat cu expresia (11). În formulele de calcul ale lui β se recomandă de a accepta -

$q_{med^*-SR} = \delta \cdot q_{med^*}$ și $T_{M-SR} = \delta \cdot T_{M-CC}$, unde coeficientul de corecție δ este egal cu: 1.2 - pentru

$T_{M-CC} \leq 2500 \text{ h/an}$, 1.15 - pentru $2500 < T_{M-CC} < 5000 \text{ h/an}$ și 1.02 - pentru $T_{M-CC} \geq 5000 \text{ h/an}$;

(ii) momentul de timp τ_0 , determinat de durata sezonului de încălzire, reprezintă o mărime cunoscută pentru fiecare caz în parte;

(iii) parametrul k , ce caracterizează înălțimea căderii/coborârii sarcinii în preajma punctului τ_0 , poate fi calculat cu expresia:

$$k = \frac{1 - \tau_{0*}^\beta}{1 - \tau_{0*}} \cdot (1 - q_{min*})$$

Exemplu: Pentru $q_{min} = 0,1$, $\beta = 0,21$ și $\tau_{0*} = 0,4$ avem:

$$k \leq (1 - 0,4^{0,21}) / (1 - 0,4) \cdot (1 - 0,1) = 0,262$$

în final, valoarea m poate fi identificată aplicând metoda încercărilor succesive ($m = 30, 50, 100 \dots 300$), cu verificarea coincidenței curbei modelate cu curba înregistrată, sau în baza recomandărilor: cădere abruptă - $m=300$; coborâre în pantă - $m = 50$ dacă durata $\tau_{CP} \approx 1400 - 1600$; $m = 100$, $\tau_{CP} \approx 600-800$ și $m = 150$, $\tau_{CP} \approx 500 - 600$ ore/an.

Situația 2: sistem energetic la faza de planificare.

La această etapă este cunoscută structura consumatorilor de energie termică, sarcina maximă și sarcina minimă anuală a acestora și pierderile orientative în rețea.

Consumul anual de energie pentru fiecare categorie de consumatori poate fi determinată în baza valorii sarcinii maxime și valorii-tip a duratei T_M sau pe o altă cale. Cunoscând consumul anual al energiei ușor determinăm valoarea medie q_{med} a sarcinii SAET, iar ulterior și valoarea T_M . Astfel putem determina parametrii modelului SR. Parametrii modelului logistic se determină ca și în cazul precedent.

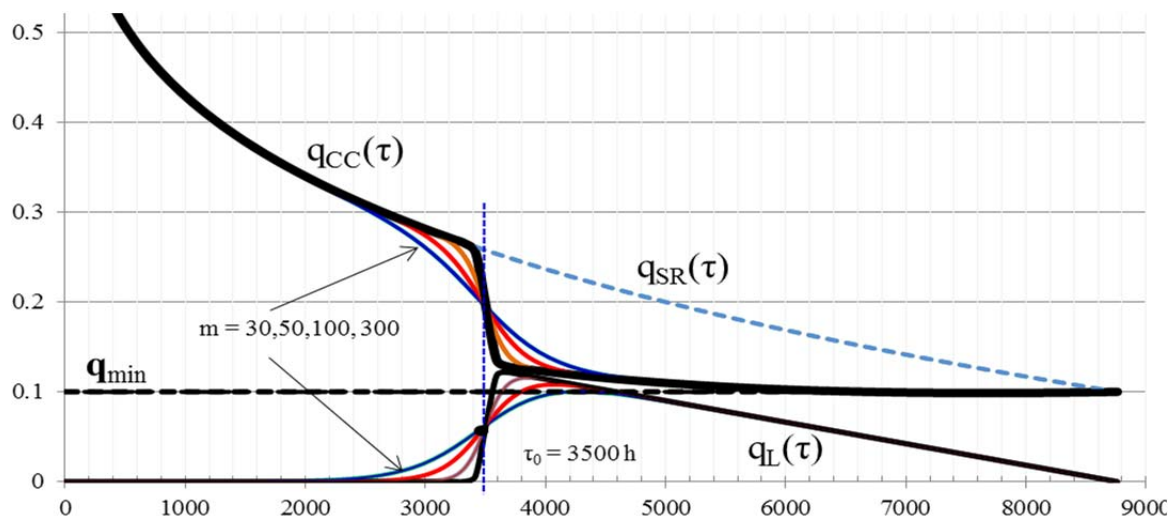


Figura 9. Edificarea CC-ST prin deducerea din $q_{SR}(\tau)$ a lui $q_L(\tau)$.

CONCLUZII

1. Consumul de căldură pentru încălzire și prepararea a.c.m. este determinat preponderent de temperatura exterioară. Întrucât curba clasată a temperaturilor exterioare reprezintă o funcție logistica inversată (un sigmoid), atunci și curba clasată a sarcinii termice a sistemului de alimentare cu energie termică va avea forma unui S-inversat alungit sau unui dublu S-inversat. Modelele aplicate până în prezent la descrierea curbelor clasate ale consumurilor energetice permit de a reda doar curbe ce nu-și schimbă concavitatea. Însă forma curbelor reale este mai complexă - cu cădere abruptă sau cu coborâre în pantă, ceea ce necesită aplicarea unor modele mai performante de aproximare a curbei clasate de consum.

2. În lucrare s-a propus un model matematic al curbei clasate a sarcinii termice a unui sistem de alimentare, ce acoperă necesarul de energie pentru încălzire, apă caldă menajeră, precum și a unor consumatori industriali, care permite de a realiza curbe clasate de forma unui S - alungit, inclusiv cu elemente de cădere abruptă a sarcinii sau coborârea în pantă a ei.

Bibliografie

1. **Welsch M., Pye S., Keles D., Faure A., et al.** *Europe's energy transition. Insights for policy making. Findings Informing the European Commission.* ISBN: 978-0-12-809806-6.
2. **Flexibility in the energy transition. A tool-box for gas DSOs, Eurogas, Feb.2018, 56 p.**

3. **Delivering a New Deal for Energy Consumers, COM (2015) 339, Brussels, 15.7.2015, 10 p.**

4. **Sajn N.,** *Electricity 'Prosumers', European Parliamentary Research Ser., Briefing Nov. 2016, 10 p.*

5. **Wieland, C., Meinel, D., Eyerer, S., Spliethoff, H.,** *Innovative CHP concept for ORC and its benefit compared to conventional concepts, Applied Energy 183, p. 478–490, 2016 <http://iranarze.ir/wp-content/uploads/2016/10/E2131.pdf>.*

6. **Procurement Guidelines For Wood Biomass Heating, Sustainable Energy Ireland, Renewable Energy Info Office, Buro Happold, Dublin, 2005. http://www.seai.ie/Renewables/Bioenergy/Wood_heating_procurement_guidelines.pdf**

7. **Biomass Boiler System Sizing Tool. User Manual. Version 6.8, Carbon Trust, UK., 2013, 83p.**

<https://www.carbontrust.com/media/332513/biomass-software-tool-user-manual-v68.pdf>.

8. **Brandweiner Otmir,** *Lower return temperatures within District heating Systems: A Comparison of Danish and German District heating Systems, University of Aalborg, Aalborg, Denmark, MSc. 2009, 94p.*

9. http://projekter.aau.dk/projekter/files/17613436/Master_Thesis_Brandweiner.pdf.

10. **Energetisch und wirtschaftlich optimierte Biomasse-Kraft-Wärmekopplungssysteme auf Basis derzeit verfügbarer Technologien, Projektnummer 812771, Güssing, 2008, 229p.**

11. **Noussan M. (2015).** *Wood biomass CHP in district heating systems: simulation and operation analysis. PhD thesis, Politecnico di Torino, Torino, 2015, 131p.*

- 12. Riachi Y., Rangod N., Guillemot B.** *A numerical model for determining hourly heating and DHW loads in district heating systems. The 14th International Symposium on District Heating and Cooling, September 7th to September 9th, 2014, Stockholm, Sweden.*
- 13. Pedersen L.,** *Load Modelling of Buildings in Mixed Energy Distribution Systems, PhD thesis, Trondheim, Norwegian University of Science and Technology, 2007.*
- 14. Harrestrup M. & Svendsen S.,** *Changes in heat load profile of typical Danish multi-storey buildings when energy-renovated and supplied with low temperature district heating, International Journal of Sustainable Energy, 34:3-4, 232-247, 2015, DOI: 10.1080/14786451.2013.848863.*
- 15. Athanasovici, V.,** *Tratat de inginerie termică. Alimentări cu căldură. Cogenerare. Editura AGIR, București, 2010, 1758 p.*
- 16. Sochinsky, B.,** *Die Vorausberechnung der Selbstkosten von Elektrizitätswerken. etz-a, vol. 39., 1918, S. 125.*
- 17. Vasant P., Voropai N.,** *Sustaining Power Resources through Energy Optimization and Engineering. Global book series Advances in Computer and Electrical Engineering (ACEE), 2016, page 63.*
- 18. Verhulst, Pierre-François (1838).** "Notice sur la loi que la population poursuit dans son accroissement". *Correspondance mathématique et physique.* 10: 113–121. Retrieved 3 Dec.2014.
- 19.** Pearl-Verhulst logistic process.
- 20.** *Encyclopedia of Mathematics.* <https://www.encyclopediaofmath.org>.
- 21. Henderson, P.A. & Seaby, R. M.** *Growth II. Pisces Conservation Ltd., Lymington, England, 2006, 97p. <http://www.pisces-conservation.com/pdf/growthiihelp.pdf>.*