

Revista Română de Inginerie Civilă
Indexată în bazele de date internaționale (BDI)
ProQuest, INSPEC, EBSCO
INDEX COPERNICUS, ULRICH'S și JOURNALSEEK
Volumul 9 (2018), Numărul 1
ISSN 2068-3987

Prezent și perspective în domeniul energiei clădirilor Present and perspectives in the field of building energy <i>Ioan Boian</i>	1-14
Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conductă îngropată Evaluation of the thermal flow from the thermal agent that flows through a buried pipeline <i>Florin Iordache, Adrian Marin</i>	15-27
Challenges in achieving a high indoor air quality in an educational building <i>Andreea Vartires, Andrei Damian, Andrei Olariu, Andrei Istrate, Tiberiu Catalina, Elena Zorilă</i>	28-41
Nomograme pentru calculul simplificat de proiectare de dimensionare a barierelor acustice Abacuses for acoustic barrier sizing during design stage <i>Mihai Vlad Ionița, Vlad Iordache</i>	42-51
Parameters study of the electric power cables <i>Cristina Gabriela Sărăcin, Marin Sărăcin</i>	52-59
Smogul estival și Ozonul. Studiu de caz pentru București Summer smog and Ozone. Bucharest case study <i>Florinela Ardelean</i>	61-69
Cladiri reabilitate termic – Consecințe energetice Thermally rehabilitated buildings - Energy constellations <i>Florin Iordache, Cristina Stanisteanu</i>	70-77

MATRIX ROM
OP CHIAJNA CP 2
077040 – ILFOV
Tel. 021 4113617 Fax. 021 4114280
e-mail: office@matrixrom.ro
www.matrixrom.ro

COLEGIUL EDITORIAL

Prof. dr. ing. Ioan BORZA, *Universitatea Politehnica Timisoara*
Conf. dr. ing. Lucian CARSTOLOVEAN, *Universitatea Transilvania Brasov*
Conf. dr. ing. Vasilica CIOCAN, *Universitatea Tehnica Gh. Asachi Iasi*
Prof. dr. Stefano CORGNATI, *Politecnico di Torino, Italy*
Conf. dr. ing. Andrei DAMIAN, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Prof. dr. ing. Carlos Infante FERREIRA, *Delft University of Technology, The Netherlands*
Prof. dr. ing. Dragos HERA, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti, membru onorific*
Dr. Jaap HOGELING, *Dutch Building Services Knowledge Centre, The Netherlands*
Prof. dr. ing. Ovidiu IANCULESCU, *membru onorific*
Prof. dr. ing. Anica ILIE, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Prof. dr. ing. Gheorghe Constantin IONESCU, *Universitatea Oradea*
Prof. dr. ing. Florin IORDACHE, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti - director editorial*
Prof. dr. ing. Vlad IORDACHE, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Prof. dr. ing. Ioan MOGA, *Universitatea Tehnica Cluj Napoca*
Prof. dr. ing. Nicolae POSTAVARU, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Prof. dr. ing. Daniela PREDA, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Prof. dr. ing. Adrian RETEZAN, *Universitatea Politehnica Timisoara*
Conf. dr. ing. Daniel STOICA, *Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti*
Conf. dr. ing. Constantin TULEANU, *Universitatea Tehnica a Moldovei Chisinau, Republica Moldova*
Prof. dr. ing. Ioan TUNS, *Universitatea Transilvania Brasov*
Conf. dr. ing. Eugen VITAN, *Universitatea Tehnica Cluj Napoca*

Revista Română de Inginerie Civilă este publicată și finanțată de editura
MATRIX ROM
Director executiv: mat. Iancu ILIE

ISSN 2068-3987

Prezent și perspective în domeniul energiei clădirilor

Present and perspectives in the field of building energy

Prof. Ioan Boian, PhD, Romania

Rezumat. Încălzirea globală, asociată cu creșterea concentrațiilor de gaze cu efect de seră din atmosferă, în principal de dioxid de carbon, a condus la necesitatea reducerii consumului de combustibili fosili, ca principali generatori ai schimbărilor climatice, la scară planetară. Ca urmare, au fost elaborate programe de măsuri de economisire a energiei și la nivelul Uniunii Europene, care vizează reducerea consumului de energie în sectorul clădirilor și al transporturilor. Eficiența îmbunătățită a clădirilor și înlocuirea progresivă a surselor tradiționale de energie bazate pe combustibili fosili cu energia din surse regenerabile reprezintă vectorii principali în această acțiune. Reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră cu aproximativ 90% până în 2050 este o țintă foarte ambițioasă, ceea ce ridică întrebări cu privire la posibilitatea de atingere a acesteia. Fezabilitatea acestui obiectiv, complet verosimilă, este demonstrată prin exemple practice și sunt prezentate câteva concluzii despre posibilele consecințe care ar trebui evitate, sau tratate cu grijă.

Abstract. Global warming, associated with the increasing of greenhouse gas concentrations in the atmosphere, mainly the carbon dioxide, has led to the need of using less fossil fuels, as major generators of climate change, on a planetary scale. As a result, programs of energy saving measures have been developed at the level of the European Union too, aiming at reducing energy consumption in the buildings, and transport sector. The improved efficiency of buildings and the progressive replacement of traditional energy sources based on fossil fuels with renewable energy ones are main vectors in this action. Reducing greenhouse gas emissions by about 90% by 2050, is a very ambitious target, which raises questions regarding the possibility of reaching it. The feasibility of this target, completely verisimilar, is demonstrated through practical examples, and some conclusions about possible consequences that should be avoided or treated with care are presented.

Încălzirea globală și emisia de gaze cu efect de seră (GES)

Tendința de modificare a climatului, care se manifestată prin efecte uneori dezastruoase, este pusă clar în evidență prin măsurătorile statistice ale temperaturii atmosferice capătând relevanță sub forma numărului de grade-zile: înregistrările efectuate la scara UE indică o reducere a numărului de grade-zile de încălzire cu

aproximativ 13% după 1980, precum și o majorare cu peste 50% a celor de răcire, așa cum se poate vedea în Figura 1. Reducerea numărului de grade-zile de încălzire semnifică un necesar de căldură mai scăzut, iar majorarea celui de răcire conduce la un necesar de frig de confort mai mare.

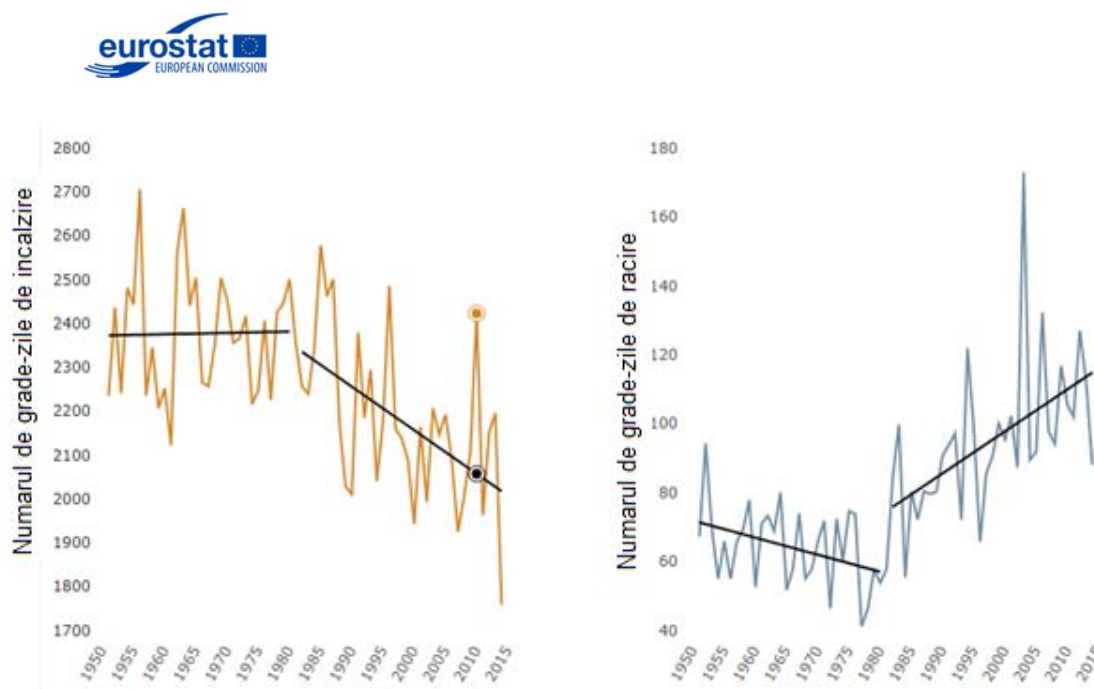


Fig.1. Evoluția numărului de grade-zile de încălzire, respectiv de răcire și tendința acestora (valori medii pentru UE).

Institute de cercetări din lumea întreagă și organisme de monitorizare internaționale asociază aceste modificări climatice cu creșterea continuă a concentrației de GES din atmosferă, dintre care dioxidul de carbon, CO₂ este principalul responsabil pentru efectul de seră. Eforturile de limitare a acestor emisii vizând reducerea lor au ca scop limitarea creșterii temperaturii medii atmosferice la cel mult 2 °C pentru orizontul anului 2050 în vederea evitării dezastrelor. Monitorizarea acestor emisii a permis observarea reducerilor, așa cum reiese din Figura 2, remarcându-se accelerarea tendinței de scădere a emisiilor de GES după 2007, ca efect al introducerii Directivei referitoare la Performanța Energetică a Clădirilor (Energy Performance of Building Directive, EPBD) în special în cazul sectorului rezidențial.

Rezultatul eforturilor de reducere a emisiilor de GES s-a concretizat în procentul de 10%, adică dela 2,22 t CO₂/locuință la 1,98 t CO₂/locuință, ca medie la nivelul UE [1].

Ținta stabilită pentru 2050 comparativ cu anul 1990 referitoare la reducerea emisiilor de CO₂ cu 88...91% implică o îmbunătățire a performanței energetice a clădirilor cu minimum 80...95%.[2].

Prezent și perspective în domeniul energiei clădirilor

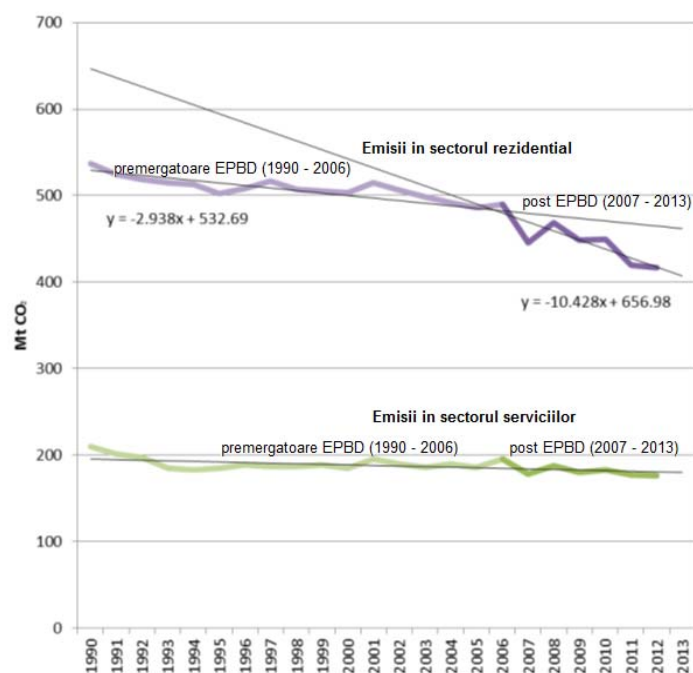


Fig.2. Emisiile totale de GES din sectorul rezidențial, respectiv din cel al serviciilor (corectate în funcție de climat).

(European Commission, based on data from Odyssee database, <http://www.odyssee-mure.eu/>)

Realizări și prevederi referitoare la consumul de energie

Emisiile de GES sunt rezultatul arderii combustibililor fosili ca sursă principală de energie în procesul de dezvoltare economică a oricărei societăți. Consumul de energie aferent asigurării confortului termic acoperă o pondere relativ importantă în majoritatea țărilor, iar cel destinat încălzirii spațiilor joacă rolul principal în toate regiunile globului care nu sunt caracterizate de climă caldă.

Consumul de energie pentru asigurarea confortului termic în mediul construit este influențat direct de condițiile de climat, iar severitatea iernii este prima răspunzătoare pentru cuantumul energiei utilizate pentru încălzire; din acest motiv o analiză a evoluțiilor consumului de energie implică o "normalizare" a condițiilor de calcul a energiei primare, respectiv a celei finale sub forma unei corecții în funcție de climat.

Analiza efectuată asupra consumului final de energie, corectat în funcție de climat, indică o schimbare clară a tendinței de reducere, existente atât în sectorul rezidențial cât și în cel al serviciilor, începând cu anul 2007 și care se menține în continuare. Consumul de energie corectat în funcție de climat a scăzut cu circa 5% ,

adică dela 1,50 toe/locuință (tonnes of oil equivalent, toe; 1toe=11,63MWh) la 1,42 toe/locuință (Source: Odyssee database, <http://www.odyssee-mure.eu/>).

Evaluările referitoare la consumul de energie și la emisiile de GES au la bază ultimele date disponibile și reprezintă tendințele ce s-au manifestat începând cu anul

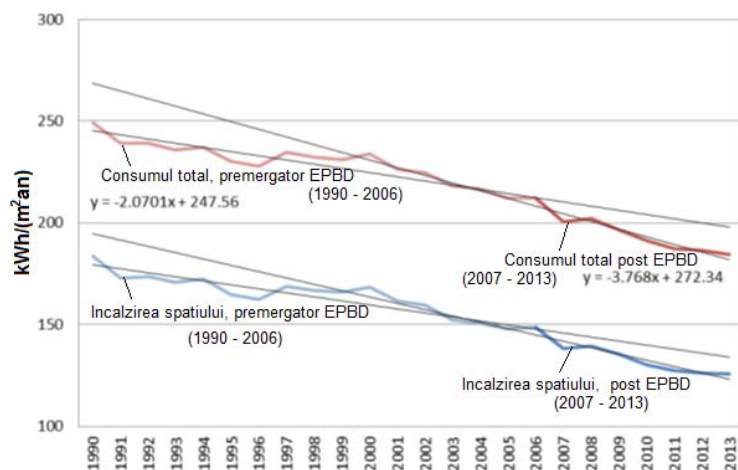


Fig.3. Evoluția consumului final anual total (încălzire + acc) pe metru pătrat și an pentru clădirile rezidențiale, respectiv consumul final anual pentru încălzire (corectate în funcție de climat). (European Commission, based on data from Odyssee database, <http://www.odyssee-mure.eu/>)

kWh/(m² an) începând cu 2007, tendința menținându-se în continuare.

Diferența dintre cele două valori menționate mai înainte ($2,1 - 3,8 = -1,7$ kWh/(m² an)) reprezintă o medie la nivelul UE, însă pentru țările UE aceasta a avut intensități diferite, semnul minus reprezentând accelerarea ritmului de reducere a consumului mediu anual de energie. Astfel, țări precum Grecia ($-10,5$ kWh/(m² an)), Ungaria ($-7,6$ kWh/(m² an)), Irlanda (-6 kWh/(m² an)) și altele au înregistrat un ritm mai pronunțat de reducere față de media UE; spre deosebire de acestea, țări precum Polonia, Estonia, sau Slovenia și Austria au prezentat o încetinire a acestui ritm de reducere a scăderii consumului final de energie după 2007. În cazul României ($+11$ kWh/(m² an)) se constată o încetinire evidentă a ritmului, chiar și mai mare decât în cazul Poloniei, ceea ce se explică probabil prin faptul că țara noastră nu a mai furnizat date statistice către UE între 2011 și 2013 (pentru 2011 s-a raportat valoarea de 325 kWh/(m² an)).

În domeniul rezidențial din UE consumul mediu final de energie totală (încălzirea spațiului și a apei calde de consum, acc) pe metru pătrat este încă foarte ridicat, situându-se la valoarea de 175 kWh/(m² an) pentru 2013. Ca urmare a tendinței de scădere a consumului final de energie pe metru pătrat pentru încălzirea spațiului, valoarea medie la nivelul UE s-a situat la 125 kWh/(m² an) în 2013, reprezentând aproximativ 72% din

1990. Evaluarea impactului EPBD se referă la actualizarea din 2007 a scenariului de referință PRIMES și de aceea 2007 este anul de referință. [3]. Introducerea EPBD în 2007 a influențat în mod vizibil, la nivelul UE, scăderea anuală a consumului final mediu de energie în sectorul rezidențial. Astfel, din Figura 3 se poate observa cum a evoluat această scădere pentru sectorul rezidențial, la nivelul UE, dela 2,1 kWh/(m² an) anterior 2006 către 3,8

cea caracteristică pentru 1990; consumul final total a urmat o tendință similară de reducere atingând un nivel de 82%.

Prin renovarea majoră a clădirilor existente se urmărește reducerea în continuare a necesarului de energie pentru încălzirea spațiului, prevăzându-se pentru un nivel optim de cost, valori de 50...70 kWh/(m² an). În cazul clădirilor cu consum de energie aproape zero (Nearly Zero Energy Buildings, *NZEB*) se consideră că acestea vor necesita, de regulă, 15...30 kWh/(m² an). În privința sectorului terțiar/nerezidențial s-a înregistrat o creștere a consumului final corectat după climat, după 1990, anume de la 120...130 Mtoe (1Mtoe=11,63TWh) până la circa 160 Mtoe în 2007 menținându-se aproximativ constant până în 2013. Totuși, apariția EPBD a produs un efect de reducere a consumului final anual de energie pe metru pătrat de la circa 350 kWh/(m² an) în 2006, la aprox. 300 kWh/(m² an) în 2013: după 2007 s-a constatat o reducere anuală de - 5,2 kWh/(m² an), așa cum rezultă din Figura 4.

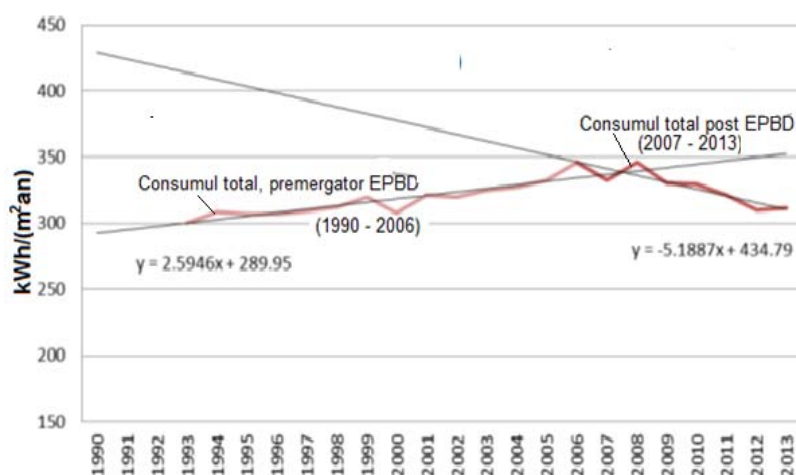


Fig.4. Consumul final anual total pe metru pătrat și an pentru clădirile nerezidențiale (corectat în funcție de climat). (**European Commission, based on data from Odyssee database,** <http://www.odyssee-mure.eu/>)

Scenariul de referință REF2016 prevede o scădere a consumului final de energie cu 56 Mtoe până în 2020 pentru a se ajunge la 485 Mtoe. Acest scenariu confirmă faptul că electrificarea este tendința persistentă, atât datorită cererii în creștere de energie electrică, cât și datorită electrificării procesului de încălzire cu ajutorul pompelor de căldură, precum și a electrificării

sectorului transporturilor (într-o măsură limitată). În privința energiei primare scenariul de referință raportează o scădere totală cu 18,4 % comparativ cu anul de referință 2007, această valoare fiind ușor mai scăzută față de indicativul prevăzut pentru 2020 în UE, referitor la ținta ce va trebui atinsă pe seama eficienței energetice și anume de 20%.

Prevederi referitoare la performanța energetică a clădirilor

Performanța energetică a clădirilor vizează în final reducerea emisiilor de GES tinzând să limiteze consumul de energie primară și fiind rezultatul mai multor acțiuni

alături de îmbunătățirea calității anvelopei. Performanța energetică integrată ia în considerare, pe lângă calitatea izolației clădirii și sistemele tehnice ale clădirii, STC cu diferitele instalații componente (de încălzire, răcire, ventilație, iluminat), precum și poziția, respectiv orientarea clădirii, recuperarea căldurii, aporturile solare active și alte surse regenerabile de energie. Pe această linie se înscriu și tehnologiile integrate de valorificare a energiei regenerabile care au constituit o piață emergentă.

Cerințele minime de performanță energetică care servesc la calculul costului optim suferă periodic un proces de revizuire; altfel spus procesul de revizuire a cerințelor minime este unul iterativ și va duce la o înăsprire periodică a cerințelor minime, inclusiv după 2020. Termenul limită pentru următoarea revizuire este 31 martie 2018 având în vedere prescripțiile existente (5 ani după ultima revizuire). Spre exemplu în Slovacia, cerințele minime de performanță energetică pentru blocurile de locuințe pentru 2013 urmau a fi reduse la jumătate în 2016, datorită rezultatelor calculului nivelurilor optime ale costurilor.

Îmbunătățirea performanței energetice a clădirilor existente se poate realiza în mod optim din punct de vedere al rentabilității în momentul renovării majore a acestora, (de regulă odată la 25 de ani) întrucât în această fază investițiile suplimentare au o pondere mai puțin semnificativă.

Performanța energetică a clădirii în ansamblu, evaluată cu ajutorul certificatului de performanță energetică, CPE, este rezultatul unui proces complex în care designerii și instalatorii au nevoie de proceduri bine stabilite de analiză și evaluare prin calcul, dependente atât de tehnologie cât și de locație.

În ceea ce privește funcționarea clădirilor, noile tehnologii de gestionare a energiei pentru clădiri, cum ar fi sistemele inteligente vizând automatizarea clădirilor, contorizarea inteligentă și întreținerea sistemelor tehnice, pot produce economii pentru încălzirea spațiului în intervalul 2-30%, iar pentru răcire de 37-73%, în funcție de climă și de tipul clădirii. Trebuie remarcat faptul că răcirea spațiilor din clădirile destinate serviciilor consumă cea mai mare parte a energiei în cazul Europei. Exploatarea clădirilor va trebui îmbunătățită printr-o mai bună analiză comparativă a datelor, utilizând tehnologii informaționale inteligente, contorizări (sub-contorizări), informații în timp real și alte tehnologii inovative [4].

Dispozițiile referitoare la *NZEB* conduc în mod firesc către utilizarea surselor regenerabile de energie în special a celor "on-site" (la fața locului), deoarece energia produsă pe clădire reduce energia primară asociată cu energia furnizată (Eurostat, ref. indicator "nrg_ind_335a"). Este de așteptat o continuare a schimbărilor în mixul energiei electrice generate în UE în favoarea regenerabilelor. În timp ce mai multe state membre solicită o cotă de energie regenerabilă ca parte din energia primară utilizată, sau o contribuție minimă a energiei regenerabile exprimată în kWh /(m²an), altele utilizează

cerințe indirecte, cum ar fi o utilizare redusă a energiei primare neregenerabile și care poate fi îndeplinită numai dacă energia regenerabilă face parte din conceptul clădirii. Această flexibilitate permite adaptarea la condițiile naționale precum și la cele locale (tipul clădirii, climatul, costurile și accesibilitatea tehnologiilor regenerabile comparabile, combinația optimă a măsurilor în condițiile date ale cererii, densitatea clădirilor etc.). Sistemele de energie regenerabilă cel mai frecvent aplicate în *NZEB* sunt cele solar- termice și cele fotovoltaice amplasate pe clădire. Alte surse regenerabile de energie utilizate în aceste clădiri sunt cele geotermale valorificate cu ajutorul pompelor de căldură având solul ca sursă, și biomasa.

Fezabilitatea prevederilor și măsurilor de reducere a GES

Tendința statelor europene de înlocuire a cărbunelui cu gazul natural, inclusiv ca modalitate de reducere a GES, a condus la dependența accentuată a acestora de importurile din Orient cu consecințele aferente. Gazul natural este un generator de dioxid de carbon cu emisii mai reduse față de alți combustibili fosili; se consideră adesea că înlocuirea unui cazan cu o pompă de căldură elimină emisiile de GES, fără a se lua în considerare elemente precum coeficientul de performanță *COP*, sau emisiile de GES la producerea energiei electrice utilizate la acționarea pompei de căldură.

a) Reducerea emisiilor de GES la înlocuirea unui cazan cu o pompă de căldură acționată electric

Reducerea relativă a emisiilor de GES rezultată la înlocuirea cazanului pe combustibil fosil cu o pompă de căldură acționată electric este exprimată ca raport între reducerea emisiilor de gaze cu efect de seră ce survine odată cu înlocuirea cazanului pe combustibil fosil cu pompa de căldură acționată electric *REGES CF-PC* și emisia de

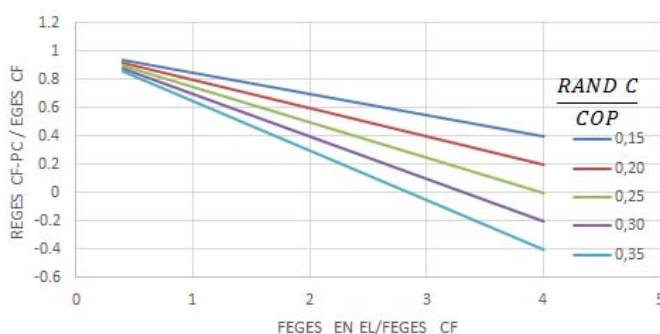


Fig.5. Reducerea relativă a emisiilor GES la înlocuirea cazanului cu o pompă de căldură în funcție de raportul factorilor de emisie specifici producerii energiei electrice, respectiv a celui specific arderii combustibilului fosil.

gaze cu efect de seră corespunzătoare încălzirii unui metru pătrat de spațiu cu ajutorul unui cazan pe combustibil fosil, *EGES CF*. Această reducere relativă a emisiilor de GES depinde de raportul dintre factorul de emisie GES specific producerii energiei electrice, *FEGES EN EL* [kg CO₂/kWh] și factorul de emisie GES specific

arderii combustibilului fosil, $FEGES\ CF$ [kg CO₂/kWh], precum și de raportul dintre randamentul cazanului, $RAND\ C$ și coeficientul de performanță, COP al pompei de căldură

$$\frac{REGES\ CF-PC}{EGES\ CF} = 1 - \frac{FEGES\ EN\ EL}{FEGES\ CF} \cdot \frac{RAND\ C}{COP} \quad [1]$$

Reprezentarea grafică a expresiei de mai sus din Figura 5 pune în evidență importanța generării energiei electrice cu un factor de emisie GES specific producerii energiei electrice, $FEGES\ EN\ EL$ cât mai mic: pe măsură ce acestea se majorează în raport cu factorul de emisie GES specific arderii combustibilului fosil, $FEGES\ CF$ reducerea relativă $REGES\ CF-PC/EGES\ CF$ scade; totodată înlocuirea unui cazan cu randament, $RAND\ C$ mare cu o pompă de căldură având un COP redus micșorează șansele de de reducere relativă a emisiilor de GES, $REGES\ CF-PC/EGES\ CF$.

Concret, prin înlocuirea unui cazan cu condensare alimentat cu combustibil fosil, având un randament $RAND\ C = 0,9... 1$, cu o pompă de căldură având un $COP=2,85$ în cazul în care factorul de emisie GES specific generării energiei electrice $FEGES\ EN\ EL$ este de 3...4 ori mai mare față de cel specific arderii combustibilului fosil, $FEGES\ CF$ se va constata o majorare a emisiilor de GES cu până la 40%; efectul obținut prin această înlocuire a cazanului cu pompa de căldură este contrar celui urmărit, anume acela de reducere a emisiilor de GES.

În consecință, pentru a se obține o reducere a GES este necesară atât reducerea factorului de emisie GES specific producerii energiei electrice, $FEGES\ EN\ EL$ cât și o îmbunătățire a COP al pompei de căldură. Spre exemplu, dacă factorul de emisie GES specific generării energiei electrice este egal ca valoare cu cel specific arderii combustibilului fosil ($FEGES\ EN\ EL = FEGES\ CF$) atunci va rezulta în majoritatea cazurilor o reducere relativă a emisiilor de GES cu 65....85%. Pe măsură ce se reduce factorul de emisie GES specific generării energiei electrice efectul COP asupra reducerilor relative de GES este tot mai mic. Spre exemplu, reducerea relativă de emisii GES $REGES\ CF-PC/EGES\ CF$ se va situa peste 84% putând ajunge la 93% în condițiile în care COP se află în marja 2,85...6,7 și dacă factorul de emisie GES specific generării energiei electrice $FEGES\ EN\ EL = 0,09$ kg/kWh (valoarea indicată de Mc001), pentru un factor de emisie GES specific arderii combustibilului fosil (gaz natural) $FEGES\ CF = 0,205$ kg CO₂/kWh (ceea ce conduce la $FEGES\ EN\ EL / FEGES\ CF = 0,439$).

Pentru a se obține o reducere a emisiilor relative de GES cu minim 85% odată cu trecerea la tehnologia pompelor de căldură acționate electric (în condițiile specificate de Mc001, anume $FEGES_{EN EL} = 0,09 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$) pornind de la cazanele cu

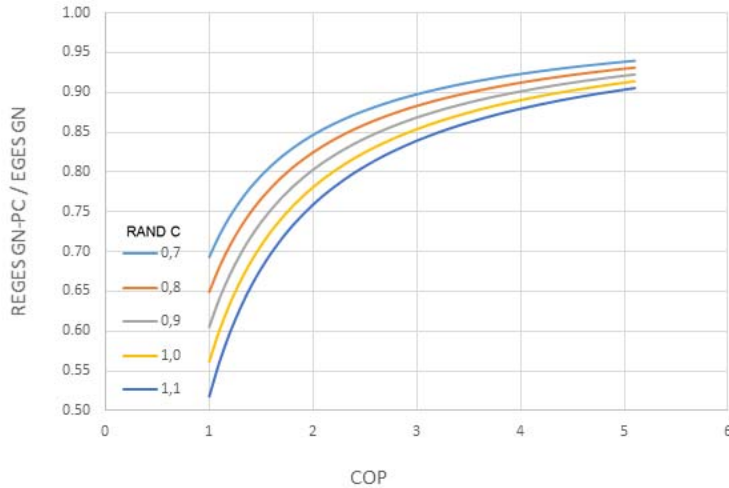


Fig.6. Reducerea relativă a emisiilor de GES la înlocuirea cazanului cu condensare pe gaz natural cu o pompă de căldură acționată electric. ($FEGES_{EN EL} / FEGES_{CF} = 0,439$).

echivalent inițial este în acest caz de $35,875 \text{ kg CO}_2/(\text{m}^2 \text{ an})$; prin înlocuirea cazanului cu o pompă de căldură având un $COP = 3,6$ o cotă importantă de energie este preluată

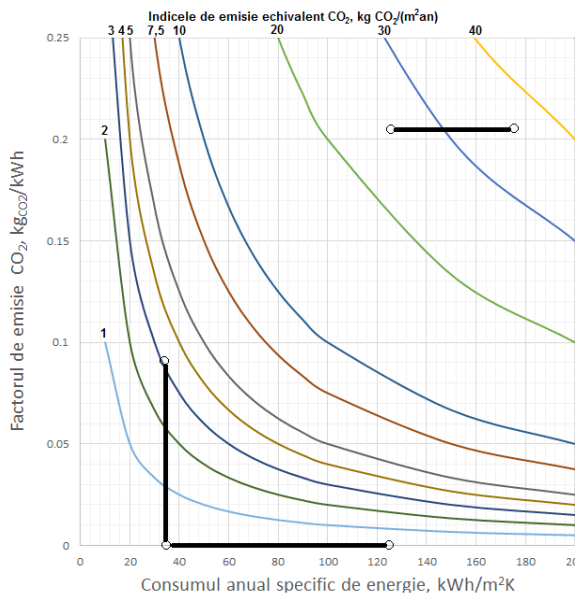


Fig.7. Reducerea indicelui de emisie echivalent CO_2 ca urmare a izolării anvelopei precum și a înlocuirii cazanului cu o pompă de căldură.

pentru prepararea acc și cea pentru încălzirea spațiilor. Datele statistice înregistrate la

condensare având un randament cuprins între 0,9 și 1,1, pentru situația în care alimentarea lor se face cu gaz natural ($FEGES_{GN} = 0,205 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$) rezultă necesitatea unui $COP > 2,63 \dots 3,2$, așa cum rezultă din Figura 6.

Prin izolarea anvelopei unei clădiri consumul inițial de $175 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ an})$ energie finală pe metru pătrat pentru încălzirea spațiului se reduce la valoarea de $125 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ an})$. Indicele de emisie

din mediul ambiant și anume $90,28 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ an})$, restul fiind acoperit de energia electrică din rețea adică $34,72 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{ an})$. Considerând un factor de emisie CO_2 aferent producerii energiei electrice de $0,09 \text{ kg CO}_2/\text{kWh}$ (conform Mc001) rezultă un indice de emisie echivalent CO_2 de $3,125 \text{ kg CO}_2/(\text{m}^2 \text{ an})$. Reducerea relativă a emisiilor de GES rezultată prin izolarea anvelopei și apoi prin înlocuirea cazanului cu pompa de căldură este $REGES_{CF-PC}/EGES_{CF} = 91,3\%$, exemplul fiind prezentat în Figura 7.

Trebuie remarcat că izolarea anvelopei conduce o modificare a raportului dintre energia consumată

nivelul UE indică o creștere a ponderii energiei pentru prepararea acc față de cea de încălzire a spațiilor de la 37% în 1990, ajungând aproape de 50% în 2013, Figura 8. Această evoluție se datorește în parte și creșterii numărului de imobile izolate, cu alte cuvinte este de așteptat să se atingă o plafonare în timp a acestei tendințe.

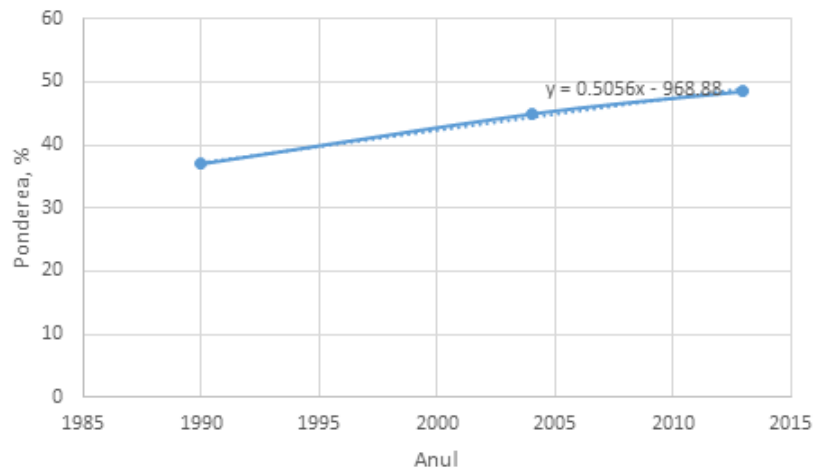


Fig.8. Tendința de creștere a ponderii energiei destinate preparării acc în raport cu cea pentru încălzirea spațiilor odată cu izolarea anvelopei clădirilor.

b) Efectul produs de reducerea consumului de acc asupra emisiei de GES

În condițiile precizate pentru renovările majore (50...70 kWh/(m² an)) este previzibil ca energia pentru prepararea acc să atingă o pondere însemnată în raport cu cea de încălzire a spațiilor și anume peste 50%, posibil chiar 70%. Având în vedere că resursele de apă de pe Tera sunt limitate, devine importantă limitarea consumului de apă, ceea ce se prevede de altfel în Mc001, anume la 50 l/(pers. zi); acest consum specific este însă de 2...4 ori mai mic decât cel înregistrat în mod curent în prezent. Corespunzător acestei reduceri a consumului de apă se va înregistra și o reducere a consumului de energie, aferent procesului de preparare a acc, ceea ce va conduce și la scăderea emisiilor de GES.

Spre exemplificare se va considera o locuință cu un consum de 175 kWh/(m² an) pentru încălzirea spațiilor, respectiv de 97 kWh/(m² an) pentru prepararea acc (ceea ce ar putea corespunde unui consum de acc de 150 l/(pers. zi)). Indicele de emisie echivalent CO₂ pentru acoperirea consumului total (încălzire și preparare acc) în condițiile utilizării unui cazan cu condensare pe gaz natural (0,205 kg CO₂/kWh) va fi de 55,76 kgCO₂/(m² an). Prin izolarea anvelopei consumul pentru încălzirea spațiului se va reduce cu circa 28%, iar prin limitarea consumului de acc la valoarea normată de 50 l/(pers. zi) se va ajunge la un consum total de 157 kWh/(m² an). Înlocuirea cazanului cu o pompă de căldură antrenată electric va avea ca efect preluarea din mediul ambiant a energiei regenerabile corespunzător *COP*; considerând o ridicare a temperaturii de la

circa 7 °C până la aprox. 50 °C va rezulta o eficiență Carnot $COP_{Carnot} = 7,5$. Pentru situațiile frecvente ale unui randament Lorenz de 0,45 ... 0,5 se obține un $COP_{real} \approx 3,6$. În aceste condiții energia electrică necesară pentru acționarea pompei va fi de 43,7 kWh/(m²an). Dacă această energie electrică este generată cu un factor de emisie GES conform Mc001, adică $FEGES_{EN EL} = 0,09$ kg CO₂/kWh, indicele de emisie echivalent CO₂ rezultat va fi de 3,93 kgCO₂/(m² an). Pentru situația analizată și prezentată în Figura 9, reducerea relativă a emisiei GES va fi $REGES_{GN-PC/EGES_{GN}} = 93\%$ [5].

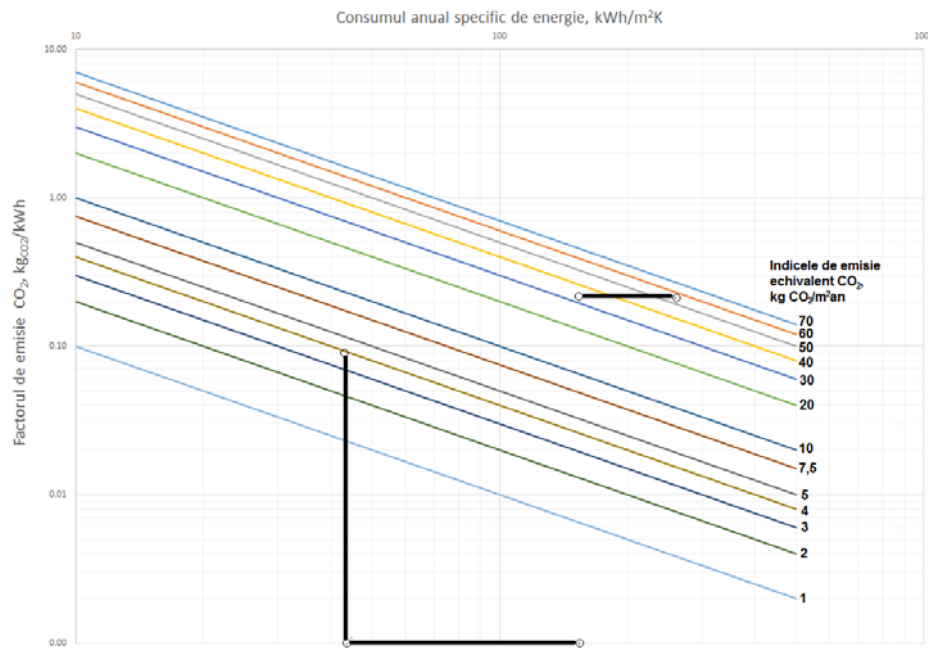


Fig.9. Diminuarea indicelui de emisie echivalent CO₂ ca urmare a reducerii consumului total (încălzire și preparare acc) precum și a înlocuirii cazanului cu o pompă de căldură acționată electric.

Dacă reducerea necesarului de energie pentru încălzirea spațiului va atinge valorile considerate pentru renovarea majoră cu un nivel optim de cost și anume 50...70 kWh/(m² an) atunci reducerile relative ale emisiei de GES vor atinge o cotă chiar mai scăzută decât cele prezentate în exemplele de mai sus, posibil de 95%.

Concluzii

În condițiile în care consumul de energie finală pentru sectorul gospodăresc și pentru cel al serviciilor tinde să se mențină în jurul valorii de 40% pentru deceniile următoare soluția pentru diminuarea dependenței energetice a UE precum și pentru reducerea emisiilor de GES se prefigurează a fi eficientizarea energetică și valorificarea energiei regenerabile în sectorul construcțiilor.

Decarbonizare, eficientizare energetică și valorificarea regenerabilelor. Ținta stabilită pentru 2050 comparativ cu anul 1990 referitoare la decarbonizare prevede reducerea emisiilor de CO₂ cu 88...91%. Pentru sectoarele de clădiri, transport și agricultură (sectoarele non-ETS, Emission Trading System). Foaia de parcurs pentru 2050 stabilită în conformitate cu calea rentabilă prevede ca țintă intermediară pentru 2030 o diminuare emisiilor de GES cu 30% comparativ cu 2005. Raportul Agenției Europene pentru Mediu precizează în documentul “Trends and projections in Europe 2015” că emisiile de GES au scăzut cu 4% în 2014 comparativ cu 2013, respectiv cu 23% față de 1990 [6].

Un prim pas spre limitarea emisiilor de GES vizează reducerea consumului de energie primară, soluție fezabilă în condițiile electrificării sectorului de construcții (încălzirea cu ajutorul pompelor de căldură), respectiv a celui de transporturi (vehicule

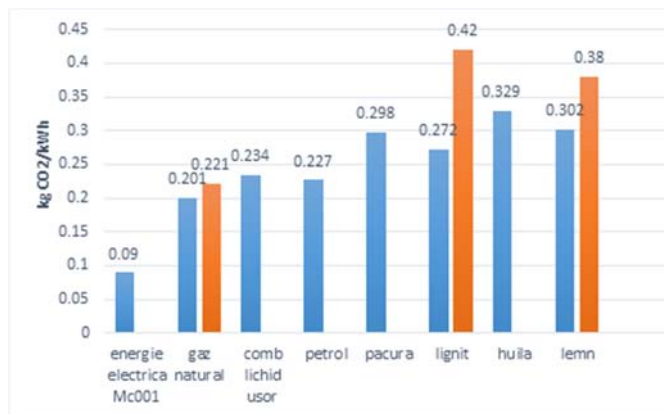


Fig. 10. Factorul de emisie CO₂ pentru diferiți vectori energetici.

electrice). După cum se poate observa din Figura 10 factorul de emisie CO₂ pentru energia electrică cu care este alimentată o pompă de căldură, așa cum este el indicat în Mc001, este de 2...3 ori mai redus față de cel caracteristic pentru combustibilii fosili utilizați în cazul cazanelor. Trebuie precizat că alimentarea pompelor de căldură cu energie electrică, din care o cotă parte a fost produsă la fața locului (on-site), semnifică reducerea consumului de energie

primară, însă înlocuirea cazanelor cu combustibili convenționali cu echipamentele menționate implică creșterea prealabilă a performanței energetice a clădirilor existente și a celor nou construite. În plus, cu toate că tehnologia pompelor de căldură valorifică energia regenerabilă din mediul ambiant, un efect secundar previzibil ca urmare a generalizării acestora va fi amplificarea cererii de vârf pentru energia electrică, în special în cazul unor echipamente de mare capacitate. Pentru tăierea vârfurilor de consum este necesară o flexibilizare a consumului de energie electrică, iar pompele de căldură individuale de mică capacitate instalate în clădiri cu un nivel ridicat de eficiență energetică de tip NZEB se prefigurează a fi soluția adecvată de alimentare cu căldură și acc atât din punct de vedere al costurilor, respectiv al consumului de combustibil cât și al emisiilor de GES. Dacă se ia în considerare și valoarea factorului de emisie CO₂ precizat de Mc001 pentru energia electrică – 0,09 kg CO₂/kWh – comparativ cu valorile actuale la nivelul UE, dar și al unor State Membre (de ordinul gramelor, sau zecilor de

grame pentru 1 kWh_{electric}) devine limpede necesitatea ”injecției” de energie de sorginte regenerabilă– eoliana și fotovoltaică - în rețeaua europeană.

Pentru a facilita pătrunderea energiei din surse regenerabile în sectorul încălzirii și răcirii, fiecare stat membru va depune eforturi pentru a spori ponderea energiei din surse regenerabile furnizate pentru încălzire și răcire cu cel puțin 1 punct procentual (pp) în fiecare an, exprimată ca pondere națională în consumul final de energie și calculată în conformitate cu metodologia stabilită la articolul 7, referitor la calcularea consumului final brut de energie din surse regenerabile de energie al unui stat membru [7].

Ponderea energiei regenerabile în consumul final brut este în continuă evoluție spre ținta stabilită pentru 2020 așa cum reiese din Figura 11: în 2015 aceasta a atins 16,7%

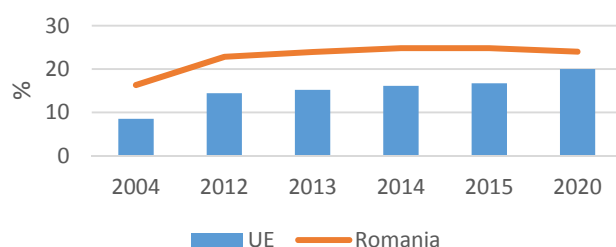


Fig. 11. Ponderea energiei din surse regenerabile în consumul final brut. (Comunicat de presă Eurostat 43/2017 - 14 Martie 2017)

ca medie a UE. România (alături de alte 10 State Membre) a atins ținta pentru 2020 și chiar a depășit-o încă din 2012 [8]. Pentru 2030 s-a convenit o țintă minimă de 27%. Spre deosebire de consumul final brut consumatorii finali includ pe lângă sectorul casnic și pe cel al serviciilor, industria, transporturile, agricultura, silvicultura și piscicultura. Contribuția energiei regenerabile în consumul final de energie este în continuă creștere, instalațiile mici (small scale) de pe clădiri având o pondere semnificativă. Astfel, contribuția regenerabilelor în consumul final de energie pentru sectorul casnic și cel al serviciilor a fost estimat la nivelul UE pentru 2014 la 20,3% din care 11,0 % este reprezentat de energia electrică regenerabilă

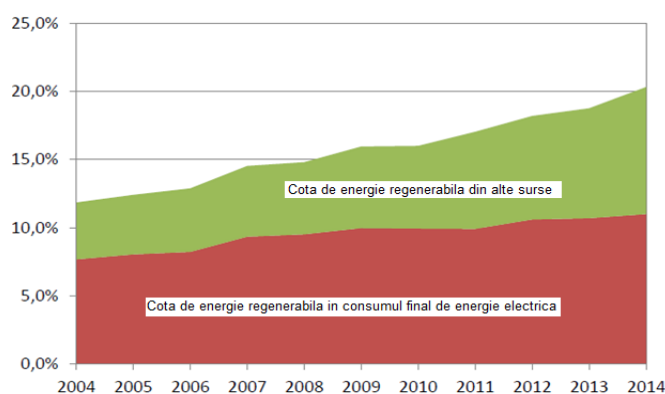


Fig. 12. Cota cumulată de energie regenerabilă în cadrul consumului final total de energie pentru gospodării și servicii. (Source: Eurostat, ref. indicator "nrg_ind_335a")

și 9,3% din alte surse regenerabile, Figura 12. Tehnologiile bazate pe regenerabile, fie că este vorba de căldura din mediul ambiant, sau de conversia fotovoltaică, ori de cea solar-termică se dovedesc capabile de a rezolva problemele legate de reducerea emisiilor de GES, dar aplicarea lor implică schimbări majore din multe puncte de vedere. Pe lângă impunerea energiei electrice ca principal vector în această tranziție și care va conduce la un necesar în concordanță cu

cererea și deci sporit considerabil, dar și la o redimensionare corespunzătoare a rețelelor de transport și distribuție, se pot anticipa și alte consecințe, fără însă a avea pretenția unei evaluări exhaustive. Politica de eficientizare energetică în general și Articolul 7 în particular vor afecta consumul de electricitate, și ca urmare cererea de indemnizații pentru ETS va crește având în vedere faptul că electrocasnicele mai eficiente vor reduce cererea, dar înlocuirea celor bazate pe combustibili fosili cu cele acționate electric (pompele de căldură de ex.) va conduce la creșterea cererii de electricitate [6]. Simulări computerizate complexe au vizat posibilitatea răcirii exagerate a solului chiar și în cazul sondelor de adâncime utilizate în cazul pompelor de căldură din mediul urban. Zonele cu aglomerație intensă de populație cazată în clădiri cu înălțime mare capătă relevanță prin densitatea sporită a forajelor. De aceea, pentru a evita surprize neplăcute, trecerea spre țintele stabilite pentru 2050 este precedată de o serie de etape intermediare vizând menținerea cazanelor, însă alimentate cu biomasă/biocombustibili, precum și combinații între pompele de căldură și sistemele centralizate de încălzire de înaltă eficiență, în special cele cu cogenerare/ trigenerare.

Bibliografie

1. *** Odyssee database, <http://www.odyssee-mure.eu/Ioan>
2. *** A Roadmap for moving to a competitive low-carbon economy in 2050 (COM(2011) 112 final). Brussels, 30.11.2016
3. *** COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. EVALUATION of Directive 2010/31/EU on the energy performance of buildings. SWD(2016) 408 final. Brussels, 30.11.2016
4. *** Trends and projections in Europe 2015. EEA Report No 4/2015. ISSN 1977-8449
5. Boian Ioan, Fota Stan. Performanța energetică a clădirilor și indicele de emisii echivalent CO₂. *Instalatorul*. 4-5/2015. Artecno București, S.R.L.
6. C*** COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. REFIT evaluation of the Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council. Brussels, 30.11.2016
7. *** Propunere de DIRECTIVĂ A PARLAMENTULUI EUROPEAN ȘI A CONSILIULUI privind promovarea utilizării energiei din surse regenerabile (reformare). Bruxelles, 23.2.2017 COM(2016) 767 final.
8. *** COMMISSION STAFF WORKING DOCUMENT. EVALUATION of Articles 6 and 7 of the Energy Efficiency Directive (2012/27/EU). Brussels, 30.11.2016

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata

Evaluation of the thermal flow from the thermal agent that flows through a buried pipeline

prof. dr. ing. Florin Iordache – UTCB-FII¹
drd. ing. Adrian Marin - UTCB-FII

¹Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti
Facultatea de Inginerie a Instalatiilor
Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania
fliord@yahoo.com

Rezumat

Lucrarea are ca obiectiv identificarea unor proceduri care sa permita operarea cu usurinta asupra evaluarilor termice in cazul conductelor ingropate in sol din cadrul retelelor termice. Pentru conducta reala ingropata in sol se stabileste o conducta echivalenta caracterizata de aceeasi valoare a fluxului termic disipat insa plasata direct in mediul exterior.

Se defineste si notiunea de eficienta a tronsoanelor de conduct ape baza careia se poate evalua performanta energetica a unei retele termice din cadrul sistemelor de alimentare centralizata cu energie termica.

Cuvinte cheie: flux termic, evaluare

Abstract

The paper aims to identify procedures that enable easy operation of thermal evaluations on pipelines buried in soil of the thermal networks. For real pipe buried in the ground it establishes a pipe characterized by the same equivalent amount of dissipated heat flow but placed directly in the external environment.

It defines the notion of effective pipeline upon which it can assess the energy performance of heating systems in systems of centralized heat supply.

Keywords: thermal flow, evaluation

1. Introducere

Obiectivul urmarit in cadrul lucrarii este cel se a elabora o procedura practica cat mai exacta de evaluare a fluxului termic disipat de la un agent termic care circula printr-o conducta izolata ingropata in sol.

Dupa cum se stie, a inceput mai de mult reabilitarea sistemelor de alimentare centralizata cu caldura din marile centre urbane. Una dintre masurile de reabilitare este inlocuirea vechilor conducte uzate aflate in canal termic cu conducte noi preizolate cu cochilii de poliuretan si ingropate in sol.

Pentru elaborarea acestei procedure sa adoptat modelul propus de profesor Nicolae Leonachescu in lucrarea [1]. Metoda descrisa in [1] este o metoda inginereasca cu un grad foarte bun de aproximare, si pe care s-a considerat oportun sa o adoptam si in cazul conductei izolate ingropate in sol.

2. Descrierea problemei si a procedurii de rezolvare

Se considera un tronson de conducta din cadrul retelei de transport sau de distributie a unui sistem centralizat de alimentare cu caldura a consumatorilor din mediul urban. Prin tronsonul de conducta circula agentul termic care are o temperature sensibil mai mare decat a mediului exterior, motiv pentru care apare, dinspre agentul termic, prin peretele conductei, prin stratul de izolatatie termica si prin solul adiacent conductei un flux termic care migreaza spre mediu exterior aflat deasupra suprafetei solului.

Este foarte important a preciza conditiile la limite, pentru a intelege cum se pune problema. Astfel la interiorul conductei, circulatia agentului termic fiind o circulatie fortata apare un fluxul termic disipat spre fata interioara a conductei se se face prin convective fortata, conditia la limita fiind de speta a 3-a (fluxul termic convectiv fiind egal cu fluxul termic conductiv care intra in peretele conductei. In continuare migratia fluxului termic se face prin conductie. Astfel la interfata dintre peretele conductei si stratul de izolatatie termica al conductei conditia la limita va fi de speta a 4-a si la fel si la interfata dintre stratul de izolatatie si solul inconjurator. La suprafata solului conditia la limita va fi de speta a 3-a ceea ce inseamna ca fuxul termic conductiv va fi preluat convectiv si radiant de mediul exterior.

Din punct de vedere constructiv si functional, sistemul termic este definit prin:

- Adancimea de ingropare a conductei ca distanta intre suprafata solului si tangenta orizontala la cercul extern al izolatiei termice, h (m);
- Raza interioara a conductei, r_i (m);
- Grosimea peretelui conductei, g_t (m);
- Grosimea stratului de izolatatie, g_{iz} (m);
- Conductivitatea termica a peretelui conductei, λ_t (W/m.K);
- Conductivitatea termica a cochiliei de izolatatie, λ_{iz} (W/m.K);
- Conductivitatea termica a solului, λ_s (W/m.K);
- Coeficientul de transfer termic convectiv de la fluid la suprafata interioara a conductei, α_i (W/m².K);

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta ingropata

- Coeficientul de transfer termic superficial la suprafata solului, α_e ($\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$);
- Temperatura agentului termic vehiculat prin conducta, t_{ag} ($^{\circ}\text{C}$);
- Temperatura exterioara, t_e ($^{\circ}\text{C}$);

Ipoteza de baza a modelului lucru abordat este faptul ca liniile de flux termic sunt arce de cerc si segmente liniare racordate intre ele de la suprafata exterioara a izolatiei termice la suprafata solului (astfel incat linia fluxului termic sa fie o functie neteda - derivabila). Aceasta ipoteza reprezinta o aproximatie, dat fiind ca in realitate liniile de flux nu sunt chiar arce de cerc. In continuare se prezinta procedura propriu-zisa :

a. Mai intai se stabileste rezistenta termica liniara aferenta conductei propriu-zise pana la suprafata izolatiei termice in contact cu solul.

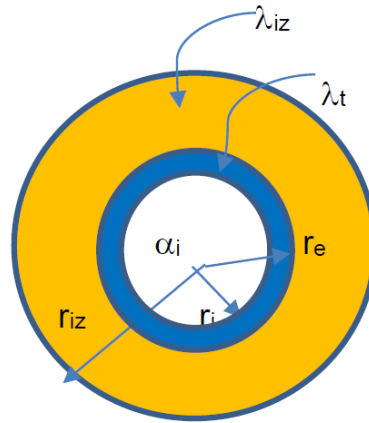


Fig. 1

$$R_l = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot r_i \cdot \alpha_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_t} \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{iz}} \cdot \ln\left(\frac{r_{iz}}{r_e}\right) \quad (1)$$

b. In continuare se transforma aceasta rezistenta termica liniara intr-o rezistenta termica superficiala la nivelul fetei exterioare a izolatiei conductei, prin inmultire cu lungimea cercului corespunzator acestei circumferinte si se adauga rezistenta termica aferenta coeficientului superficial de la suprafata solului:

$$R_s = \frac{r_{iz}}{r_i \cdot \alpha_i} + \frac{r_{iz}}{\lambda_t} \cdot \ln\left(\frac{r_e}{r_i}\right) + \frac{r_{iz}}{\lambda_{iz}} \cdot \ln\left(\frac{r_{iz}}{r_e}\right) + \frac{1}{\alpha_e} \quad (2)$$

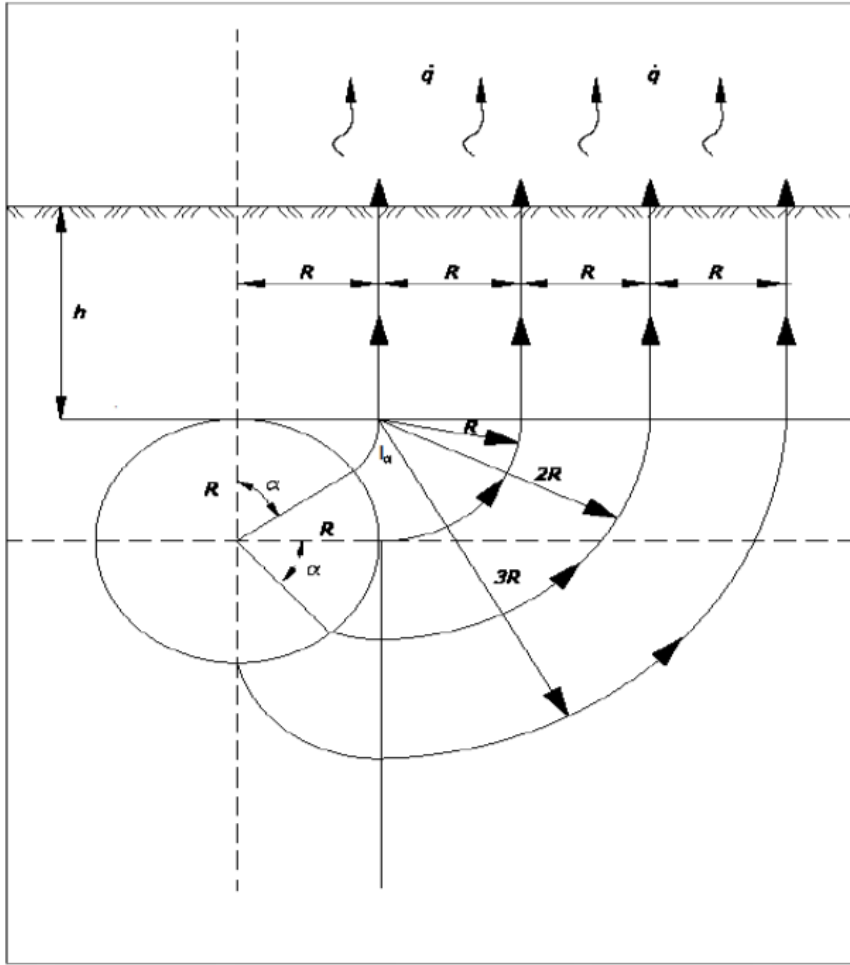


Fig. 2

c. Cercul secțiunii transversale prin conductă izolată se consideră formată din 2 emisfere - un semicerc superior și un semicerc inferior. Dacă ne referim mai întâi la semicercul superior, se va stabili expresia lungimii liniei de flux termic de la suprafața cercului la suprafața solului. Lungimea acestei linii se compune din 2 porțiuni : prima care pleacă de la suprafața cercului izolației termice și până la tangenta orizontală la partea superioară a cercului izolației, care este un arc de cerc, iar a doua are ca lungime, adâncimea de îngropare a conductei, h . Lungimea arcului de cerc (prima porțiune) rezulta ușor din fig. 1 ca fiind :

$$l(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} \quad (3)$$

Rezultă în consecință ca lungimea liniei de curent este:

$$Ls(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h \quad (4)$$

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conductă îngropată

În relațiile (3) și (4), α - este unghiul măsurat în radiani față de verticală care trece prin centrul cercului și ia valori între 0 și $\pi/2$.

d. Trecând acum la semicercul inferior, se observă că linia de curent este compusă din 3 porțiuni: prima porțiune este un arc de cerc, raza acestuia fiind ca mărime până la raza cercului conductei izolate, a doua porțiune este un sfert de cerc cu o rază cuprinsă între raza cercului conductei izolate și triplul acesteia, iar a treia porțiune este adâncimea de îngropare a conductei. În consecință :

$$l1(\alpha) = \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} \quad (5)$$

$$l2(\alpha) = \frac{\pi}{2} \left(1 + 2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \cdot r_{iz} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} Li(\alpha) &= \alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + \frac{\pi}{2} \left(1 + 2 \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right) \cdot r_{iz} + h = \\ &= \left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot r_{iz} + h \end{aligned} \quad (7)$$

e. Aceste lungimi se vor raporta la conductivitatea solului și rezulta rezistențele termice conductive ale liniilor de curent prin sol :

$$\begin{aligned} rs(\alpha) &= \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} \\ ri(\alpha) &= \frac{\left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} \end{aligned} \quad (8)$$

f. Se stabilesc rezistențele termice totale superioare și inferioare adunând la cele de mai sus rezistența R_s , și rezulta :

$$\begin{aligned} Rs(\alpha) &= \frac{\alpha \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} + R_s \\ Ri(\alpha) &= \frac{\left[\frac{\pi}{2} + (\alpha + \pi) \cdot \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \cdot r_{iz} + h}{\lambda_s} + R_s \end{aligned} \quad (9)$$

g. Rezulta în consecință expresiile transmitanțelor termice aferente celor două

zone, superioara si inferioara (unitatea de masura va fi W/m².K):

$$\begin{aligned} U_s(\alpha) &= \frac{1}{R_s(\alpha)} \\ U_i(\alpha) &= \frac{1}{R_i(\alpha)} \end{aligned} \quad (10)$$

h. Se integreaza in continuare numeric expresiile transmitantelor din relatia (10) pe lungimea semicercului superior si respectiv pe lungimea semicercului inferior (unitatea de masura a rezultatului integrarii va fi W/m.K) :

$$\begin{aligned} U_s &= 2 \cdot \int_0^{\pi/2} U_s(\alpha) \cdot d\alpha \\ U_i &= 2 \cdot \int_0^{\pi/2} U_i(\alpha) \cdot d\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

i. In continuare rezultatele integrarii se multiplica cu diferenta de temperatura ($t_{ag} - t_e$) si se obtine fluxul termic liniar prin semicercul superior si respectiv inferior (in W/m) :

$$\begin{aligned} \Phi_s &= U_s \cdot (t_{ag} - t_e) \\ \Phi_i &= U_i \cdot (t_{ag} - t_e) \end{aligned} \quad (12)$$

j. Ultima operatiune este de a aduna cele doua fluxuri termice liniare pentru a obtine fluxul termic liniar aferent intregii sectiuni transversale prin conductata izolata (in W/m).

$$\Phi_T = \Phi_s + \Phi_i \quad (13)$$

Conform procedurii descrise, se observa ca liniile de flux termic au lungimi diferite ceea ce face ca rezistentele termice sa fie diferite in functie de pozitia punctului de pe suprafata circumferintei sectiunii transversale prin conducta analizata. Evident cel mai scurt traseu al liniei de flux termic este cel care porneste din punctual superior de pe circumferinta sectiunii si care are lungimea - h, si cel mai lung traseu este cel care porneste din punctul diametral opus si care are lungimea - $2 \cdot \pi \cdot (r_i + g_t + g_{iz}) + h$. Lungimile fiind diferite, inseamna ca rezistentele termice ale stratului de pamant sunt diferite si in consecinta rezistentele termice si deci densitatile de fluxuri termice punctuale vor fi diferite. Insumarea continua (integrala) fluxurilor termice pe suprafata de sol aferenta conductei - $(8 \cdot (r_i + g_t + g_{iz}))$, conduce la valoarea efectiva a fluxului termic linear disipat.

3. Situații constructive. Conductă echivalentă termică.

Cercetările efectuate pe aceeași problemă utilizând softuri specializate de tip CFD au condus la fluxuri termice liniare ceva mai mari decât cele stabilite cu această procedură, diferența fiind în medie de 12%. Această diferență privind subestimarea valorilor fluxurilor termice liniare considerăm că se datorează limitării suprafeței exterioare de disipare a fluxului termic la fața solului, impusă în cadrul procedurii prezentate. Se prezintă în continuare relațiile de legătură între valorile fluxului termic liniar rezultat prin aplicarea unor softuri specializate de tip CFD și procedura propusă în lucrare de față în cazul conductelor îngropate cu diametrul interior între 10 cm și 40 cm și grosime a izolației termice de 5 cm. Adâncimea de îngropare a conductei a fost între 20 cm și 100 cm.

S-au stabilit valorile fluxurilor termice liniare pentru câteva variante constructive, care se diferențiază între ele prin adâncimea de îngropare a conductei (h) și prin raza interioară a conductei (r_i).

- $h = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0$ (m);
- $r_i = 0,05; 0,10; 0,15; 0,20$ (m);
- $g_t = 0,005$ (m);
- $g_{iz} = 0,05$ (m);
- $\lambda_t = 50$ (W/m.K);
- $\lambda_{iz} = 0,04$ (W/m.K);
- $\lambda_s = 1,2$ (W/m.K);
- $\alpha_i = 500$ (W/mp.K);
- $\alpha_e = 20$ (W/mp.K);

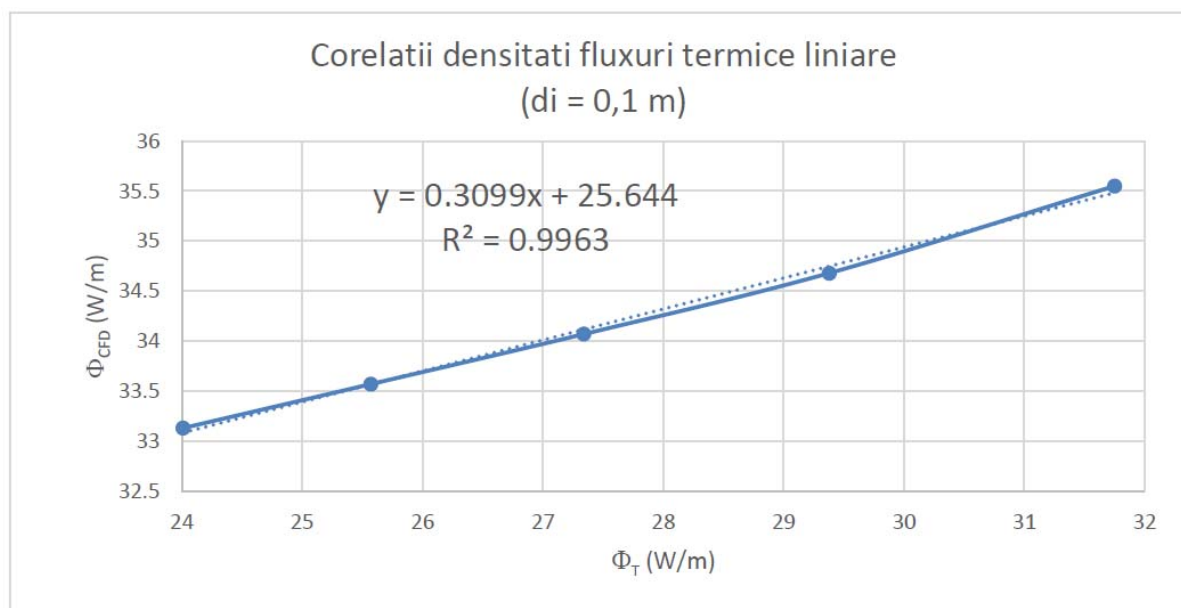


Fig. 3

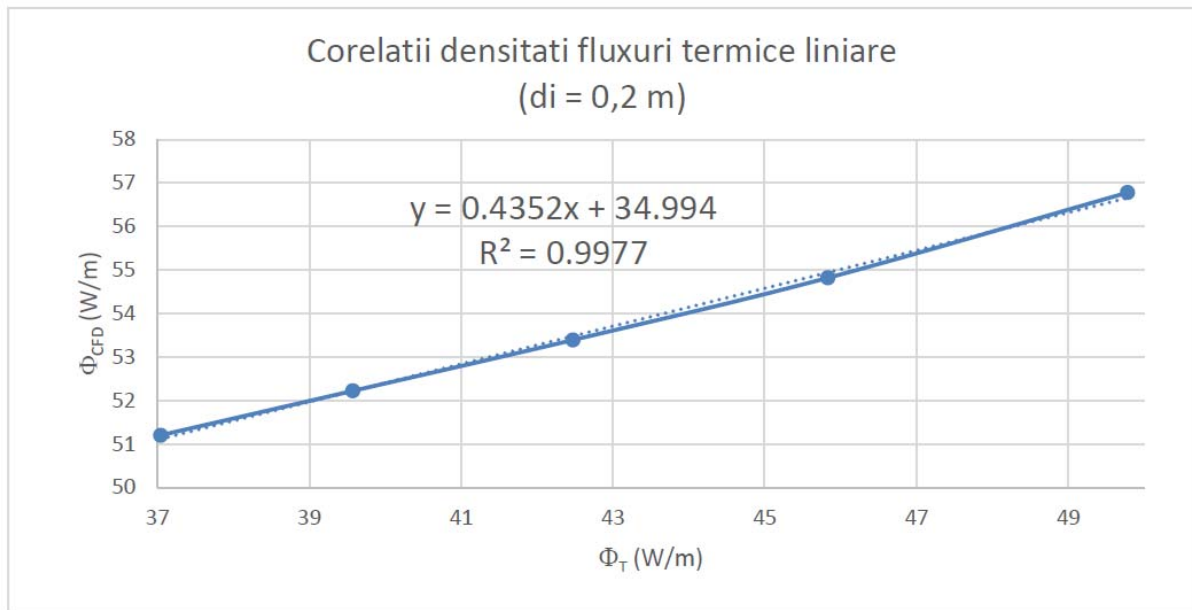


Fig. 4

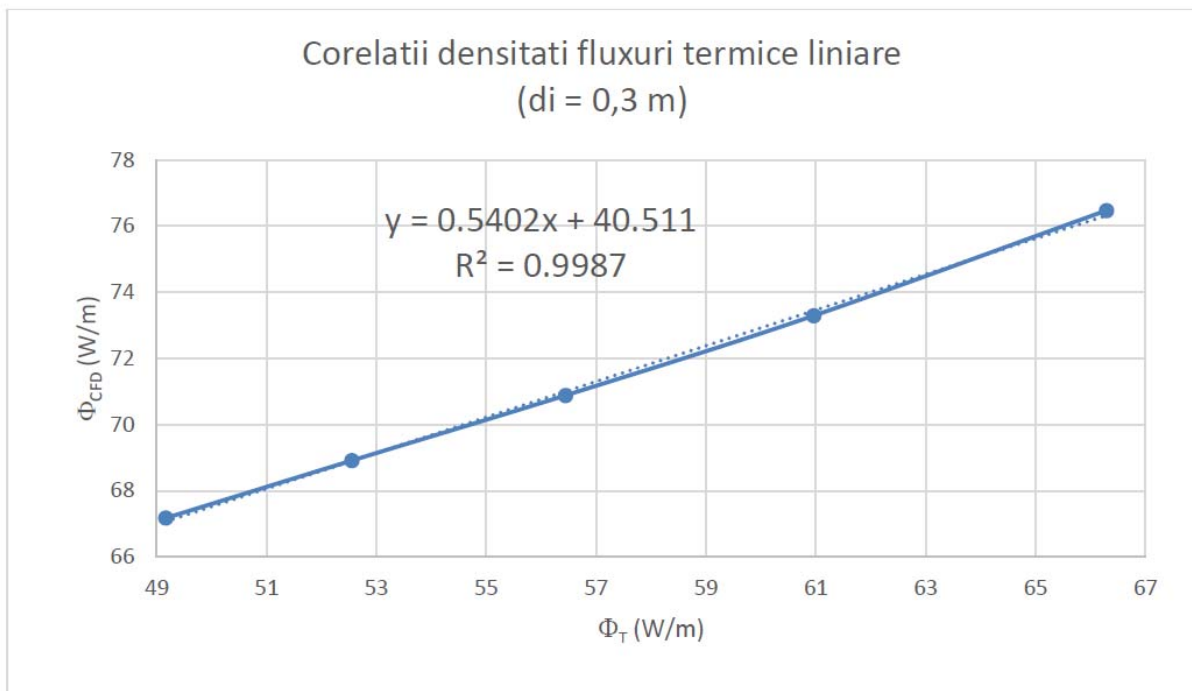


Fig. 5

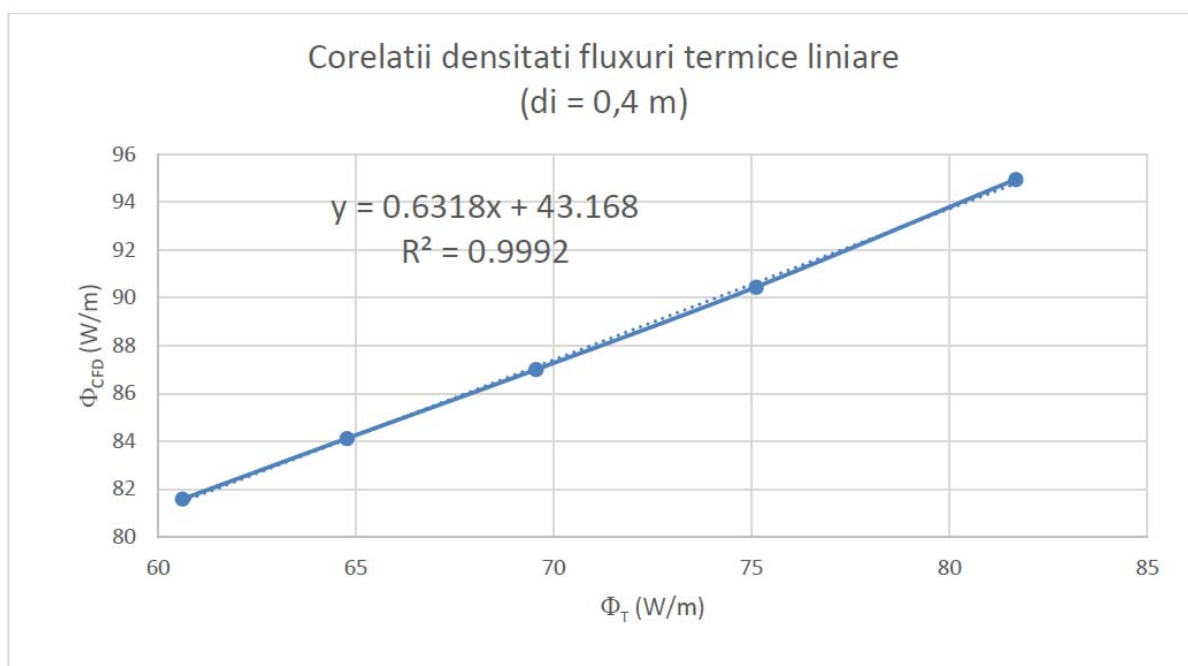


Fig. 6

Pornind de la valorile fluxurilor termice liniare rezultate aplicand softuri de specialitate de tip CFD sau procedura corectata expusa in lucrarea de fata s-a urmarit in continuare definirea conceptului de conducta echivalenta termic, adica o conducta aflata in mediul exterior care avand acelasi diametru ca si conducta reala este caracterizata de acelasi flux termic linear disipat ca si conducta reala ingropata in sol la o anumita adancime. A rezultat pentru conducta echivalenta termic o grosime de izolatatie suplimentara fata de grosimea de izolatatie a conductei reale suplimentata de izolatatie care echivaleaza cu stratul de sol in care este ingropata conducta. Testele efectuate au aratat ca suplimentul de grosime de izolatatie aferent conductei echivalente nu depinde de diferentele potential termic intre fluidul din conducta si mediul exterior. Se prezinta in continuare rezultatele concrete obtinute :

Tabel 1 : $r_i = 0,05 \text{ m}$; $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (%)}$
0.2	21.33	0.054	8
0.4	20.81	0.056	12
0.6	20.44	0.0575	15
0.8	20.14	0.0588	18
1	19.88	0.06	20

Tabel 2 : $r_i = 0,10 \text{ m}$; $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	56.78	0.056	12
0.4	54.82	0.0587	17
0.6	53.39	0.0608	22
0.8	52.22	0.0625	25
1	51.2	0.0642	28

Tabel 3 : $r_i = 0,15 \text{ m}$; $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	76.47	0.058	16
0.4	73.29	0.0612	22
0.6	70.88	0.0636	27
0.8	68.91	0.0659	32
1	67.17	0.068	36

Tabel 4 : $r_i = 0,20 \text{ m}$; $g_{iz} = 0,05 \text{ m}$

$h \text{ (m)} =$	$q \text{ (W/m)}$	$g_{iz} \text{ (m)}$	$\Delta g_{iz} \text{ (\%)}$
0.2	56.97	0.0598	20
0.4	54.27	0.0634	27
0.6	52.2	0.0664	33
0.8	50.47	0.0691	38
1	48.95	0.0717	43

Rezultatele din tabele 1 ...4 sunt prezentate grafic in fig. 7 :

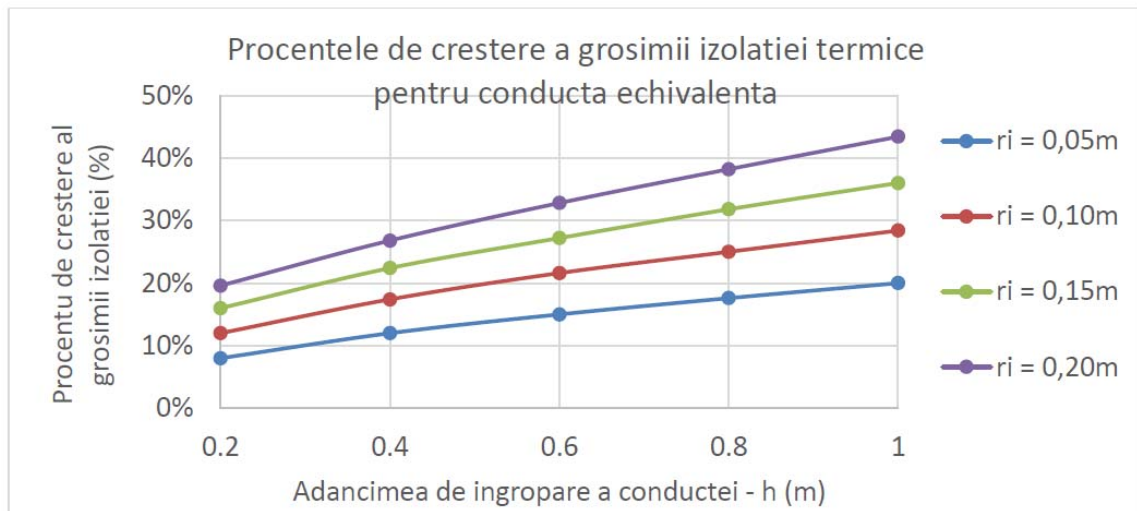


Fig. 7

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conductă îngropată

Rezultatele prezentate în tabelele 1...4 și în fig. 7 atestă faptul că situația reală a conductei reale, izolată cu cochilie de poliuretan și îngropată în sol la o anumită adâncime poate fi teoretic înlocuită cu o conductă echivalentă plasată în mediul exterior, conductă izolată însă cu cochilie de poliuretan având grosime sporită în funcție de diametrul conductei și de adâncimea de îngropare a conductei. Acest lucru ușurează operarea cu parametrii termici și energetici necesari în evaluările performanțelor energetice ale rețelei termice din care fac parte diversele tronsoane de conductă.

În contextul discuției despre performanța energetică a unui tronson de conductă prin care se transportă un agent termic se poate defini eficiența tronsonului ca raport între randamentul real de transport al tronsonului și randamentul de dimensionare al tronsonului. Se definește randamentul tronsonului ca raport între entalpia agentului termic la ieșirea din tronson și entalpia agentului termic la intrarea în tronsonul de conductă. Evaluarea entalpiei se face ca exergie față de temperatura mediului ambiant al conductei. Astfel :

$$\begin{aligned}\eta_R &= \frac{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{1R} - t_e)}{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_0 - t_e)} = \frac{(t_{1R} - t_e)}{(t_0 - t_e)} = \frac{E_R \cdot (t_0 - t_e)}{(t_0 - t_e)} = E_R \\ E_R &= \exp(-NTU_R) \\ NTU_R &= \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R_R \cdot G_R}\end{aligned}\tag{14}$$

Indicele R se referă aici la cazul situației reale în care se găsește conductă din punct de vedere al izolației termice și din punct de vedere al debitului de agent termic vehiculat. În condiții de proiectare identificate prin indicele P, randamentul de transport al tronsonului este :

$$\begin{aligned}\eta_P &= \frac{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_{1P} - t_e)}{G \cdot \rho \cdot c \cdot (t_0 - t_e)} = \frac{(t_{1P} - t_e)}{(t_0 - t_e)} = \frac{E_P \cdot (t_0 - t_e)}{(t_0 - t_e)} = E_P \\ E_P &= \exp(-NTU_P) \\ NTU_P &= \frac{1}{\rho \cdot c} \cdot \frac{L}{R_P \cdot G_P}\end{aligned}\tag{15}$$

Astfel eficiența de transport a tronsonului va fi :

$$\begin{aligned}\varepsilon_T &= \frac{\eta_R}{\eta_P} = \frac{E_R}{E_P} = \frac{\exp(-NTU_R)}{\exp(-NTU_P)} = \exp(NTU_P - NTU_R) \\ \varepsilon_T &= \frac{\eta_R}{\eta_P} = \exp\left[-NTU_P \cdot \left(\frac{NTU_R}{NTU_P} - 1\right)\right] = E_P^{\left(\frac{NTU_R}{NTU_P} - 1\right)}\end{aligned}\tag{16}$$

Eficiența ε_T , astfel definită, rezultă ca fiind subunitară și în acest fel randamentul real de transport η_R , rezultă ca având o valoare mai mică decât randamentul de proiect al tronsonului η_P .

4. Concluzii

Rezultatul mai important stabilit în cadrul lucrării de față îl constituie conceptul de conductă echivalentă din punct de vedere al pierderilor termice pentru o conductă similară izolată cu cochilie de poliuretan și îngropată în sol. S-a stabilit practic valoarea grosimii aditionale de izolație termică pentru ca această conductă echivalentă aflată în aerul exterior să disipeze același flux termic ca și conductă reală îngropată în sol. Cu conductă echivalentă considerată ca fiind plasată în mediul exterior se poate opera mult mai ușor din punct de vedere al evaluării valorilor temperaturilor agentului termic în lungul conductei și din punct de vedere al evaluării fluxurilor termice disipate.

Eficiența termică a tronsoanelor de conductă este de asemenea un concept util în aprecierea performanțelor energetice ale transportului agenților termici în rețelele de transport și distribuție din cadrul SACET. Se poate aprecia obiectiv necesitatea reabilitării termice a diferitelor tronsoane de conductă din cadrul rețelelor termice.

Lista de Notatii

h - adâncimea de îngropare a conductei ca distanță între suprafața solului și tangenta orizontală la cercul extern al izolației termice, m;
 r_i - rază interioară a conductei, m;
 gt - grosimea peretelui conductei, m;
 giz - grosimea stratului de izolație, m;
 λ_t - conductivitatea termică a peretelui conductei, W/m.K;
 λ_{iz} - conductivitatea termică a cochiliei de izolație, W/m.K;
 λ_s - conductivitatea termică a solului, W/m.K;
 α_i - coeficientul de transfer termic convectiv de la fluid la suprafața interioară a conductei, W/m².K;
 α_e - coeficientul de transfer termic superficial la suprafața solului, W/m².K;
 t_{ag} - temperatura agentului termic vehiculat prin conductă, °C;
 t_e - temperatura exterioară, °C;
 R_l - rezistența termică liniară a conductei izolate, m.K/W;
 R_s - rezistența termică evaluată ca sumă rezistențelor de la nivelul agentului termic care circula prin conductă și până la suprafața exterioară a izolației termice aplicată conductei, m².K/W;
 $l(\alpha)$ - lungimea unui arc de cerc de rază - r_{iz} și unghi - α , m;
 $L_s(\alpha)$ - lungimea liniei de curent care porneste din semicircumferința superioară, m;

Evaluarea fluxului termic emis de agentul termic care circula printr-o conducta îngropată

$l_1(\alpha)$, $l_2(\alpha)$ - lungimile a două arce de cerc din traseul liniei de curent aferent semicircumferinței inferioare a conductei, m;

$l_i(\alpha)$ - lungimea liniei de curent care porneste din semicircumferința inferioară, m;

$r_s(\alpha)$ - rezistența termică a solului pe traseul liniei de flux emise din semicircumferința superioară a conductei, $m^2.K/W$;

$r_i(\alpha)$ - rezistența termică a solului pe traseul liniei de flux emise din semicircumferința inferioară a conductei, $m^2.K/W$;

$R_s(\alpha)$ - rezistența termică totală pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința superioară a conductei, la mediul exterior, $m^2.K/W$;

$R_i(\alpha)$ - rezistența termică totală pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința inferioară a conductei, la mediul exterior, $m^2.K/W$;

$U_s(\alpha)$ - transmitanța termică totală pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința superioară a conductei, la mediul exterior, $W/m^2.K$;

$U_i(\alpha)$ - transmitanța termică totală pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința inferioară a conductei, la mediul exterior, $m^2.K/W$;

U_S - transmitanța termică totală integrată pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința superioară a conductei, la mediul exterior, $W/m^2.K$;

U_I - transmitanța termică totală integrată pe traseul liniei de flux emise de la agentul termic prin semicircumferința inferioară a conductei, la mediul exterior, $W/m^2.K$;

Φ_S - fluxul termic emis prin semicircumferința superioară a conductei pe 1m din lungimea conductei, W/m ;

Φ_I - fluxul termic emis prin semicircumferința inferioară a conductei pe 1m din lungimea conductei, W/m ;

Φ_T - fluxul termic emis prin conducta pe 1m din lungimea acesteia, W/m ;

Bibliografie

1. Nicolae P. Leonachescu - Transferul caldurii între construcții și sol - Editura Tehnica, București - 1981;
2. Florin Iordache - Comportamentul dinamic al echipamentelor și sistemelor termice, ediția a III-a - Editura Matrixrom 2008;

Challenges in achieving a high indoor air quality in an educational building

Andreea Vartires¹, Andrei Damian², Andrei Olariu³, Andrei Istrate⁴, Tiberiu Catalina⁵, Elena Zorilă⁶

^{1,2,3,4,5,6} Technical University of Civil Engineering Bucharest, Faculty of Building Services and Equipment, Romania

E-mails: vartires2@gmail.com; adamian7@yahoo.com; oli.andrei@yahoo.com; andreiistrate85@gmail.com; tiberiu.catalina@gmail.com; adresse@gmail.com

Abstract: *Achieving a good indoor air quality in already built schools has been a challenge during the last decades. Different solutions have been proposed as an alternative to natural ventilation by opening windows. In this article we propose a simpler approach but yet effective to solve the problem. Using hybrid ventilation between hygroscopic air vent and a window fan can reduce drastically the indoor pollution. In fact, during the experimental campaign we have measured and calculated lower CO₂ levels (aprox. 1200 ppm) while in the non-ventilated classroom these values were approaching 2500 ppm. The humidity was also a parameter that needed to be monitored as it can influence the indoor environment. The calculations demonstrated that for 30 pupils in a classroom an airflow of 600 m³/h is the ideal solution.*

Key words: indoor air quality, schools, ventilation systems, experimental and numerical results

Rezumat : *Realizarea unei bune calități a aerului interior în școlile existente a devenit o provocare în ultimii ani. Diverse soluții de ventilare au fost propuse și investigate, ca alternativă la ventilarea naturală prin deschiderea ferestrelor de către ocupanți. În acest articol propunem o metodă simplificată dar eficientă pentru rezolvarea acestei probleme. Prin utilizarea unor fante higroreglabile încastate în tâmplăria existentă, respectiv prin montarea unui ventilator axial de fereastră se obține reducerea drastică a concentrațiilor de CO₂ din aerul interior al unei săli de clasă (până în jur de 1200 ppm), prin comparație cu cazul unei săli neventilate, la care concentrația interioară poate atinge sau depăși 2500 ppm. Umiditatea a fost de asemenea un parametru investigat în cadrul studiului. Calculele au demonstrat că, pentru o clasă cu ocupare maximă de 30 de elevi, un debit de aer introdus de aproximativ 600 m³/h constituie soluția ideală.*

Cuvinte cheie : calitatea aerului interior, școli, sisteme de ventilare, rezultate experimentale și numerice

1. Introduction

Acceptable indoor air quality is defined as air in which there are no known contaminants at harmful concentrations, as determined by cognizant authorities and

with which a substantial majority (80% or more) of the people exposed do not express dissatisfaction [1].

Indoor air composition is affected by the presence of several contaminants, both belonging to external air and indoor sources [2]. In fact, external air enters in the buildings by the means of ventilation of environments, so its contaminants are found in the indoor environment as well, while furnishing, building materials, people, and bad maintenance of air conditioning systems could be internal pollution causes.

Indoor air quality in schools can have a substantial impact on children's health, as an important environment where children may be exposed to pollutants and allergens. Schools should ensure a pleasant indoor environment for children away or apart from their home, as they may spend 10 hours per day at school, and at least 10 hours per year [3,4] depending on the time that they arrive at the school and the time they leave the school. It is special concerns since the pupils are susceptible to poor IAQ. Indoor air pollutants might increase the chance of both long and short term health problems among pupils and staff, reduce the productivity of teachers and degrade the pupil's learning environment and comfort [5]. A significant influence from indoor environmental quality can effect and give the influence on student attendance and performance. Studies have shown that poor indoor air quality led more illnesses, school absenteeism and asthma attacks.

As stated in the REHVA Guidebook for IAQ in schools [2], for a classroom where the main pollutant sources are associated to human occupancy, it is usual to apply the analytical assessment method based on the carbon dioxide (CO₂) concentrations profiles. CO₂ is a colorless, inodorous and tasteless gas, present in the outdoor atmosphere at a concentration that nowadays is about 380 ppm (0,68 g/m³), for a non-polluted region. Its presence in non-industrial indoor environments is due mainly to human breathing processes and tobacco smoke. It may also be originated by other combustion processes (gas heaters, fire places, ovens, etc.).

Several studies have analyzed the impact of low ventilation rates and increased CO₂ concentrations on IAQ complaints and health symptoms in buildings. It is found that high CO₂ concentrations in office buildings are associated with increased health symptoms from the occupants [6,7].

In an existing study performed for commercial and institutional buildings [8], 20 case studies have been analyzed, that found a statistical significant relation between air flow rates below 10 l/s and increased IAQ and health symptoms among the occupants. For higher ventilation rates, even 20–30 l/s/person, a significant reduction of occupant symptoms is observed but not for all studies.

A similar correlation between higher CO₂ concentrations and increased frequency of health symptoms was found as well. On the counterpart, in another study [9] it is reported that complaints on poor indoor air quality in schools were not related to low ventilation or increased CO₂ levels. Based on the results reported in [8], the EUROVEN multidisciplinary group [10] has proposed a ventilation threshold equal to

25 l/s/person, above which the IAQ and health risks may be significant. The group suggested that such a ventilation threshold is applicable to school buildings as well.

According to a study related to natural ventilation in schools [11], the airflow rates and the corresponding carbon dioxide concentrations collected from 62 classrooms in 27 schools from Athens, Greece, compared the existing information on the ventilation rates and carbon dioxide concentrations for 287 classrooms of 182 naturally ventilated schools, as well as for 900 classrooms from 220 mechanically ventilated schools, found that for almost 77% of the classrooms the airflow rate was below 8 l/s/person. The ventilation rate was varying between 2 and 11 l/s/person, with a median value close to 4.5 l/s/person. As it concerns the impact of indoor CO₂ concentrations on window opening, it had been found that about 45% of the window openings occurred for CO₂ concentrations below 1000 ppm and 70% below 1500 ppm. Also 18% of the cases are associated to indoor CO₂ levels above 2000 ppm, with much higher air flows measured during the breaks period. Statistical analysis has shown that there is not any important trend or preferred CO₂ level for window opening.

Another study [12], measured the IAQ in three Romanian countryside schools (one old, one renovated and one new), showing CO₂ concentrations at an average that exceeded the recommended norms at around 2000-3000 ppm during a typical school day with spikes passing 4000 ppm, approaching the 5000 ppm health hazard. The study shows that the ventilation rates are also deficient in every building 2,4 l/s/person—for renovated schools, 2,25 L/s/person—for new schools and 0,7 l/s/person—for old schools.

Contrary to that, a study [13] carried out during spring 2013 in 9 naturally ventilated primary schools of Attika basin in Greece showed that the average ventilation rates in all schools were, in general, greater than the minimum recommended ventilation rates, showing that the classrooms were well ventilated for certain cases. The increased infiltration rates for certain classrooms were attributed to increased values of wind speed and also to air leakages due to older building constructions. Also it was noted that classes using white board markers had higher VOC concentrations, as for the CO₂ concentrations, they were lower than the limit values.

Exposures to volatile organic compounds (VOCs) have been an indoor environmental quality (IEQ) concern in schools and other buildings for many years. Indoor and outdoor VOC sampling in 37 recently constructed or renovated schools across the U.S. Midwest[14] was conducted to investigate exposure in schools and potential associations with environmental parameters and building type. Outdoors, benzene, toluene, p,m-xylene, C6 and chloroform were found to be most abundant with median concentrations from 0,1 to 2,4 µg/m³. Indoors, benzene, toluene, p,m-xylene, d-limonene, and n-hexane were found most commonly with median concentrations from 0,3 to 3,5 µg/m³.

Building inspections suggested several VOC sources, e.g., paints, cleaning products, flooring materials, air fresheners, and industry, and VOC levels were inversely associated with air exchange rates. For many compounds, the within-school variance

of VOC concentrations exceeded the between-school variance, indicating the role of local sources, independent ventilation systems, and human activities. Overall, VOC concentrations were mostly low and measured concentrations in this study (2015–2016) appear to have declined from levels measured in previous decades. This suggests the effectiveness of VOC controls on outdoor sources and the widespread use of low-emission materials and products, and that these factors have offset possible increases in concentrations due to the low air exchange rates in new and “tight” buildings.

The school environment is where children spend a significant part of their young years. Children are a population group which is particularly vulnerable to environmental exposure due to their immature, growing and developing bodies [15]. This means that the impact of such exposure has the potential to go far beyond discomfort, or even ill health conditions, and can lead to a lifelong burden of disease. It is therefore of critical importance to ensure that schools are clean, comfortable and healthy environments which enable children to thrive physically and mentally.

While there is a large body of quantitative evidence on the impact of air pollution on adults, with exposure to ambient PM_{2.5} being number eleventh global risk factor, quantitative understanding of the impacts on children is still limited and the outcomes of different studies inconsistent. This is a significant gap in knowledge and so more research is needed on exposure response relationships for children to find out whether the health guidelines developed based on adult's epidemiology sufficiently protect children, or whether different guidelines are necessary to protect children [16].

The health of the future generation will depend on how well the complex school environment is understood and how its design is optimized to ensure both thermal comfort and adequate ventilation to remove classroom-generated pollution, and the supply of good quality outdoor air (which means filtered if necessary). In doing this, energy usage should be an equally important focus, to prevent further combustion emissions to the environment [16].

2. Presentation of the case study

The experimental study was realized in two identical classrooms located in the National College of Mihai Viteazul in Sectorul 2, Bucharest, one of the most famous high schools. The classrooms are located on the first floor, in the middle of the building, with windows facing the west side (fig.1).

The walls are made of brick, the dimensions of the classrooms are: length 9 m, width 6.8 m, height 4.9m, resulting a total area of 61.2 m² and a volume of 300 m³ (fig.2). The glazed surface is made up of three windows double-glazed windows with wooden carpentry with a crescent top and a rectangular lower part with a width of 1.5 m. In the classroom there are 34 wooden benches grouped two by two plus the chair of the teacher. The entrance door is double-sided and has a total width of 1.3m.

Challenges in achieving a high indoor air quality in an educational building

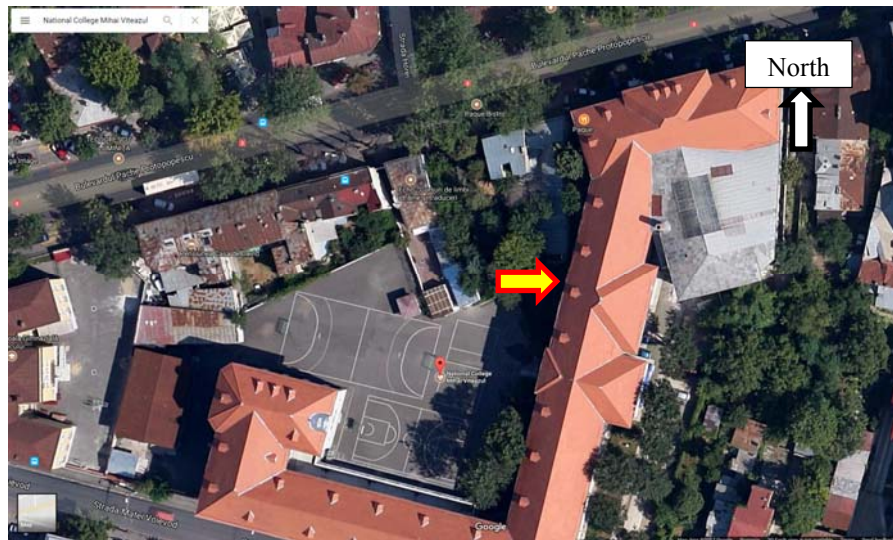


Fig. 1 – Position of the classroom

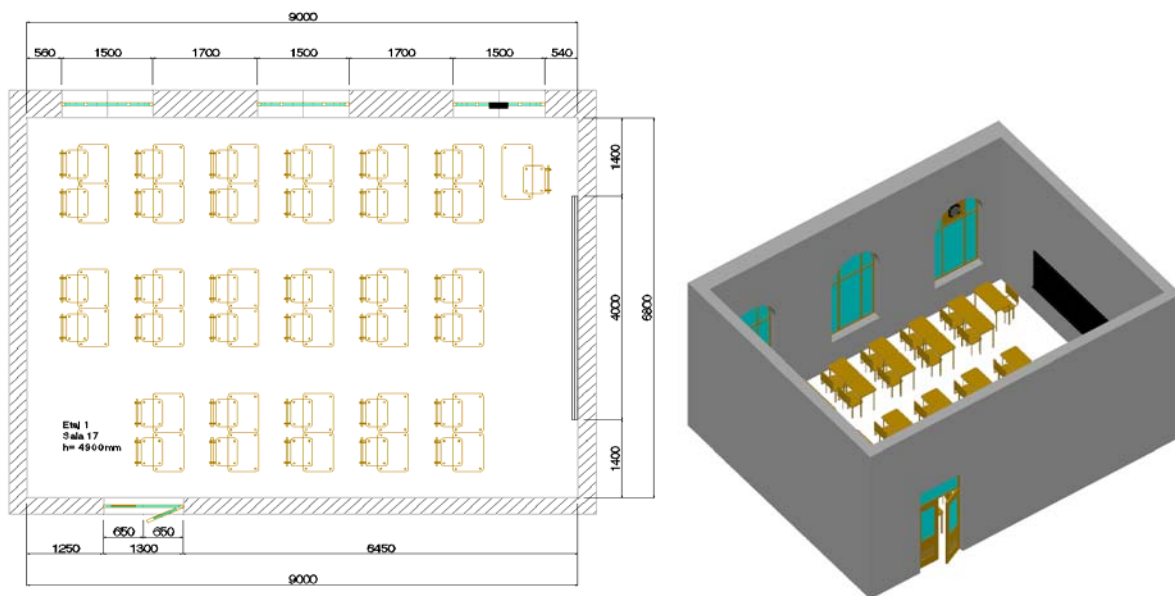


Fig. 2 – Classroom dimensions and 3D Model

The study was realized for classroom S16 – non ventilated and classroom S17 – ventilated with two strategies. The main ventilation system is an assembly consisting of a reversible fan (can insert or evacuate air from the classroom) of the axial type, mounted at the top of the window in front of the classroom, the air can be introduced or discharged through it. At the bottom of the entrance doors of the classroom behind the classroom in diagonal with the fan there are mounted transfer grids in order to let the vicious air come out of the classroom or get cleaner air from the corridor. The maximum airflow rate of the fan is $600 \text{ m}^3 / \text{h}$. The fan is also equipped with an automatic closing flap, when the fan is off, the grid will close. Both the fan and

transfer grilles are painted in the color of the carpentry (brown) in order not to stand out and not to spoil the layout of the course room.

The introduction of fresh air into the classroom is done by means of a double deflection grid, the latter being able to control and direct the air both horizontally and vertically in order not to disturb the occupants of the classroom. Noise reduction was made using a specially designed and created noise attenuator for this type of fan or classroom. Sound reduction was satisfactory, Inside the classroom is a noise below the limit imposed by norms.



Fig. 3. Photos of the ventilation system

The secondary ventilation system consists of the hygroscopic air vents mounted in the upper part of the window carpentry frame. On each window, two grids with a maximum flow rate of 30-45 m³/h were installed, resulting in a maximum total flow rate of 180 m³/h in the classroom. This type of ventilation system has no energy consumption and does not require maintenance. Each grid is provided with an actuator handle in which the closed, open or automatic operation can be set. Automatic operation means opening and closing the grid depending on the humidity inside it. When students enter the room, the relative humidity will increase, so the grid will open to allow fresh air to enter the room, as they leave the classroom, the humidity decreases and the grids will close to maintain a humidity preset in the working area.

3. Monitoring the indoor air quality by numerical and experimental methods

Setting of Indoor Air Quality is made by dividing it in IDA categories depending on building destinations, activities and the type of pollution (Table 1). For civil buildings the main source of pollution is represented by human bio-effluents and the air quality for non-smoking rooms is categorized by accepted CO₂ levels above outdoor air levels, according to Table 2.

Table 1

Classification of indoor air quality (I5-2010) IDA = Indoor air

Category	Description
IDA 1	High indoor air quality
IDA 2	Medium indoor air quality
IDA 3	Moderate indoor air quality
IDA 4	Low quality of indoor air

Table 2

Categories of indoor air quality according to CO₂ concentration above outdoor air levels concentration (15-2010, EN 16798-1:2016)

Category	Corresponding CO ₂ concentration above outdoors [ppm]	
	Typical range	Differential CO ₂
IDA 1	≤ 400	350
IDA 2	400-600	500
IDA 3	600-1000	800
IDA 4	≥ 1000	1200

To be in compliance with Romanian Norm I5 about indoor air quality, was calculated the difference between CO₂ levels measured inside and outside the building. This way, building was considered in one category from Table 1. The maximum measured outdoor air level of CO₂ was 510 ppm, and the minimum was 380 ppm. 420 ppm will be considered as reference value. Figure 4 shows the evolution of the CO₂ levels in case of non-ventilated room S₁₆ during the experimental study (4-5 April 2017).

If we trail the variation of difference inside/outside levels of CO₂ (continuous line) we will see that the values are located in the interval 1500-2000 ppm, even 2300 ppm when the classroom is full of people during several hours. Any exceedances with more than 1000 ppm of the inside/outside levels of CO₂ setting the S₁₆ classroom in IDA4 category of ambiance (low quality of indoor air). During the second day were obtained values even twice, values corresponding of IDA 4 category.

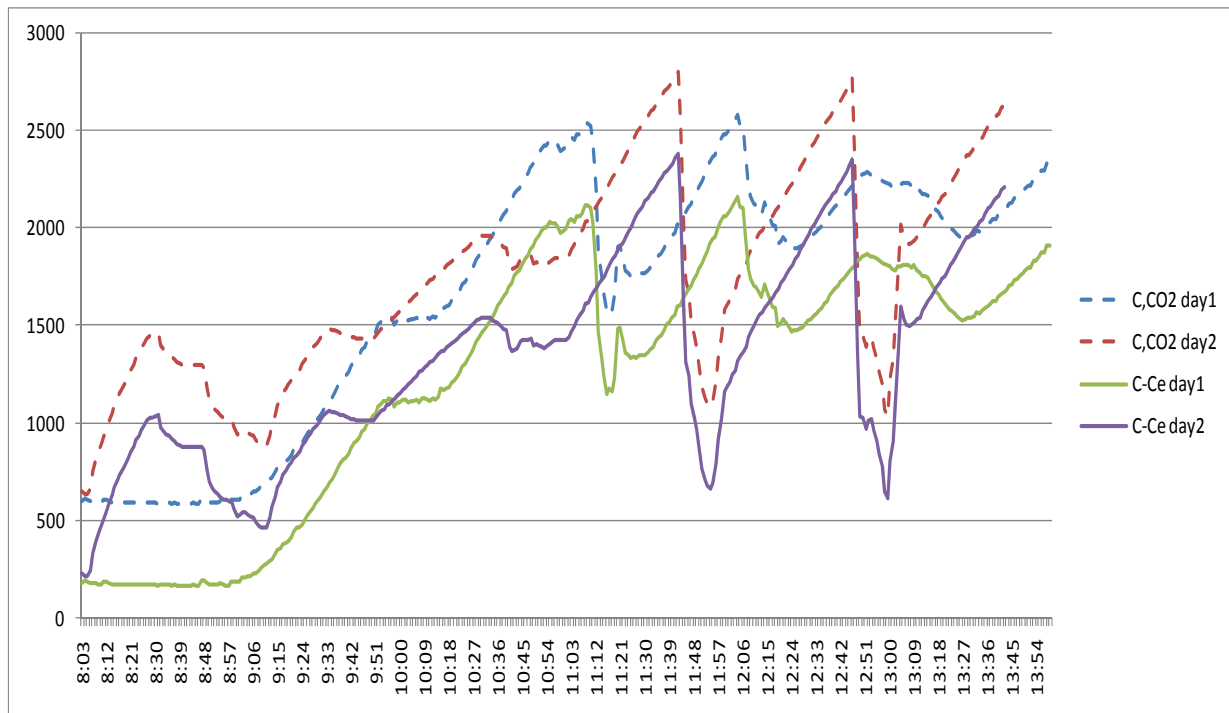


Fig. 4. CO₂ inside levels and inside/outside levels difference for non-ventilated classroom S16

Due to the fact that the classroom was ventilated with a constant flow of fresh air of 450 m³/h and the number of occupiers of the room was moderate as value (between 12 and 24 persons),

difference between CO₂ levels inside and outside only 700 ppm maximum, which led to category IDA 3 for the classroom S17 (moderate quality of indoor air). If the fresh air flow rate is increased, the situation can be improved. The situation can be improved if the flow of fresh air is increased by operating the fan at higher speed. The need to increase the air flow becomes a must due to fact of increasing the number of people in the room with the purpose to maintain quality of indoor air at least in the class IDA3.

In accordance with the national I5 Norm, for rooms where the ambient criteria are determined by the human presence, indoor air quality will be ensured through the ventilated fresh airflow which is determined according to the destination of the rooms, the number of occupants and their activity and the pollutant emissions of the building (from the construction elements, finishes, furnishing and the installations).

Relation (1) expresses this idea, by summing required fresh air flow needed for humans with the fresh air flow needed for the room's surfaces and type of building.

Accordingly, the required air flow rate, q [m³/h]:

$$q = N * q_p + A * q_B \quad (1)$$

where: N - number of persons,

q_p –fresh air flow rate for person, [m³/h/pers], from Table 3

A - floor surface area, [m²],

q_B - fresh air flow rate per 1 m² of floor [m³/h/m²], Table 4.

Table 3

Fresh airflow rate for one person (Norm I5:2010)

Category ambience	Predicted Percentage of Dissatisfied PPD [%]	Flow rate per person [m ³ /h]
I	15	36
II	20	25
III	30	15
IV	> 30	< 15

Depending on the pollutant emissions, buildings are classified in: very low polluting buildings, low polluting buildings and polluting buildings (table 4).

Table 4.

Fresh airflow rate for 1 m² of surface (Norm I5:2010)

Category ambience	Flow rate per m ² floor area [m ³ /h (m ²)]		
	very low polluting buildings	low polluting buildings	others
I	1.8	3.6	7.2
II	1.26	2.52	5.0
III	1.1	1.44	2.9
IV	lower than the values for category III		

For the two classrooms considered - S₁₆ and S₁₇ the required air flow needed for ventilation can be determined using relation (1) and considering the ambient class II/III and building as very low polluting. It is assumed that are no pollutant emissions

from construction materials and furniture. For a maximum number of people in the room will result an air flow rate of 830 m³/h for ambient class IDA2 and an air flow rate of 510 m³/h for IDA3.

This preliminary/fast method for determining the air flow rate required for ventilation will be validated via calculation of air flow rate that results as difference between pollutant concentration and pollutant gas flow rate released into the room. This method is regularly used for ventilated spaces and is described in the following. Indoor pollution in schools studied in this paper comes from the outside air, and from the inside sources, e.g. humans. This study analyzes the pollution with carbon dioxide and humidity. Gaseous pollutants entering in rooms depend only on the degree of pollution and can be reduced by the use of special filters, which are not the subject of our research.

Theoretical analysis of pollution in rooms was realized by applying the premises of the general theory of diffusion of gaseous pollutants in enclosed spaces. As sources of pollution were considered emission from people and the goal was to dilute them to concentration limit allowed, through ventilation with fresh air flow.

Since these pollutants are also found outside, the study recommend to make a preliminary determination to find out the increase of inside levels over the outside air level; such an approach is also made by “Design Execution and Maintenance’ Norm of ventilation and air conditioning equipment I5/2010”.

The following assumptions are considered for calculation, assumptions which are satisfied by real situations:

- M = flow rate emission of pollutant, constant during the time period τ ,
- D = air flow rate, steady for the time period τ

Notations: C - concentration at time τ , V - volume of enclosure, e –outside, 0 – initial.

The equation of equilibrium for a given pollutant expresses the fact that the flow rate of pollutant entering the room during $d\tau$ period increases the concentration of pollutant - dC in volume V :

$$(D C_e + M - D C) d\tau = V dC \quad (2)$$

To integrate, we will separate the variables:

$$-\frac{D}{V} d\tau = \frac{dC}{C - \frac{M}{D} - C_e}$$

By integrating between the limits $\tau = [0, \tau]$ and $C = [C_0, C]$, we get:

$$-\frac{D}{V} \tau = \ln \frac{C - \frac{M}{D} - C_e}{C_0 - \frac{M}{D} - C_e};$$

$$e^{-\frac{D}{V} \tau} = \frac{C - \frac{M}{D} - C_e}{C_0 - \frac{M}{D} - C_e}$$

This way we have the variation in time of the pollutant concentration:

$$C = C_0 e^{\frac{-D\tau}{V}} + \left(\frac{M}{D} + C_e\right) \cdot (1 - e^{\frac{-D\tau}{V}}) \quad (3)$$

Equation (3) is very similar to the physical reality and allows to follow evolution of the concentration of each pollutant in the conditions of a perfect blend and of lack of interaction between pollutants. Exponential variation of concentration also allows setting of the air flow rate required for a volume V , which it is confined to a concentration value allowed, C_{adm} .

Considering that the time $\tau \rightarrow \infty$, the resulting air flow rate necessary D_{nec} for diluting the flow rate of pollutant M :

$$D_{nec} = M/(C_{adm} - C_e) \quad (4)$$

The analytical model presented has been applied separately for the two gaseous pollutants: carbon dioxide and humidity. The calculations were done using relation (3) and considering: classroom volume $V = 300 \text{ m}^3$, flow rate of CO_2 produced by one person, in the circumstances, in sitting posture, $M = 29300 \text{ mg/h}$.

It was assumed that the initial level of CO_2 , prior to persons populate the classroom, there was no difference between inside and outside levels of CO_2 ($C_e = 420 \text{ ppm}$).

The study was started with unventilated room S16 and was considered in the real situation a maximum number of people in the room (30 people). The variation of carbon dioxide level was tracked over time [ppm], carbon dioxide produced by humans.

In the following figure (fig.5) is represented the variation of the CO_2 concentration for an airflow rate of $130 \text{ m}^3/\text{h}$, which corresponds to an air exchange rate of 0,4 air exchanges/hr. Graph is made for interval 9-12 and axis of abscissa is expressed in minutes.

This airflow rate resulted from calculation, for a better setup of the calculated values of CO_2 levels (C_{calc}) from the measured ones C_{mas} . It can be noted that because fresh airflow rate is too small, level rose far above the accepted thresholds : ($C - C_e = 500 \text{ ppm}$) for a room IDA2 air quality class, and ($C - C_e = 800 \text{ ppm}$) for room IDA3 air quality class. The presented situation corresponds to a relatively airtight and non-ventilated room.

In the next chart was represented the evolution of CO_2 concentration measured in the classroom (dotted line) and the concentration of inside air above the outside air (continuous line). Number of persons being maximum, CO_2 concentration reaches alarming values of above 2500 ppm .

At the bottom of the graph is marked the evolution of the CO_2 concentration and the concentration of inside air above the outside air in the hypothesis that the room would

be filtered with a fresh air flow rate of 450 m³/h and secondary of 600 m³/h (an air exchange rate of 2 air exchanges/hr - ACH). This value of fresh airflow rate it's just the airflow needed for IAQ class IDA3, and class IDA2 respectively. In the last case, the difference between outside and inside levels of CO₂ wouldn't exceed 600 ppm.

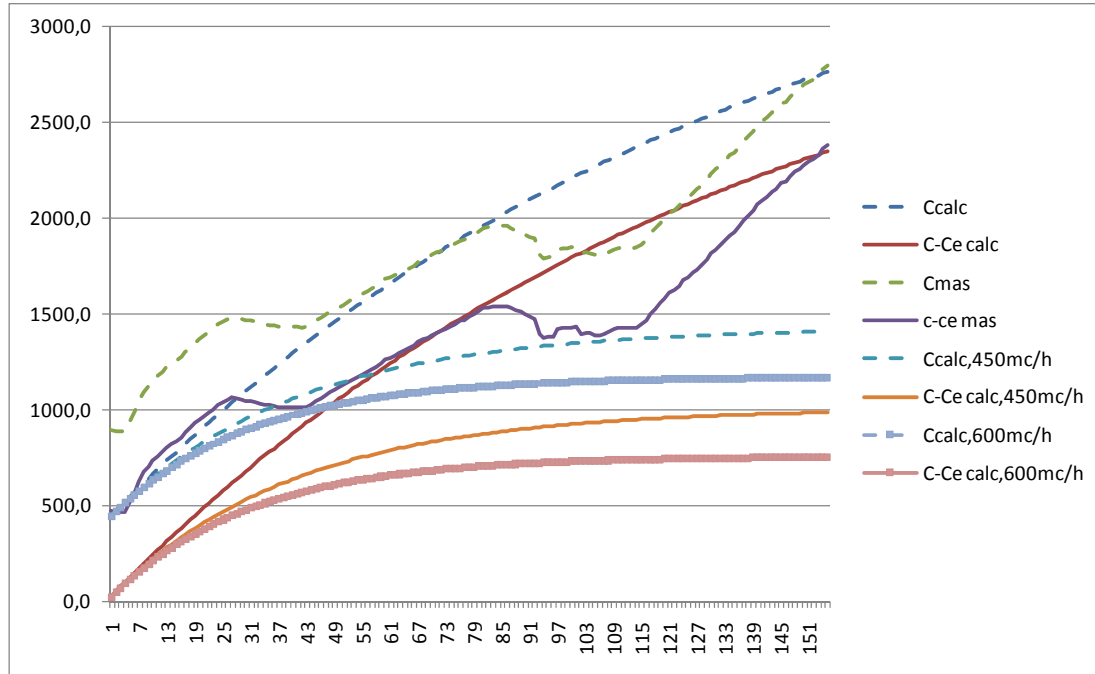


Fig. 5. CO₂ levels calculated and measured for the nonventilated room S16 with different ventilation rates.

In case of S16 classroom it is noticed that fresh air flow rate is not provided, and natural ventilation by opening windows is for the majority of the time insufficient, is dependent on weather conditions and the behavior of occupants.

In the second day of the study, the calculations were made for ventilated classroom S17. The room was mechanically ventilated with constant fresh air flow rate of 450 m³/h (second gear for installed fan), and the number persons was 24.

The chart shown below was made during interval 10-12, when 24 persons were present. The level of carbon dioxide calculated with relation (3) and represented by curve Ccalc,24pers, approximates very well the variation curve of measured concentration (Cmas) for the analyzed room. Also, it can be observed that the difference between levels of CO₂ outside/inside reaches 600 ppm value corresponding to IDA2 air quality class.

It can therefore be concluded that the air flow introduced by the fan is the one needed to achieve an adequate ventilation of classroom for an average grade of occupation. If the number of persons would be maximum (30-32) this airflow of the fan would not be enough for ventilation, and the classroom would fit in the class IDA3 or class IDA4.

For a minimum number of persons in classroom (12 people) indoor air quality can fit in the category of ambiance IDA1 ($C-C_e = 350$ ppm).

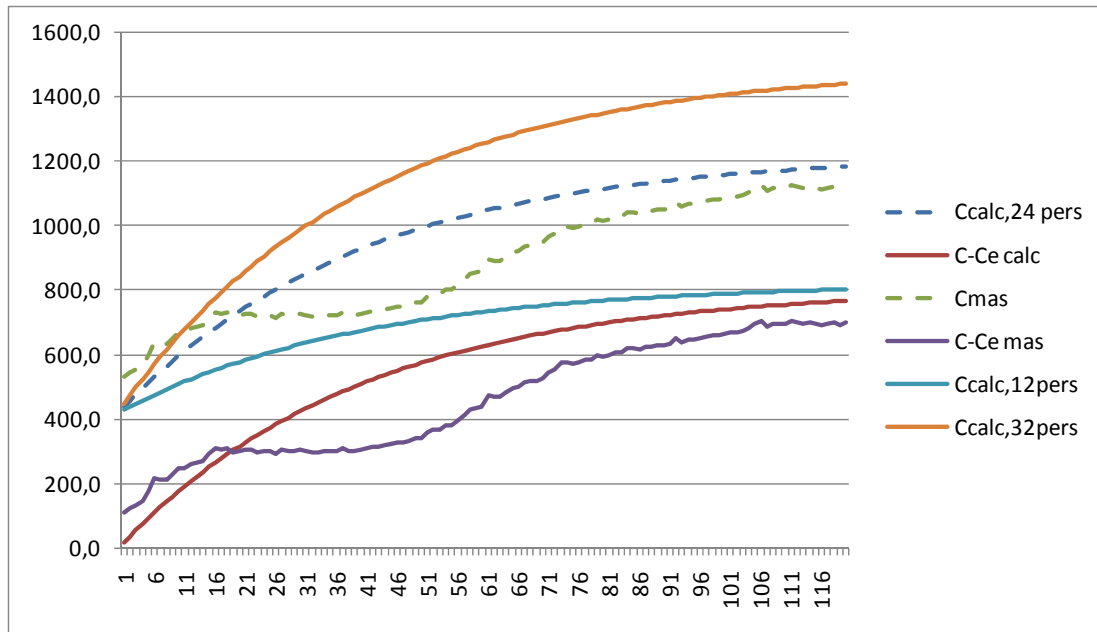


Fig. 6. CO2 levels calculated and measured for the ventilated room S17 and for different occupation ratios

For the study of variation in humidity of the air in the classroom it has been used the same pattern like in case of the study of pollution with CO2. In the following figure is given comparative variation of the moisture content x (g vap./kg a.u.) of indoor air, for a fresh air flow rate of $180 \text{ m}^3/\text{h}$.

The calculation was done for ventilated room S₁₇ (day 1), classroom that has windows, each window is equipped with 2 hygroscopic air vents which introduce a fresh air flow depending on the relative humidity of the air. The maximum flow of air that can be inserted through a grid is $30 \text{ m}^3/\text{h}$ for each grid, so a total maximum fresh air flow of $180 \text{ m}^3/\text{h}$.

It was been considered that the moisture generated by each persons is 63 g/h , and 32 persons were in the classroom. Calculation of moisture content of indoor air was achieved for an hour (8-9) in the x-axis being represented time in minutes.

In figure 5 we can see that the variation of the humidity content in the classroom, determined for a fresh airflow rate of $180 \text{ m}^3/\text{h}$, is far from the variation of moisture content measured x_{mas} (that resulted from measurement of indoor air temperature and relative humidity). In conclusion, a value of 0.6 air exchanges/hr of air exchange rate is insufficient to achieve a good quality of the air in the room. It is noted that the humidity in the air does not meet the conditions of comfort and air quality. If the fresh air flow rate introduced would be $600 \text{ m}^3/\text{h}$ (2 air changes/hr), then the curve of moisture content of calculated values (x_{calc}) would approximate very well the curve of measured values, and indoor air quality would be optimal in order that educational process to take place in good condition.

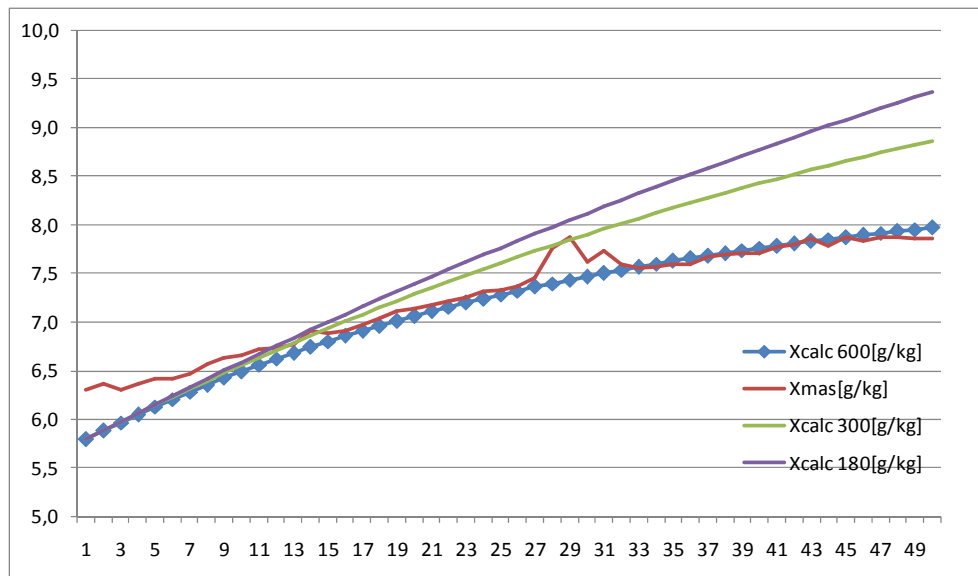


Fig. 7 – Humidity content calculated and measured for different fresh airflow rates (600, 300 and 180 m³/h)

4. Conclusions

In this article an extensive experimental campaign was realized with the purpose to test two ventilation strategies. The first one consisted of using hygroscopic air vents and the second one by using a window fan. The efficiency of the ventilation systems was compared with an identical classroom situated at the same floor as the test room. The results showed that in the non-ventilated room the CO₂ levels can go up to 2500 ppm overpassing the actual norms with more than 1500 ppm resulting in a poor air quality. On the other side, the ventilation system has proven its efficiency reducing the indoor pollution by half to a more acceptable level of 1200 ppm. The hygroscopic air vents can solve partially the introduction of fresh air this solution being recommended during winter time while for spring/autumn it is preferred to use the combination air vents and window fan. The measured data were compared to calculations and it was observed a good correlation. The numerical approach allowed us to test different fresh airflow rates (180 m³/h to 600 m³/h) and the impact on CO₂ levels or humidity.

Acknowledgements

This work was supported by a grant of the Romanian National Authority for Scientific Research, UEFISCDI, project number PN-II-PT-PCCA-2013-4-0569. The research article is also supported by the project ID P_37_229, SMIS 103427, Contract Nr. 22/01.09.2016, with the title „Smart Systems for Public Safety through Control and Mitigation of Residential Radon linked with Energy Efficiency Optimization of Buildings in Romanian Major Urban Agglomerations SMART-RAD-EN” supported by the Competitiveness Operational Program 2014-2020, POC-A.1- A.1.1.4 -E- 2015 competition. We would like also to thank Mr. Dănuț CARAGAȚĂ from AERECO Romania for his support and advices on humidity sensitive air vents.

References

- [1] ASHRAE, (2007), "Ventilation for acceptable indoor air quality".
- [2] REHVA Guidebook no 13, Indoor Environment and Energy Efficiency in Schools, 2010.
- [3] Zhang G, Spickett J, Rumchev K, Lee AH, Stick S., (2006). "Indoor Environmental quality in a "low allergen" school and three standard primary schools in Western Australia".
- [4] Naziah Muhamad Salleh, Syahrul Nizam Kamaruzzaman, Raha Sulaiman, (2011), Indoor air quality at school: Ventilation rates and its impact towards children- a review.
- [5] Soughnessy, R.J., Soughnessy, U.H, Nevalainen, A., Moschandreas, D. (2006). "A preliminary study on Association between ventilation rates in classrooms and students performance".
- [6] C.A. Erdmann, K.C. Steiner, M.G. Apte, Indoor carbon dioxide concentrations and SBS symptoms in office buildings revisited analyses of the 100 building BASE study dataset, in: Proceedings of Indoor Air 2002, vol. 2, Conference, Monterey, CA, Indoor Air 2002, Santa Cruz, CA, (2002).
- [7] D.K. Milton, P.M. Glencross, M.D. Walters, Risk of sick leave associated with outdoor ventilation level, humidification, and building-related complaints, Indoor Air 10 (2000).
- [8] O.A. Seppanen, W.J. Fisk, M.J. Mendell, Association of ventilation rates and CO2 concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings, Indoor Air 9 (1999).
- [9] G. Medjed, Ann Orback, Christe Erling, Subjective indoor air quality in schools in relation to exposure, Indoor Air 7 (1997).
- [10] J. Wargocki, W. Sundell, G. Bischof, P.O. Brundrett, F. Fanger, S.O. Gyntelberg, P. Hanssen, A. Harrison, O. Pickering, P. Seppanen, Wouters, Ventilation and health in non-industrial indoor environments: report from a European Multi- disciplinary Scientific Consensus Meeting (EUROVEN), Indoor Air 12 (2002).
- [11] M. Santamouris, A. Synnefa, M. Assimakopoulos, I. Livada, K. Pavlou, M. Papaglastra, N. Gaitani, D. Kolokotsa, V., (2008), Experimental investigation of the air flow and indoor carbon dioxide concentration in classrooms with intermittent natural ventilation.
- [12] Stefan Alexandru Ghita, Tiberiu Catalina, (2015), Energy efficiency versus indoor environmental quality in different Romanian countryside schools.
- [13] Paraskevi Vivian Dorizas, Margarita-Niki Assimakopoulos, Constantinos Helmis, Mattheos Santamouris, An integrated evaluation study of the ventilation rate, the exposure and the indoor air quality in naturally ventilated classrooms in the Mediterranean region during spring.
- [14] Lexuan Zhong, Feng-Chiao Su and Stuart Batterman Environmental, (2017), Volatile Organic Compounds (VOCs) in Conventional and High Performance School Buildings in the U.S.
- [15] Landrigan, P.J., Kimmel, C.A., Correa, A., Eskenazi, B., 2004. Children's health and the environment: public health issues and challenges for risk assessment. Environ. Health Perspect.
- [16] Tunga Salthammer, et al, (2014), Children's well-being at schools: Impact of climatic conditions and air pollution.

Nomograme pentru calculul simplificat de proiectare de dimensionare a barierelor acustice

Abacuses for acoustic barrier sizing during design stage

Mihai Vlad IONIȚA⁽¹⁾, Vlad IORDACHE⁽²⁾

Centrul de Cercetare CAMBI, Universitatea Tehnică de Construcții București, Romania

E-mails: ⁽¹⁾ v.mihaiivlad@yahoo.com, ⁽²⁾ viordach@yahoo.com,

Rezumat

În mediul urban diferite aparatele de instalații menite să mențină confortul la interiorul clădirilor devin vectori de poluare acustică urbană. Barierele acustice reprezintă metoda recomandată pentru protecție la zgomotul acestor surse punctuale de zgomot. Metoda de dimensionare a barierelor acustice întâlnite în mediul urban este dificil de folosit pentru astfel de surse punctiforme de zgomot. În acest studiu vom dezvolta o metodă mai simplificată de dimensionare a barierelor acustice menținând aceeași precizie caracteristică metodei clasice. Sunt construite nomograme de calcul simplificat de dimensionare a barierei acustice care sunt utilizabile pentru diferite poziții în spațiu ale punctelor de recepție, mai multe frecvențe și mai multe înălțimi de bariere acustice. Studiul de caz prezentat în articol dovedește rapiditatea și ușurința în utilizare a acestor nomograme în dimensionarea barierelor acustice.

Cuvinte cheie: protecției la zgomot, acustica urbană, bariere acustice, nomograme 2D calcul

Abstract

In urban environment, various heating ventilation and air conditioning appliances designed to maintain comfort indoors become urban acoustic pollution vectors. Acoustic barriers are the recommended method of noise protection for these noise sources. The sizing method of these acoustic barriers encountered in the urban environment is not an easy task for local noise sources. In this study we will develop a simplified method for acoustic barriers sizing, maintaining the same precision characteristic to the classical method. Simple sizing abacuses for acoustic barriers are built that are usable for different space locations of reception points, for several frequencies and several acoustic barrier heights. The case study presented in the article proves the rapidity and ease of use of these abacuses in the dimensioning of acoustic barriers.

Keywords: noise protection, urban acoustics, acoustic barriers, design 2D abacus

1. Introducere

Protecția la zgomot reprezintă astăzi una din cerințele de proiectare des întâlnite în vederea respectării cerinței F din cadrul verificărilor tehnice de proiectare. Astăzi, mai multe aparate de instalații (chillere, pompe de căldură, pompe compresoare, VRV-uri, Rooftopuri, și altele) pe lângă rolul lor în menținerea confortului interior clădirii deserveite, totuși reprezintă vectori de poluare sonoră conduc uneori la încălcarea normele de protecție la zgomot în spațiul urban [1] .

Astfel rolul inginerilor și al arhitecților este acela de a găsi soluții de protecție la zgomot. O astfel de soluție pentru protecția la zgomotul generat de aparatele de instalații, o reprezintă barierele acustice. Proiectarea acestor bariere acustice consta în determinarea poziției acestei bariere acustice, a lungimii și înălțimii ei. Proiectarea unei astfel de bariere acustice este relativ delicată deoarece consta într-o combinație de măsuri arhitecturale (relativ la poziția acesteia), de măsuri constructive (sustinerea și rezistența la acțiunea vântului) aparte de dimensionarea acustică a acesteia. Lungimea unei astfel de bariere acustice ține cont de lungimea de undă, și de poziția spațială a receptorului care va fi protejat. Înălțimea barierei acustice reprezintă un element de proiectare care se realizează de cele mai multe ori cu ajutorul diagramei Maekawa [2]. Deși, și alte teorii au fost dezvoltate în funcție de tipul de relief, de forma barierei acustice [3], de grosimea acesteia sau de existența unui capac înclinat [4] [5] și de tipul sursei de zgomot (punctiformă sau lineară) [6], totuși Diagrama Makawa rămâne astăzi metoda cu cea mai largă utilizare.

Acest calcul de dimensionare pe baza teoriei lui Maekawa, reprezintă o metodă greu utilizabilă de ingineri și arhitecți datorită complexității calculului necesar a fi realizat conform cerințelor naționale [7] pentru întreg spectrul de frecvențe. În acest studiu propunem o metodă simplificată pentru dimensionarea înălțimii unei bariere acustice, metodă bazată pe aceeași teorie. Astăzi nu există nomograme de calcul simplificat pentru această dimensionare. Ne propunem realizarea de nomograme de calcul cu scop ingineresc, pentru dimensionarea acestor bariere acustice, aplicabile pentru diferite geometrii și amplasamente diferite între locația sursei de zgomot și a punctului receptor ce se dorește a fi protejat.

În articol se prezintă metoda de construire a nomogramelor simplificatoare de calcul de dimensionare a înălțimii barierei acustice pe baza teoriei Maekawa, rezultatele acestei analize (nomogramele de dimensionare) și un scurt studiu de caz prin care să se exemplifice folosirea acestei metode.

2. Metoda

În acest capitol vom prezenta geometria analizată și metoda folosită pentru întocmirea nomogramelor de calcul.

Geometria analizată la nivel urban (Figura 1) presupune trei elemente diferite:

- o sursă de zgomot (stradă, chiller, pompă, ventilator sau în general un echipament zgomotos), care se va considera în analiza noastră ca fiind staționară și plasată la 1 m înălțime față de sol;
- o barieră acustică plasată la 1 m distanța față de sursa de zgomot care pornește de la nivelul pamantului până la înălțimea proiectată. Pare evident că o astfel de barieră acustică ar trebui să depășească în majoritatea cazurilor nivelul la care este amplasată sursa de zgomot. În această analiză ne propunem să studiem cinci înălțimi diferite ale barierei acustice: a) 1m reprezentând limita inferioară, b) 2m, c) 3m, d) 4m și e) 5m. Ne oprim la o înălțime maximă de 5 m deoarece pentru înălțimi mai mari asigurarea stabilității acestei barierei acustice la acțiunea vântului necesită un studiu și o etapă de proiectare separate și mai laborioasă. Din punct de vedere structural se recomandă ca bariera să aibă o masă specifică mai mare de 10 kg/m^2 , astfel încât unda sonoră principală să fie unda difractată (unda care ocolește bariera acustică) și nu cea care traversează perpendicular bariera acustică. Bariera nu trebuie să contină găuri, fisuri sau alte tipuri de neetanseități.
- zona protejată de bariera acustică este zona din spatele acestei barierei acustice care nu este văzută direct de sursa de zgomot (zona hașurată din Figura 1). Pentru orice punct din această zonă, unda sonoră provenind de la sursa de zgomot suferă o difracție în partea de sus a barierei acustice. În cazul acestui studiu analizăm cinci înălțimi diferite ale barierei acustice (cinci geometrii diferite) și pentru fiecare situație zona protejată va fi diferită.

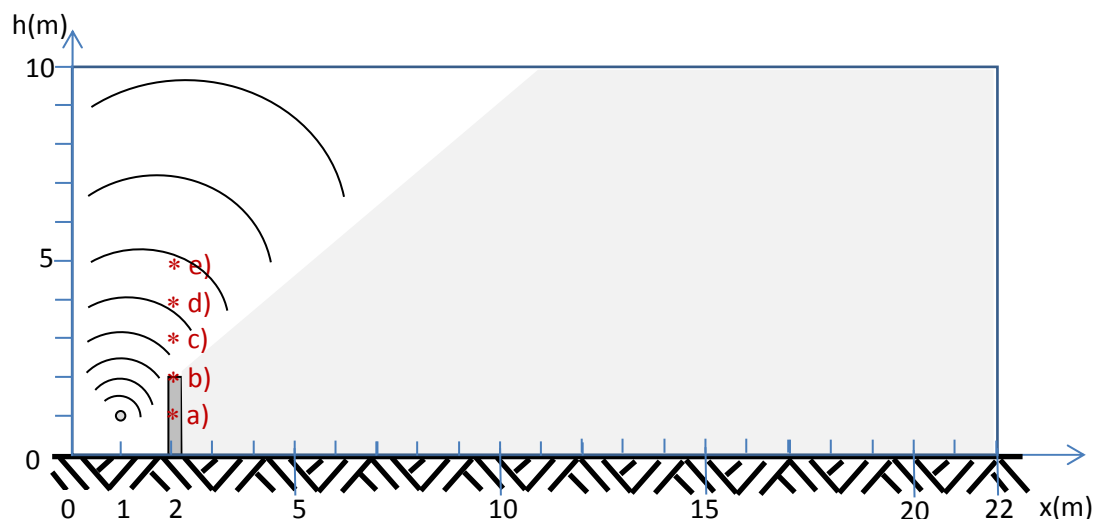


Figura 1. Geometrie barieră acustică și zona protejată

Înainte de montarea unei astfel de bariere acustice nivelul de zgomot din punctele aflate în zona protejată se datora undei propagate direct de la sursa de zgomot (S) spre punctul analizat (P), parcurgând o distanță d (m) (Figura 2). Iar după montarea barierei acustice nivelul de zgomot este datorat undei difractate, adică undei generate

de sursa de zgomot (S) și care ocolește bariera acustică în punctul cel mai înalt al barierei acustice (O) pentru a ajunge la punctul receptor (P), parcurgând astfel o distanță mai mare, $A+B$ (m), decât în situația față de bariera acustică.

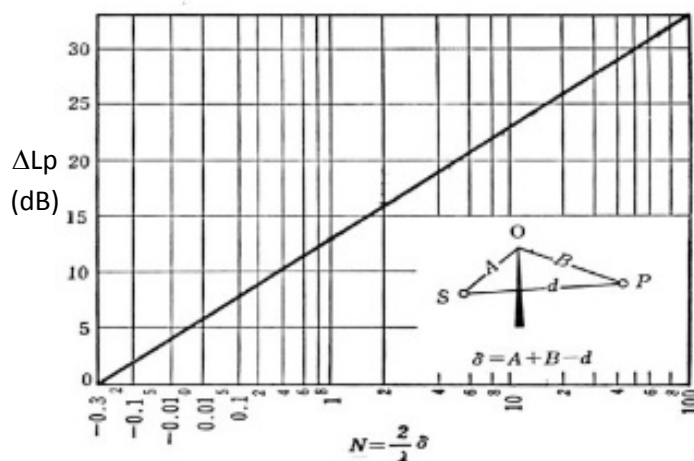


Figura 2. Atenuarea nivelului de zgomot datorat bariere acustice [6]

Pentru determinarea atenuării nivelului de zgomot, realizată de către o anumită barieră acustică, se va determina mai întâi numărul lui Fresnel N (-) (Ecuația 1) [8].

$$N = 2 \cdot \frac{A + B - d}{\lambda}, \quad (1)$$

unde λ (m) este lungimea de undă și este variabilă în funcție de frecvență. Cunoscând valoare lui N , se intră în diagrama de calcul din Figura 2 (Diagrama Maekawa pentru surse de zgomot punctiforme) și se determină pe axa verticală atenuarea introdusă de bariera acustică ΔL_p (dB).

În realitate sursa de zgomot nu este un generator de semnal, care să emită o singură undă pe o singură frecvență, ci emite pe întreg spectrul de frecvențe, și ca urmare atât numărul lui Fresnel cât și atenuarea nivelului de zgomot vor fi diferite în funcție de frecvență. Normele de protecție la zgomot din România [7] impun valori limită maxime admisibile pentru fiecare frecvență atât pentru spațiul urban stradal [1] cât și pentru fațadele clădirilor [9], și prin urmare bariera acustică trebuie dimensionată astfel încât să îndeplinească simultan toate condițiile corespunzătoare tuturor frecvențelor spectrului sonor.

Astfel calculul de dimensionare devine destul de complex datorită complexității geometriei și a diferitelor analize ce trebuie realizate simultan pentru toate frecvențele. Scopul acestui studiu este de a simplifica acest calcul de dimensionare a

unei bariere acustice prin realizarea de nomograme de calcul rapid al atenuării nivelului de zgomot în punctul de recepție.

3. Rezultate

Metoda de calcul prezentată în capitolul anterior a fost aplicată pentru fiecare configurație geometrică (fiecare înălțime de panou). Receptorul a fost plasat într-o grilă de poziții de calcul cu pas de 1 m pe orizontală (între 1 m - 21 m în spatele barierei acustice) și pas de 0.5m pe verticală (între nivelul pământului și 10 m înălțime). Pentru toate aceste puncte de recepție a fost aplicată metoda de calcul, fiind calculați parametrii : distanță A, distanță B, distanță d, distanță δ , numărul lui Fresnel N, și valoarea atenuării nivelului de zgomot ΔL_p , pentru fiecare frecvență. Pentru pozițiile receptorului din cadrul matricei de poziții de calcul unde receptorul nu este protejat de bariera acustică (zona "neumbrită") s-a impus o valoare nulă a atenuării nivelului de zgomot.

Pentru realizarea nomogramelor simplificatoare de calcul de dimensionare, aceste atenuări ale nivelului de zgomot au fost calculate pentru fiecare poziție de receptor, fiecare frecvență și fiecare înălțime de barieră acustică, iar în acest capitol vom prezenta în formă de nomogramă, variația atenuării nivelului de zgomot pentru trei frecvențe: 250Hz (corespunzătoare frecvențelor joase), 1000Hz (corespunzătoare frecvențelor mediane) și 4000Hz (corespunzătoare frecvențelor înalte).

În Figura 3, corespunzătoare frecvenței de 250 Hz, putem compara efectul celor cinci tipuri de bariere acustice. În cazul barierei de înălțime 1m (Figura 3a) zona protejată este cea mai redusă și este aplicabilă pentru protecția acustică a unor locații aflate la nivelul solului sau sub acest nivel (depinde de relief), aplicabilitatea acestei configurații fiind mai redusă. Se observă de asemenea că protecția pe care o asigură această barieră de 1m înălțime este de 5-6 dB la nivelul solului, adică o protecție scăzută. În cazul barierei de înălțime 2m (Figura 3b), zona protejată este mai mare, iar atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului este de aproximativ 10-12 dB.

Pentru bariera de 3m înălțime (Figura 3c), zona protejată este mai largă, iar atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului este de 15-17 dB. Pentru bariera de 4m înălțime atenuarea nivelului de zgomot de la nivelul solului crește spre 17-20 dB, iar pentru bariera de 5m înălțime ajunge la 19-21 dB. Ca și tendință generală se remarcă faptul că, cu cât crește înălțimea barierei cu atât zona protejată este mai mare și atenuarea nivelului de zgomot este mai mare.

În afara zonei protejate de bariera acustică s-a considerat că efectul barierei acustice este nul, bariera nu este interpusă în calea undei directe). Astfel, valorile minime ale atenuării sunt întâlnite pe linia de separație dintre zona protejată de bariera cea neprotejată. Se observă de asemenea că locația unde efectul de atenuare al barierei

acustice este cel mai ridicat este în imediata apropiere a barierei, în spatele acesteia. În această locație, pentru bariera de 1 m înălțime atenuarea este de 7 dB, iar pentru bariera de 5 m înălțime atenuarea este de 22 dB.

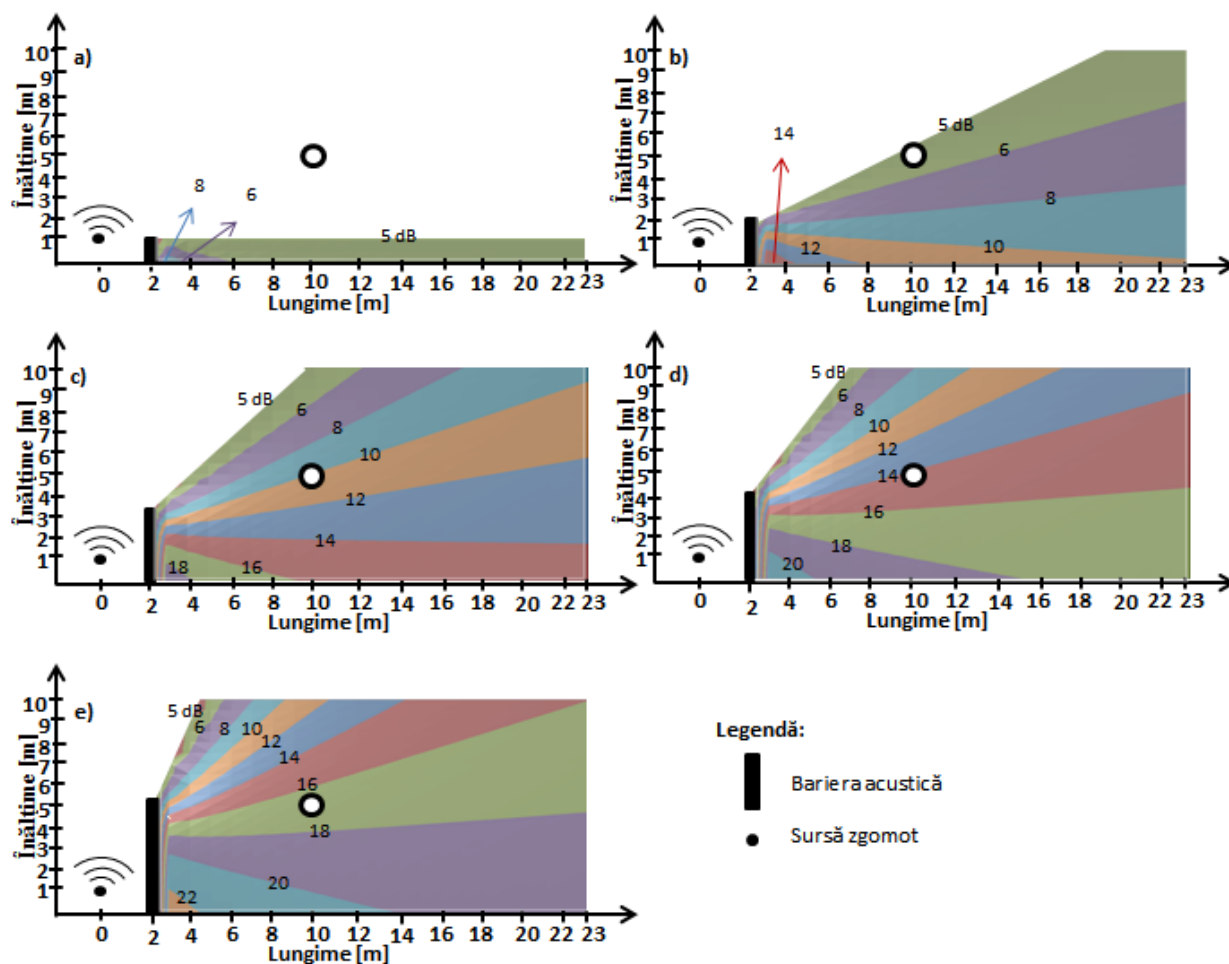


Figura 3. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 250 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

Dacă considerăm un punct necesar a fi protejat aflat la o distanță pe orizontală de 10 m față de sursa de zgomot și pe înălțime de 4 m (punct marcat cu cerculeț alb în Figura 1), se observă la bariera de 1m înălțime nu asigură nici o protecție, cea de 2m asigură o atenuare de 5.3 dB, bariera de 3m, o atenuare de 10 dB, cea de 4m, o atenuare de 14.1 dB, iar bariera de 5m asigură o atenuare de 16.4 dB.

În Figura 4, corespunzătoare frecvenței de 1000Hz, se observă aceeași tendință generală: cu cât înălțimea barierei crește cu atât zona protejată este mai mare și valoarea atenuării acustice este mai ridicată. Atenuarea maximă realizată de bariera acustică cea mai înaltă este de aproximativ 28 dB, mai mare decât valoarea de 22 dB corespunzătoare frecvenței de 250 Hz. Pentru un receptor aflat la 8 m în spatele

barierei acustice și la 2 m înălțime efectul barierei de 2 m înălțime la 1000 Hz este acela de atenuare a nivelului de zgomot cu aproximativ 6 dB față de situația când nu era montată bariera acustică.

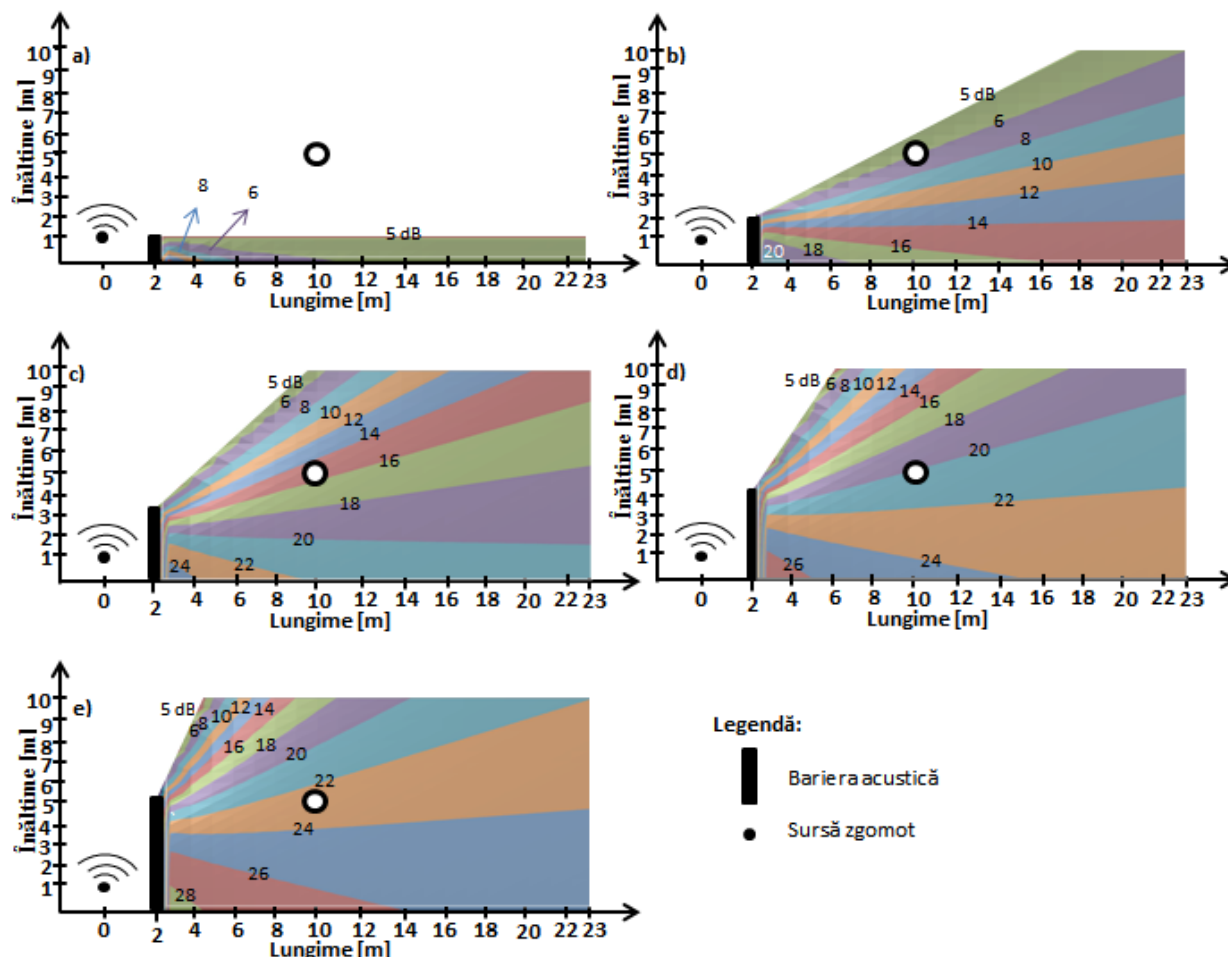


Figura 4. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 1000 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

În Figura 5, corespunzătoare frecvenței de 4000Hz, se observă aceeași tendință generală, întâlnită și la frecvențele de 250Hz și 1000Hz: cu cât înălțimea barierei crește cu atât zona protejată este mai mare, iar valoarea atenuării acustice este mai ridicată. Atenuarea maximă realizată de bariera acustică cea mai înaltă este de aproximativ 34 dB, mai mare decât valoarea de 28 dB corespunzătoare frecvenței de 1000 Hz.

Aceste nomograme au fost construite cu un caracter aplicativ, astfel încât să poată fi folosite de către ingineri și arhitecți pentru determinarea înălțimii minime a unei bariere acustice.

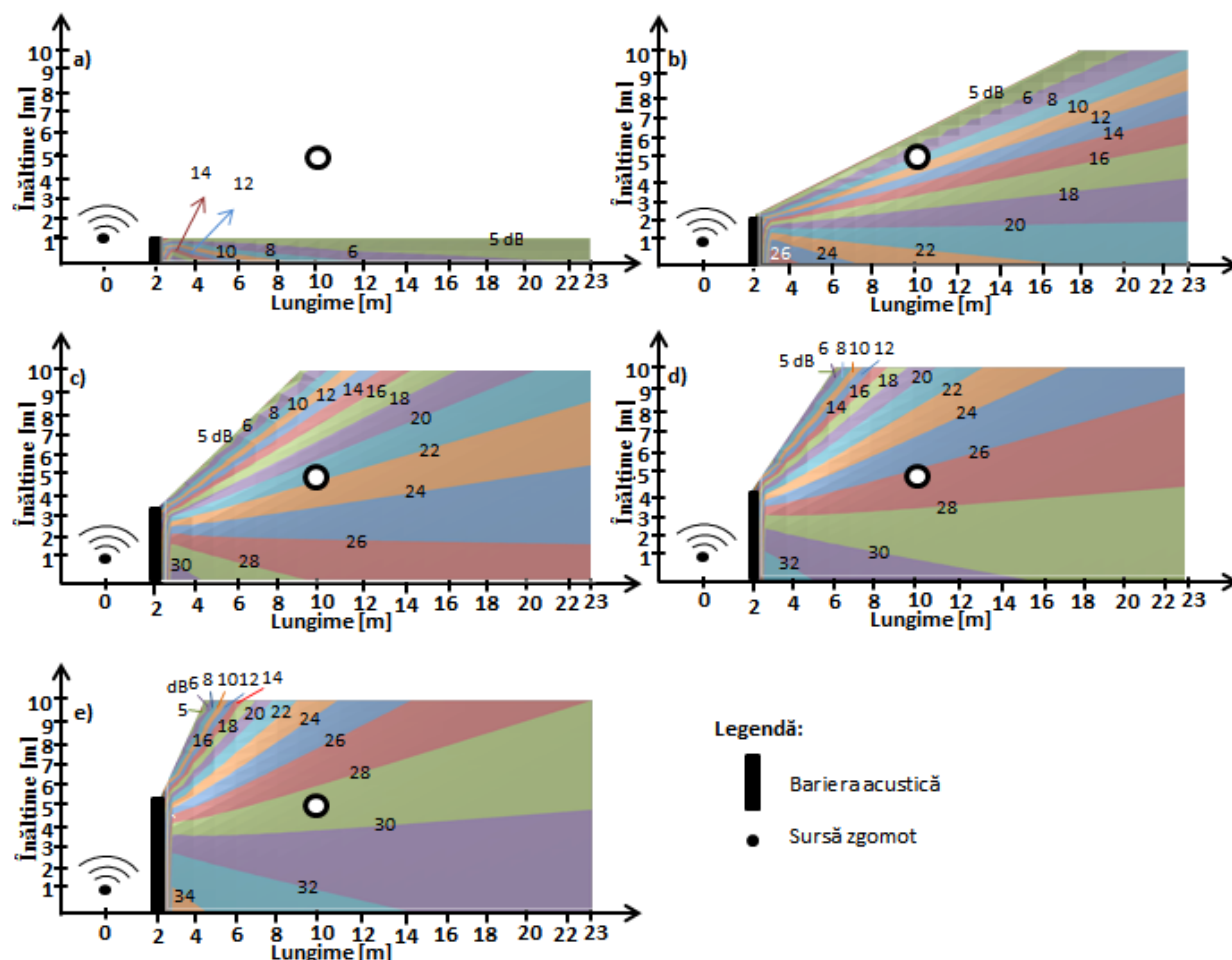


Figura 5. Atenuările nivelului de zgomot la frecvența de 4000 Hz pentru bariera fonoabsorbantă de înălțime a) 1m; b) 2m; c) 3m; d) 4m; e) 5m

4. Studiu de caz

În acest capitol este exemplificat modul în care aceste nomograme pot fi folosite pentru a dimensiona corect înălțimea unei bariere acustice.

Să considerăm cazul unei surse de zgomot de tip chiller montat în terasa unei clădiri de birouri la 2 m distanță de aticul clădirii. Zona de recepție este blocul vecin, unde la fațadă se impune un nivel de zgomot de 45 dB la 1000Hz. Considerăm distanța între chiller și apartamentul plasat la aceeași înălțime cu chillerul de 10 m, iar nivelul de zgomot generat de chiller în dreptul apartamentului de 63 dB, deci cu 18 dB peste nivelul de zgomot maxim admisibil.

Să considerăm că se montează o barieră acustică lângă aticul clădirii, deci la 2 m de chiller și 8 m de punctul de recepție (fațada clădirii). Vom considera o înălțime a

barieri de 1 m peste nivelul chillerului. Deci pentru frecvența 1000 Hz, ne aflăm în cazul Figurii 4b de unde vom citi o atenuare de 16 dB datorată montării acestei bariere acustice. Prin urmare, nivelul de zgomot după montarea barierei acustice va fi de $63 \text{ dB} - 16 \text{ dB} = 47 \text{ dB}$, și tot va depăși valoarea maximă admisibilă de 45 dB. Vom opta pentru o barieră acustică mai înaltă (2 m peste nivelul chillerului). Ne aflăm în cazul Figurii 4c și citim din nomogramă o atenuare de 21 dB, ceea ce ne conduce la un nivel de zgomot de $63 \text{ dB} - 21 \text{ dB} = 42 \text{ dB}$, valoare care respectă condiția impusă inițial (maximul admisibil de 45 dB).

Acest exemplu demonstrează simplitatea folosirii acestor nomograme de calcul de dimensionare rapidă a înălțimii barierelor acustice, reprezentând o unealtă folosită de arhitecții și inginerii.

5. Concluzii

Metoda Maekawa de calcul a atenuării nivelului de zgomot caracteristică unei bariere acustice a fost aplicată pentru mai multe poziții de receptori. Rezultatele au fost folosite pentru construirea unei nomograme de calcul simplificat de dimensionare a înălțimii unei bariere acustice. Mai multe astfel de nomograme au fost construite pentru trei frecvențe diferite (250Hz, 1000Hz, 4000Hz) și pentru cinci înălțimi diferite de bariere acustice (1m, 2m, 3m, 4m, 5m).

Studiul de caz dovedește tocmai faptul că aceste nomograme contribuie în mod esențial la simplificarea calculului de dimensionare a înălțimii unui panou acustic menținând la aceeași precizie ca și metoda clasică.

Mai mult, acest studiu reprezintă și o validare a acestui demers în vederea realizării de alte metode simplificatoare pentru alte geometrii și cazuri speciale unde metoda clasică poate deveni deasemeni dificil de aplicat într-un calcul rapid de proiectare.

Recunoaștere

Acest studiu a fost susținut de Autoritatea Națională Română pentru Cercetare Științifică și Inovare, CNCS/CCCDI - UEFISCDI, prin proiectul numărul PN-III-P2-2.1-PED-2016-1951, în cadrul PNCDI III.

Bibliografie

- [1] "SR 10009:2017 - Acustică. Limite admisibile ale nivelului de zgomot din mediul ambiant."
- [2] Z. Maekawa, "A simple estimation method for noise reduction by various shaped barriers," *Revista de Acustica*, vol. XXI, pp. 32-37, 1990.

- [3] K. W. W. H. Kasess CH, "Deriving correction functions to model the efficiency of noise barriers with complex shapes using boundary element simulations.," *Applied Acoustics*, vol. 102, pp. 88-99, 2016.
- [4] U. J. Kurze and G. S. Anderson, "Sound attenuation by barriers," *Applied Acoustics*, vol. 4, no. 1, pp. 35-53, 1971.
- [5] Y. M. Lam, "Using Maekawa's chart to calculate finite length barrier insertion loss," *Applied Acoustics*, vol. 42, no. 1, pp. 29-40, 1994.
- [6] Z. Maekawa, "Noise reduction by screens," *Applied Acoustics*, vol. 1, no. 3, pp. 157-173, 1968.
- [7] "Normativ C125:2012 - Normativ privind acustica în construcții și zone urbane".
- [8] R. Peng and L. Tang, "Narrowing effect of focused polychromatic laser with small Fresnel number," *Optics Communications*, pp. 2707-2710, 2011.
- [9] "SR 6161-1:2008 Acustica în construcții. Partea 1: Măsurarea nivelului de zgomot în construcții civile. Metode de măsurare".

Parameters study of the electric power cables

Cristina Gabriela Săracin¹, Marin Săracin²

¹Universitatea Politehnica din București
Splaiul Independenței Nr.313, Romania

E-mail: cristina.saracin@upb.ro

²Universitatea Politehnica din București
Splaiul Independenței Nr.313, Romania

E-mail: marin.saracin@upb.ro

Abstract. – *This paper constructs a brief presentation of the electric cables, industrial connectors and cable carriers used to power electric devices. The measuring of the electric cables' parameters has been performed with the LCR Meter Instek 6100. The obtained results verify and validate the mathematical relationships which resulted by modelling the electric cables' parameters. The ÖLFLEX Classic, Servo and Heat electric cables are manufactured by the Lapp Group Company. They have first been tested in accordance to the factory parameters and then were subjected to drag chain and heating tests. These tests and results are presented and discussed in this paper.*

Cuvinte cheie: electric cable, DC and AC measurement, electrical parameters.

1. Introduction

An electric cable represents the assembly of insulated conductors, mechanically grouped and electrically separated. Most of the electric cables have metallic shielding and heavy duty plastic cover. This plastic cover serves as protection against chemical and mechanical actions while the shielding protects the cable against interference from exterior electric and magnetic fields.

With respect to their intended use, the electric cables can be divided into the following categories:

- energy or power cables used for the transportation and distribution of AC and DC currents;
- command and signaling cables used in systems of control, measuring, signaling, protection and automation;
- communication cables used in installations of telecommunication, telephony, telex, remote sensing, fire alarm systems, etc.;
- data cables used to send information to computing systems.

The electric cables must have optimal electrical characteristics in order to provide power to the connected receivers. This implies low electrical parameters (resistance, capacitance and impedance) and high mechanical characteristics (flexibility, tensile strength, heat resistance).

The safety of the electric installation is an important and timely topic. A low maintenance – high durability electric installation requires the following conditions:

- the components have to be properly chosen (cables, connectors, cable glands, protection and switching equipment);
- the shielding has to be checked in advance;
- the fault tolerance must be ensured in case of electric failure.

The industrial applications involving mobile and flexible elements imply the use of electric conductors in cable carriers. In automation, the electric cables, the connectors and cable carriers have to ensure good transportation conditions. Also, the cable carriers and the electric cables are expected to adhere to the electric domain directives and industry standards (RoHS 2011/65/CE, DEEE 2012/19/CE) [1].

The transmission quality accomplished by the cable carriers depends on the electrical and mechanical properties of the electric cables and connectors. The electric cables and connectors used in these applications provide better transmission properties, high contact force and excellent conductivity.

2. Mathematical modeling of the electric cables' parameters

An electric cable is characterized by impedance (Z) that consists of resistance (R) and reactance (X); the reactance can be inductive (L) or capacitive (C). The impedance is the inverse of admittance (Y).

The cable's resistance is positive and the reactance can be positive (mostly inductive) or negative (mostly capacitive). Resistance varies in relation to the power source's frequency, while the reactance always increases with the voltage's frequency.

The physical modeling behavior that approximates the fluctuation of the electric parameters versus the power source's frequency [2, 3, 4], it is based on the below equivalent series or parallel schemes.

The quality factor for a predominantly inductive load is:

$$Q = \frac{\omega L_s}{R_s} = \frac{R_p}{\omega L_p} \quad (1)$$

where: L_s , L_p are the series and parallel inductances of a cable and, R_s , R_p are the series and parallel resistances of the electric cable.

In case of predominantly capacitive load, the quality factor is:

$$Q = \frac{1}{\omega R_s C_s} = \omega R_p C_p \quad (2)$$

where: C_s , C_p are the series and parallel capacitances of the electric cable.

The mathematical modeling equivalence formulas are:

$$R_p = R_s \cdot (1 + Q^2), \quad C_s = C_p \cdot \frac{Q^2}{1 + Q^2}, \quad L_p = L_s \cdot \frac{1 + Q^2}{Q^2} \quad (3)$$

In case of cables with low quality factor (less than 0.1), the mathematical relationships between series and parallel schemes are:

$$R_p = R_s, \quad C_s = C_p \cdot Q^2, \quad L_p = L_s \cdot \frac{1}{Q^2} \quad (4)$$

In case of cables with high quality factor (over 10), the relations between the series and parallel schemes become:

$$R_p = Q^2 \cdot R_s, \quad C_s = C_p, \quad L_p = L_s \quad (5)$$

3. Measuring of the electric cables' parameters

3.1. The measuring of the electric cables resistance in continuous current circuit

For measuring the resistance of an electric cable in continuous current circuit, a multimeter or LCR meter can be used. In this case, the LCR/6100 Meter produced by the Instek Company was used.

The electric cables used for testing belong to the Lapp Group Company, each of them having a length of one meter and the conductor sections of 0,75 mm², 1 mm², 1,5mm², 2,5 mm² and 4 mm². Using the DCR function of the LCR meter, the following results have been obtained (shown in table I).

Table 1. The electric cables' resistance

s[mm ²]	0.75	1	1.5	2.5	4
DCR measured ÖLFLEX Classic	0.02601	0.01438	0.00916	0.00715	0.00452
DCR measured ÖLFLEX Servo	0.02593	0.0176	0.01017	0.00727	0.0046
DCR measured ÖLFLEX Heat	0.02569	0.0194	0.01414	0.00789	0.0051
DCR in factory	0.0267	0.0182	0.0122	0.00756	0.0047

The electric cable's resistance, specified by the manufacturer, complies with IEC 60228/DIN EN60228 (VDE0295) standards for copper core cables. The obtained measurements are concurrent with the manufacturer's specifications.

3.2. The measuring of the impedance and reactance of the electric cables' in alternative current schemes

For the measuring of the electric resistance, inductance, capacity, impedance modulus, dissipation factor and the phase shift, the LCR/6100 Meter was used. This LCR meter can accurately measure impedance at a specific frequency as simply L, C and R in serial or parallel circuits [5]. The LCR meter was programmed via the serial interface to communicate with the computer at the baud rate of 115200byte/second.

The parameters of the electric cables have been determined according to the following frequencies: 10Hz, 50Hz, 60Hz, 100Hz, 120Hz, 1kHz, 2kHz, 10kHz, 20kHz, 40kHz, 50kHz, 100kHz.

The first measurements were performed on ÖLFLEX CLASSIC 100 cables.

To achieve the automatic measurements, the LCR Meter was programmed based on the graphic user interface presented in Fig. 1.

Fig. 1. Set list sweep

The selected functions were: Cs-Rs, Cs-D, Cp-Rp, Cp-D, Lp-Rp, Lp-Q, Ls-Rs, Ls-Q, Rs-Q, Rp-Q, R-X, Z-theta_r, Z-theta_d, Z-D, Z-Q, monitor(1) respective monitor(2): Z, D, Q, Vac, Iac, ABS, REL.

The results obtained from the measurements (after the running of the program) are shown in Fig. 2.

Loop	Step	Function	Mon(1)	Mon(2)	Freq_Value	Level_Value	Primary	Second	Monitor(1)	Monitor(2)	CMP(P / S)
1	22	Cs-Rs	Z	Q	10.00 kHz	1.00 V	-163.359 uF	0.01241 ohm	98.213 mohm	7.8524	P.L
1	23	Ls-Q	Vac	Iac	10.00 kHz	1.00 V	1.55088 uH	7.89521	0.0010 V	9.9988 mA	P.H
1	24	R-X	ABS	REL	10.00 kHz	1.00 V	0.01238 ohm	0.09741 ohm	0.0124 ohm	0.0000 %	P.H
1	25	Z-theta_r	Vac	Iac	10.00 kHz	1.00 V	12.3612 mF	0.09749 ohm	0.0010 V	9.9988 mA	P.H
1	26	Z-theta_d	Vac	Iac	10.00 kHz	1.00 V	12.3976 mF	0.09745 ohm	0.0010 V	9.9988 mA	P.H
1	27	Cp-Rp	Z	Q	10.00 kHz	1.00 V	-160.772 uF	0.78132 ohm	98.209 mohm	7.8926	P.L
1	28	Lp-Q	Vac	Iac	10.00 kHz	1.00 V	1.57589 uH	7.86836	0.0010 V	9.9988 mA	P.H
1	29	Cs-Rs	Z	Q	50.00 kHz	1.00 V	-6.95797 uF	0.03167 ohm	458.57 mohm	14.447	P.L
1	30	Ls-Q	Vac	Iac	50.00 kHz	1.00 V	1.45566 uH	14.4651	0.0046 V	9.9967 mA	P.H
1	31	R-X	ABS	REL	50.00 kHz	1.00 V	0.03166 ohm	0.45746 ohm	0.0317 ohm	0.0000 %	P.H
1	32	Z-theta_r	Vac	Iac	50.00 kHz	1.00 V	31.5198 mF	0.45740 ohm	0.0046 V	9.9967 mA	P.H
1	33	Z-theta_d	Vac	Iac	50.00 kHz	1.00 V	31.6759 mF	0.45747 ohm	0.0046 V	9.9967 mA	P.H
1	34	Cp-Rp	Z	Q	50.00 kHz	1.00 V	-6.92501 uF	6.64994 ohm	458.56 mohm	14.467	P.L
1	35	Lp-Q	Vac	Iac	50.00 kHz	1.00 V	1.46321 uH	14.4218	0.0046 V	9.9967 mA	P.H
1	36	Cs-Rs	Z	Q	100.0 kHz	1.00 V	-1.78220 uF	0.04820 ohm	894.33 mohm	18.528	P.L
1	37	Ls-Q	Vac	Iac	100.0 kHz	1.00 V	1.42123 uH	18.5267	0.0089 V	9.9948 mA	P.H
1	38	R-X	ABS	REL	100.0 kHz	1.00 V	0.04817 ohm	0.89302 ohm	0.0482 ohm	0.0000 %	P.H
1	39	Z-theta_r	Vac	Iac	100.0 kHz	1.00 V	48.2350 mF	0.89293 ohm	0.0089 V	9.9948 mA	P.H
1	40	Z-theta_d	Vac	Iac	100.0 kHz	1.00 V	48.2852 mF	0.89302 ohm	0.0089 V	9.9948 mA	P.H
1	41	Cp-Rp	Z	Q	100.0 kHz	1.00 V	-1.77701 uF	16.6154 ohm	894.34 mohm	18.552	P.L
1	42	Lp-Q	Vac	Iac	100.0 kHz	1.00 V	1.42539 uH	18.5098	0.0089 V	9.9948 mA	P.H

Fig. 2. List measurement

By processing the data concerning the ÖLFLEX CLASSIC 100 4G0.75, 4G1, 4G1.5 cables at different frequencies, the following charts resulted: resistance, capacitance and inductance series (Fig.3).

Parameters study of the electric power cables

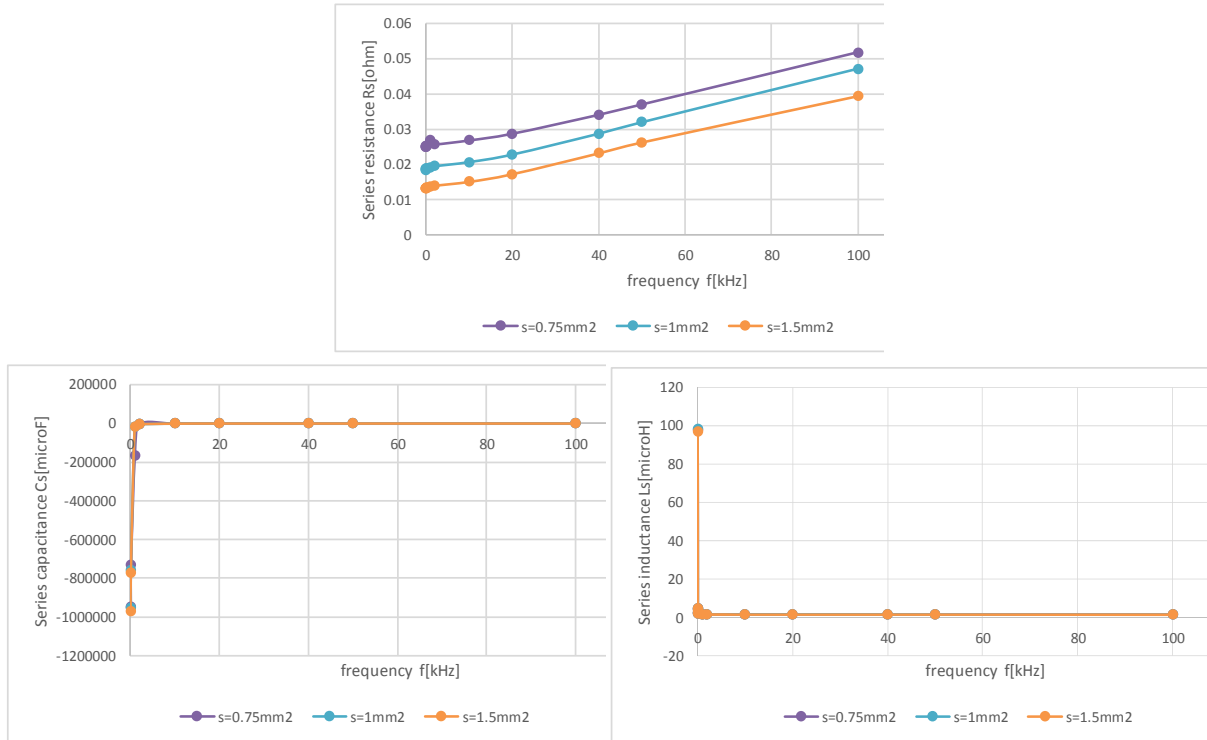


Fig. 3. Series resistance, capacitance and inductance function of frequency

The frequency's dependences function of the parallel resistance, capacitance and inductance (Fig.4) were obtained using the same parameters as for the test above.

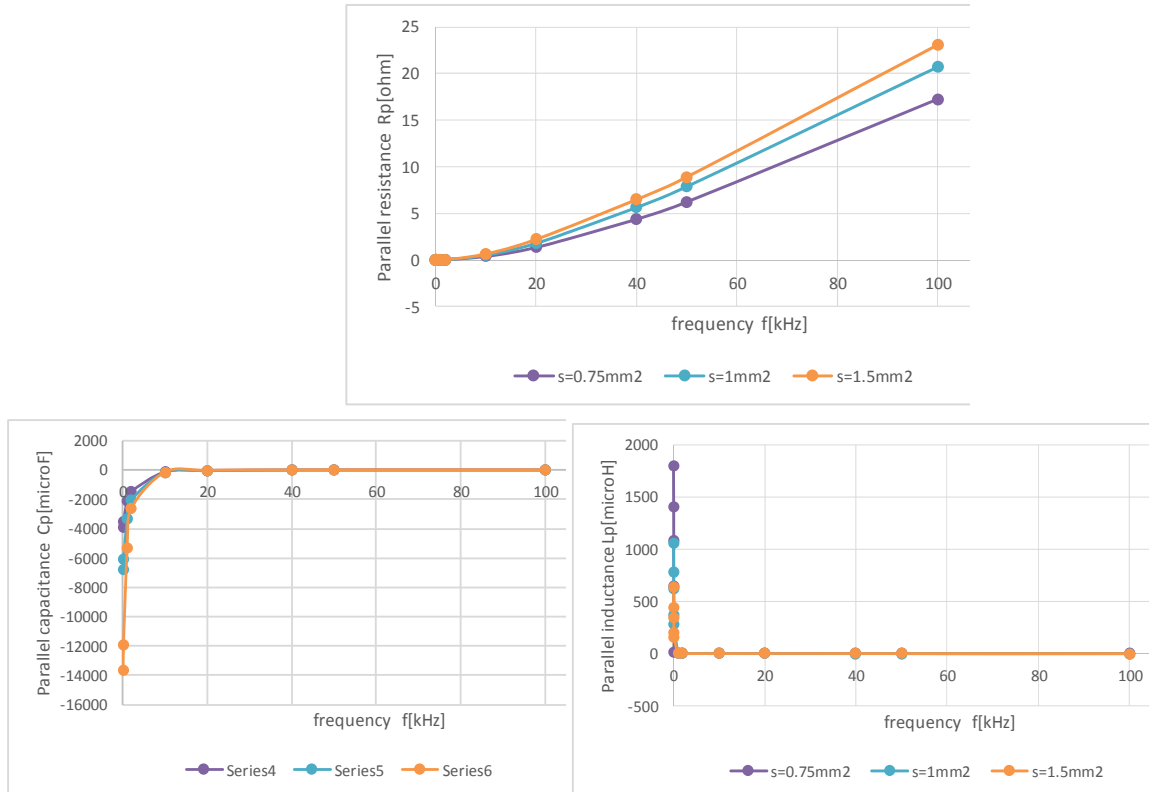


Fig. 4. Parallel capacitance and parallel inductance versus frequency

Two other important electric cables' parameters consist of impedance and quality factor whose dependency is presented in the charts from Fig. 5.

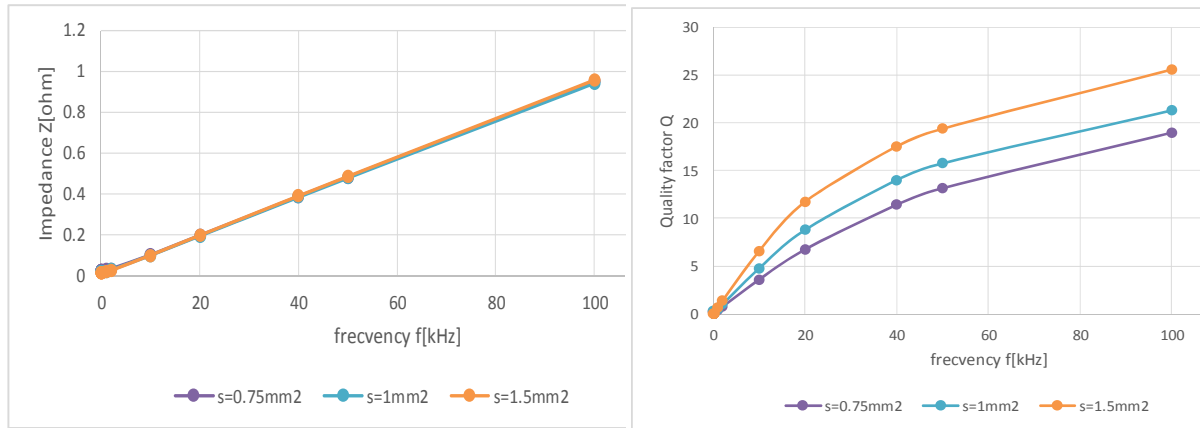


Fig. 5. Impedance and quality factor versus frequency

Similar results were obtained for the following electric cables: ÖLFLEX CLASSIC 110 CY, ÖLFLEX SERVO FD 796CP and ÖLFLEX HEAT 180.

4. The stresses of the electric cables

4.1. The electric cables' reaction to overheating

The study of the electric cables' reaction to overheating was conducted for the ÖLFLEX CLASSIC 110 CY 4G1.5 and ÖLFLEX CLASSIC 110 CY 4G2.5 electric cables. Both were kept one hour in the oven. The first electric cable was heated to a temperature of 80 degrees Celsius while the second one was heated to 120 degrees Celsius.

Fig. 6 presents the electric oven used to heat up the electric cables and the placement of the cable inside the oven.



Fig. 6. Electric oven

Fig.7 show the frequency dependence of the quality factor. This factor is represented with orange for an unheated electric cable and with blue if the electric cable was heated.

Parameters study of the electric power cables

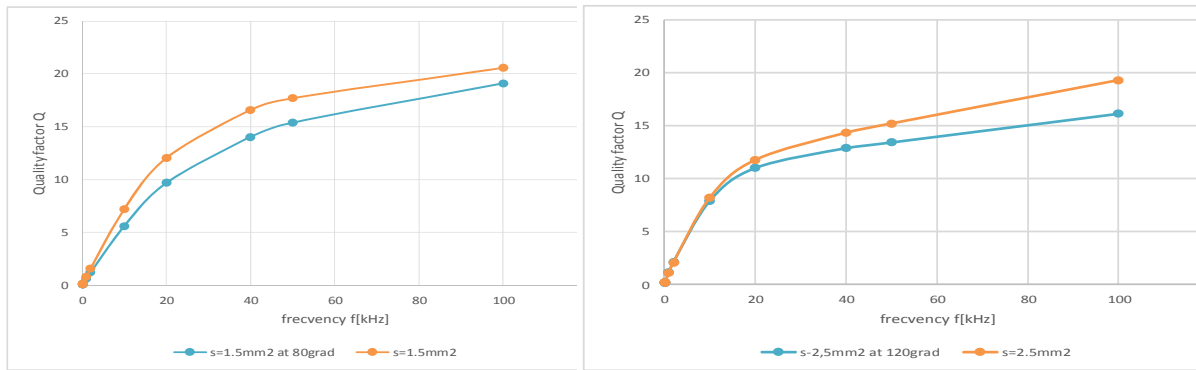


Fig. 7. Quality factor versus frequency for ÖLFLEX CLASSIC 110 CY 4G1,5 and 4G2,5 electric cable

The results of the measurements made on overburdened heating cables led to the following conclusions:

- series resistance was increased;
- series capacity and inductance were decreased;
- parallel resistance was reduced;
- parallel capacity and inductance widened;
- quality factor respectively impedance decreased.

4.1. Drag chain system

The study of the electric cables' behaviour at the stretching test was conducted for the ÖLFLEX SERVO FD 796CP 4G1,5 and ÖLFLEX SERVO FD 796CP 4G2,5 electric cables. The electric cable under test was installed into a power chain and "suffered" a number of 1000 cycles stretching. The system used to perform this stretching is present in Fig. 8.



Fig.8. Drag chain system

At the end of the stretching tests on the ÖLFLEX SERVO FD 796CP electric cables, the measurements confirmed the insignificant changes of the electric parameters.

Fig.9 shows the quality factor's dependence on the stretching maneuvers; the red curve shows the quality factor before stretching and the green curve shows the quality factor's graphic after the electric cable performed 1,000 stretching cycles.

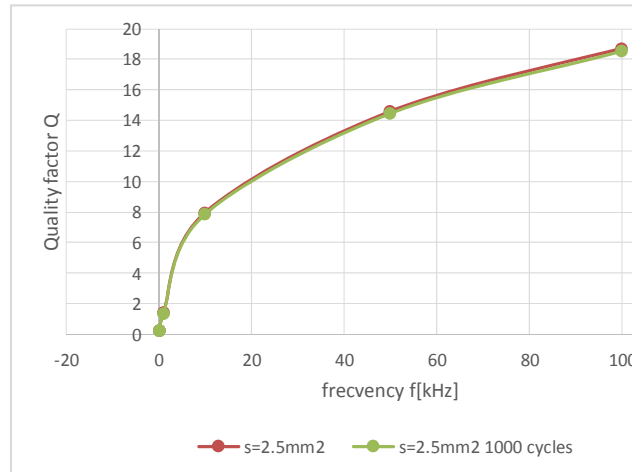


Fig. 9. Quality factor versus frequency for SERVO FD 796CP 4G2,5 electric cable

5. Conclusions

The electric measurements and tests performed on the electric cables send to the following conclusions:

- the DC resistance of all three types of electric cables ÖLFLEX Classic, Servo și Heat meet the Lapp specified corporate data and specifications;
- the measured electric parameters, using series and parallel schemes, totally check and comply with the math models and relations 4 and 5;
- the resistance and the reactance per the length unit are compatible with the results presented in journal specialized articles [11, 12, 13].

The selection of the electric cables, able to power diverse devices, has to be done in accordance to the following regulations: application range, product features, norm references and technical data specified by the manufacturer. The technical data of the electric cables consist in the core identification code, conductor stranding, torsion movement, minimum bending radius, nominal voltage, test voltage and the temperature range.

The electric cables and connectors dedicated to various types of applications must ensure good transmission properties, high contact force and excellent conductivity. Transmission of information depends on the electrical and mechanical properties of the cables and the placement of the electric cables into the cable channel.

The current and future automation technology solutions include complete cabling and connection systems for integrated networking at the sensor/actuator and control levels, right through to inventory management systems. One part of this is automation engineering, which continues to play a key role within the industry and which continues

to pose a challenge through its continual demand for innovation. Highly specialized requirements for cables and accessories also characterize the food processing industry.

Acknowledgment

We would like to thank Lapp Group Company, for providing us all the necessary high-performance measurement equipment.

References

- [1] <https://www.hbm.com/en/4150/cables-and-their-impact-on-test-and-measurement-equipment/>
- [2] G. A. Franklin, "Using modal analysis to estimate received signal levels for a power-line carrier channel on a 500-kV transmission line", IEEE Trans. Power Del., vol. 24, no. 4, pp. 2446–2454, Oct. 2009.
- [3] V. Năvrădescu, M. Popescu, A. I. Chirilă, I. D. Deaconu and C. Ghiță, "Computation Methods for Space Harmonic Effects of Single-Phase Induction Motor Performance", Rev. Roum. Sci. Techn.–Électrotechn. et Énerg., 55, No 3, Juillet-Septembre, ISSN 0035-4066, pg. 278-288, Bucharest 2010.
- [4] E. Cazacu, "Instalatii electrice moderne. Baze teoretice, elemente de calcul si proiectare", Editura Matrix ROM 2015.
- [5] R. Malaric, P. Mostarac, G. Petrovic, J. Havelka, "Method for Nonlinear Fitting and Impedance Analysis with LCR Meter", MIXDES 2016, June 23-25, Poland.
- [10] A. Pukach, R.A. Ivantsiv, V. Teslyuk, "Methods and schemes of measuring the electric circuit resistance parameter value", MEMSTECH'2010, Polyana-Svalyava (Zakarpattya), UKRAINE, pp. 131–134, 20-23 April 2010.
- [11] F. Faria da Silva, "Simplified formulae for the estimation of the positive-sequence resistance and reactance of three-phase cables for different frequencies, 2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), pag. 1-6, Sept 2015.
- [12] Váry Michal, Lelák Jaroslav; Ďurman Vladimír, "Diagnostics of Cables and Wires Ageing in Electrical Power Engineering", DEMISEE'2016, Diagnostic of Electrical Machines and Insulating Systems in Electrical Engineering, pp.21-24, 20-22 June 2016.
- [13] C. G. Sărăcin, „Instalații electrice”, Editura Matrix ROM, 2009.
- [14] C. G. Sărăcin, M. Sărăcin, V.V. Golea, „Sisteme de telemăsurare”, Editura Matrix ROM, 2004.

Smogul estival și Ozonul. Studiu de caz pentru București

Summer smog and Ozone. Bucharest case study

Florinela Ardelean¹

¹Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Ingineria Instalațiilor, B-dul Pache Protopopescu nr. 66, București, România
E-mail: florinela.ardelean@gmail.com

Rezumat. *Smogul fotochimic este o problemă serioasă de mediu și determină probleme grave de sănătate locuitorilor multor zone urbane. Compușii chimici asociați acestui tip de poluare și analizați în această lucrare au fost oxizii de azot $\text{NO}_x(\text{NO}/\text{NO}_2)$, ozonul (O_3) și compușii organici volatili nemetanici (COVNM). S-a urmărit înțelegerea fenomenologică a unor aspecte legate de ciclul fotodinamic al oxizilor de azot, variația concentrației ozonului troposferic, în strânsă legătură cu intensitatea radiației solare. În acest context, lucrarea prezintă o parte dintre rezultatele obținute în urma unui studiu experimental efectuat în centrul unei aglomerări urbane reprezentative -București, zonă caracterizată prin trafic rutier intens.*

Cuvinte cheie: smog fotochimic, ozon troposferic, oxizi de azot, trafic rutier, radiație solară

Abstract. *Photochemical smog is a serious environment problem and determines serious health issues for inhabitants of several urban areas. The chemical compounds associated with this type of pollution and analyzed in this paper were Nitrous Oxides $\text{NO}_x(\text{NO}/\text{NO}_2)$, ozone (O_3) and non-methane volatile organic compounds (NMVOC). With this case study, the attempt was made to understand, from a phenomenological standpoint, some aspects related to the photodynamic cycle of Nitrous oxides, the variation of tropospheric ozone concentration, in strong connection to the solar radiation intensity. In this context, the paper presents a part of the obtained results following an experimental study performed downtown of a representative urban congestion - Bucharest, an area characterized by heavy road traffic.*

Key words: photochemical smog, tropospheric ozone, Nitrous oxides, road traffic, solar radiation

1. Introducere

Poluarea aerului este rezultatul introducerii în atmosferă, direct sau indirect, a unor substanțe sau a unor cantități de energie caracterizate prin nocivitate, care ar putea să pună în pericol sănătatea indivizilor, să deterioreze bunurile materiale, având ca finalitate degradarea mediului înconjurător [1]. Se evidențiază două categorii de

poluanți: primari (emiși direct în atmosferă dintr-o varietate mare de surse) și secundari (formați în atmosferă ca rezultat al reacțiilor dintre poluanții primari între ei sau dintre poluanții primari și alte substanțe diferite, existente normal în aerul atmosferic; lumina solară influențează de multe ori desfășurarea acestor reacții chimice). Secolul XX s-a caracterizat printr-o tranziție de la troposfera urbană dominată de poluanții primari la cea în care poluanții secundari sunt într-o continuă creștere [2]. Cele trei mari probleme de poluare la scară regională și urbană sunt: *smogul reducător* (industrial) - ca rezultat al arderii combustibililor fosili, *smogul fotochimic* (oxidant) – asociat emisiilor industriale și a celor rezultate din traficul rutier și *ploile acide* – urmarea combustiei ce are loc în focarele instalațiilor mari de ardere sau a motoarelor cu ardere internă.

„*Smogul fotochimic (oxidant)*” apare în perioada caldă a anului, este o ceață cenușie și oxidantă ce este formată dintr-un amestec de particule și gaze (ozon, nitrat de peroxiacetil-PAN, aldehide, cetone, etc), produse ca urmare a acțiunii radiației solare asupra câtorva poluanți (oxizi de azot și hidrocarburi). Acest tip de poluare induce multe efecte negative, mergând de la un simplu disconfort și până la apariția unor probleme grave, cum ar fi: tulburări respiratorii și/sau oftalmologice locuitorilor aglomerărilor urbane, pagube asupra vegetației, degradarea materialelor (rigidizarea cauciucului, reducerea rezistenței materialelor textile, deteriorarea picturilor) și implicit deteriorarea patrimoniului arhitectural [2]. La acestea se mai adaugă și scăderea vizibilității orizontale.

Câteva mari aglomerări urbane sunt bine cunoscute pentru smogul lor fotochimic intens, apărut în perioada estivală a anului: Los Angeles (reprezentativ), Atena, Mexic. S-au înregistrat astfel de episoade și în Israel, Japonia, Australia și India [3].

Ozonul troposferic ce însoțește acest tip de poluare este un poluant secundar, caracterizat printr-o mare dinamicitate, deoarece sub influența radiației solare și în prezența precursorilor este în continuu format și distrus. Acest aspect face ca urmărirea evoluției imisiei de ozon, într-o anumită zonă urbană, să fie o activitate foarte complexă. Din literatura de specialitate rezultă că există cercetări efectuate în diferite țări referitoare la cauzele apariției smogului fotochimic și elaborarea de strategii privind adaptarea la noile condiții create [4], [5], [6], [7], [8], [9], la efectul poluanților asupra sănătății omului [10], [11], [12] și asupra biodiversității, dar se impune aprofundarea studiului poluării fotochimice datorate în cea mai mare măsură intensificării transportului rutier urban, în condițiile în care efectele schimbărilor climatice pe fondul creșterii temperaturii medii anuale sunt o certitudine.

În acest context, această lucrare are ca principale obiective: studiul chimiei troposferei urbane asociate smogului fotochimic, precum și realizarea unui studiu de caz pentru o aglomerare urbană reprezentativă pentru România, caracterizată prin trafic rutier intens. Datele utilizate au fost rezultatul măsurărilor în timp real realizate cu echipamentul existent în dotarea unei stații amplasate în centrul municipiului București.

2. Poluanți implicați în smogul fotochimic

Acest tip de poluare a fost identificat prima dată în Los Angeles, în anul 1944. Un episod de smog fotochimic poate să apară dacă sunt îndeplinite simultan următoarele condiții: introducerea în atmosferă a unor cantități mari de hidrocarburi HC și oxizi de azot NO_x , existența unor perioade de timp caracterizate prin temperaturi și intensități ale radiației solare globale ridicate (generatoare de reacții fotochimice) și reținerea acestor poluanți sub un strat de inversiune termică, fapt care duce la o creștere importantă a concentrației acestora [1].

Smogul fotochimic este de asemenea cunoscut ca „smog oxidant” sau „ceață fotochimică oxidantă”, deoarece se caracterizează prin existența unor concentrații mari de agenți oxidanți (ozonul este un agent oxidant important). Prin reacții fotochimice se sintetizează în troposferă *ozon (O_3)* și *nitrat de peroxiacetil (P.A.N.)*.

2.1. Ozonul troposferic - principalul indicator al smogului fotochimic

Ozonul este un poluant secundar, apare ca urmare a unor procese chimice complexe, plecând de la alți poluanți, numiți *precursori*. Este un gaz de culoare albastruie, cu miros înțepător, agresiv și se caracterizează prin faptul că în atmosfera terestră este în continuu format și distrus [1]. Bioindicatorul reprezentativ al poluării cu ozon este tutunul. Toxicitatea ozonului este un fenomen complex care nu depinde numai de concentrația poluantului ci și de durata expunerii, precum și de sensibilitatea organismelor vii. În tabelul 1 sunt prezentate efectele negative ale acțiunii ozonului la diferite concentrații și la anumite intervale de timp [13].

Tabelul 1

Efectele ozonului la diferite concentrații

Concentrația ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Efecte deduse din experimentări de laborator
20	Pragul de miros
40 - timp de 8 ore	Începe vătămarea frunzelor de tutun
60 – timp de 8 ore	Vătămare importantă a frunzelor de tutun
100	Prag de iritare a nasului și gâtului
200 – timp de 1 oră	Necrozarea frunzelor de tutun; vârfurile acelor de pin sunt „arse”
100	Prag de iritare a ochilor la persoanele sensibile (oxidant ambiental)
300	Prag de iritare a ochilor pentru majoritatea persoanelor
200	Reducerea aportului de oxigen și a concentrației oxigenului din sânge la pacienții cu emfizem pulmonar
200 ÷ 500 – pe durată mare	Scurtează durata vieții cobailor
200 – timp de 8 ore	Efecte simptomatice clare la persoanele sensibile
400 – timp de 3 ore	Scăderea acuității vizuale
1200	Prag de iritație cu tuse, iritație pronunțată a nasului și gâtului
2000 – timp de 1-2 ore	Tuse, iritație, oboseală severă
6000 ÷ 24000 – câteva ore	Fatal pentru animalele mici de laborator

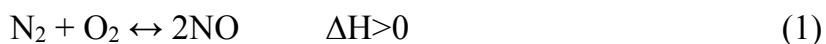
Nitratul de peroxiacetil (P.A.N.) oxidează grupările de sulf ale aminoacizilor din celulele producătoare de clorofilă, cu inhibări ale procesului de fotosinteză. Fasolea este sensibilă la acțiunea P.A.N.-ului și de aceea poate fi considerată un bioindicator al acestui tip de poluare. Pe lângă fitotoxicitate, P.A.N.-ul mai poate produce iritații oculare manifestate prin lăcrimări sau conjunctivită.

2.2. Precursorii ozonului

Principalii precursori ai O_3 sunt: oxizii de azot NO_x și compușii organici volatili nemetanici $COVNM$. În reacțiile ce însoțesc poluarea fotochimică un rol important are și monoxidul de carbon (CO), rezultat dintr-o ardere incompletă.

2.2.1. Oxizii de azot - NO_x

Oxizii de azot sunt rezultatul combinării la temperatură ridicată a azotului cu oxigenul (sunt gaze regăsite în mod normal în aerul atmosferic uscat). Emisiile provenite din instalațiile de combustie ca și cele rezultate de la motoarele termice conțin toate tipurile de oxizi de azot. Dintre oxizii de azot, monoxidul de azot (NO) și respectiv dioxidul de azot (NO_2) reprezintă un risc pentru sănătate. Deși tehnicile analitice de măsurare pot face o deosebire clară între cei doi compuși, ei au fost grupați împreună sub denumirea generică de NO_x datorită convertibilității lor reciproce în reacțiile de formare a smogului fotochimic. Cantități mari de NO rezultă din numeroase procese biologice, precum și din diferite activități umane concentrate în zone urbane și industriale. Reacția endotermă (1) stă la baza obținerii la temperaturi ridicate a monoxidului de azot.



NO_2 este prezent în atmosferă și se obține din oxidarea directă și lentă a NO (2). Această reacție are loc la ieșirea din focare sau din țevile de eșapament.



NO_2 mai poate fi rezultatul reacțiilor fotochimice ce se desfășoară în atmosferă, unde intervin hidrocarburile și ozonul.

Gazele rezultate de la motoarele autovehiculelor conțin inițial oxizi de azot NO_x (la gura țevelor de eșapament) în medie circa 95% NO și doar 5% NO_2 . Din cauza transformărilor chimice atmosferice, o mare parte din emisiile inițiale directe de NO sunt oxidate relativ repede de ozonul ambiant, generându-se astfel concentrații mari de NO_2 [14].

Raportul $NO/(NO+NO_2)$ este destul de bine corelat cu proximitatea sursei de NO. Dacă acest raport este ridicat, punctul de măsură este apropiat de sursele de emisie (este cazul măsurării oxizilor de azot în mijlocul traficului). Dacă acest raport este mic, transformarea NO în NO_2 este destul de avansată și ne găsim destul de departe de surse.

2.2.2. Compușii organici volatili nemetanici (COVNM)

Principalele surse de emisie de COVNM sunt solvenții organici emiși din procedee industriale, traficul auto în care se folosește benzina ca și combustibil lichid (manipularea, transportul, depozitarea, ca și arderea incompletă a benzinei), precum și agricultura. Țițeiul este principala sursă de benzen, toluen și xilen folosit în industria chimică și în producerea de benzine cu cifră octanică ridicată. Benzenul (C_6H_6) - este toxic și cancerigen, îmbunătățește cifra octanică a benzinei și favorizează formarea oxizilor de azot.

3. Traficul rutier și poluarea troposferei urbane cu oxizi de azot și ozon - Studiu de caz

3.1. Studiu experimental

3.1.1. Evoluția nivelului de poluare în România

Potrivit ultimului raport anual privind starea mediului în România, elaborat de Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor și realizat în anul 2016 pentru anul 2015 [15], se evidențiază faptul că în perioada 2009-2015, la toate tipurile de stații ce formează Rețeaua Națională de Monitorizare a Calității Aerului (RNMCA) există o tendință generală de reducere a concentrațiilor medii anuale pentru majoritatea categoriilor de poluanți analizați, valori care de regulă s-au situat sub cele limită / țintă, inclusiv în anul 2015. Contribuția cea mai mare la dioxid de azot (NO_2) o are sectorul transporturi, la dioxid de sulf (SO_2) sectorul industrial și la benzen (C_6H_6) tot sectorul transporturi (în ultimii ani). Se poate observa faptul că sectorul transporturi contribuie puternic la apariția smogului fotochimic prin emisiile importante de precursori: oxizi de azot (NO_x) și COVNM (Ex. Benzenul).

Potrivit aceluiași raport [15], cele mai mari valori înregistrate pentru ponderea populației urbane expusă la concentrații de O_3 troposferic ce depășesc valoarea țintă, la nivel național, în intervalul 2010-2015, s-au înregistrat în anii 2012 (25,5%) și 2013 (20%), în restul anilor valorile fiind cuprinse în intervalul 1 – 5,5%. La NO_2 cele mai mari valori s-au înregistrat tot în anii 2012 (23%) și 2013 (18%), în restul anilor valorile fiind cuprinse în intervalul 2 – 13 %.

3.1.2. Ciclul oxizilor de azot și radiația solară

În cadrul studiului experimental s-a evaluat impactul emisiilor de monoxid de azot, generate de circulația autovehiculelor, asupra imisiilor înregistrate într-o zonă caracterizată prin trafic rutier intens – centrul municipiului București. Municipiul București este cea mai mare aglomerare urbană din România, populația sa fiind de 1.943.981 [16], cu o densitate de aproximativ 8.168 locuitori/km², ceea ce reprezintă circa 9% din populația totală a României și peste 16% din populația urbană a țării.

Datele referitoare la *imisia* din zona centrală au fost preluate de la Agenția Națională pentru Protecția Mediului, ce are în administrare RNMCA. Municipiul București este parte componentă a regiunii 8 din RNMCA (București-Ilfov). Rețeaua este formată din 8 stații fixe de monitorizare calitate aer, de categorii diferite, amplasate atât în zona urbană cât și în zona limitrofă acesteia.



Stația de monitorizare a calității aerului cu ajutorul căreia s-au realizat obiectivele acestei lucrări este amplasată în zona centrală, în apropiere de Piața Universității, pe Calea Victoriei nr. 32-34, zona Cercul Militar Național (punctul A din figura 1).

Fig. 1. Amplasarea stației de monitorizare a calității aerului - Cercul Militar Național

Aceasta este echipată atât cu analizoare pentru măsurarea în timp real a concentrațiilor următoarelor categorii de poluanți: NO/NO₂/NO_x, CO, SO₂, O₃, benzen, particule în suspensie, cât și cu senzori meteorologici.

Se va începe studiul cu analiza evoluției concentrațiilor de oxizi de azot NO_x (NO/NO₂) – proveniți în mare parte din traficul rutier, potrivit reacțiilor chimice (1) și (2). În figurile 2 și 3 este prezentată variația diurnă a acestor poluanți, a căror convertibilitate reciprocă este direct influențată de intensitatea radiației solare globale (SR). Pentru a observa dacă radiația solară este factorul meteorologic cu influența cea mai mare în desfășurarea reacțiilor chimice ce însoțesc un episod de smog fotochimic s-au ales două zile călduroase: 16.08.2012 (ora 15.00; SR=777 W/m²) și 18.09.2012 (ora 14.00; SR=621 W/m²).

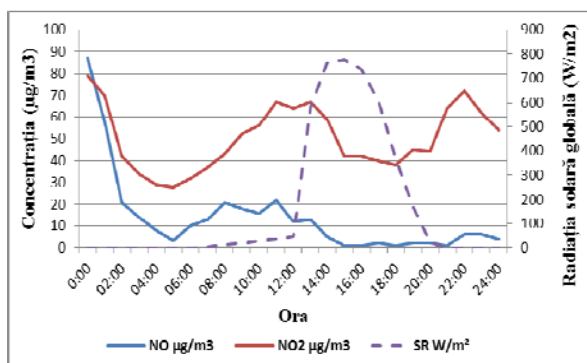


Fig. 2. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO₂) și radiația solară globală (SR) – 16.08.2012

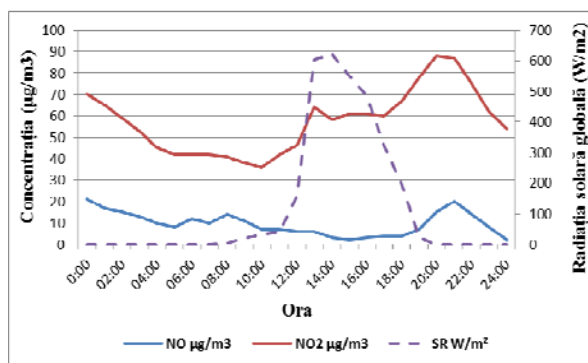


Fig. 3. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO₂) și radiația solară globală (SR) – 18.09.2012

S-ar fi urmărit și evoluția singurei hidrocarburi monitorizate – benzenul, dar această serie de analize nu a funcționat corespunzător în intervalul de timp analizat, deci nu există niciun fel de date referitoare la acest poluant important.

Se pot evidenția următoarele aspecte:

- *înainte de apariția soarelui* – NO și NO₂ sunt în atmosferă în concentrații ușor superioare minimului zilnic;
- *între orele 7⁰⁰÷9⁰⁰* – are loc o intensificare a traficului rutier. Concentrația de NO crește și după aproximativ o oră energia solară în domeniul ultraviolet devine suficientă pentru transformarea NO în NO₂;
- *între orele 17⁰⁰÷21⁰⁰* – traficul continuă să deverseze în atmosferă cantități importante de NO, se înregistrează o creștere ușoară a concentrației de NO₂, dar reacțiile fotochimice sunt încetinite.

3.1.3. Variația concentrației de ozon troposferic și smogul fotochimic

Așa cum s-a precizat anterior, un episod de smog oxidant este însoțit de o creștere a concentrației de ozon troposferic.

În figurile 4 și 5 este prezentată variația diurnă a oxizilor de azot NO_x (NO și NO₂), precursori ai smogului fotochimic, a ozonului troposferic, precum și a radiației solare globale ce s-a demonstrat că influențează direct ciclul fotodinamic al NO_x. Pentru completarea studiului, s-au ales zile de primăvară caracterizate prin valori mari ale radiației solare globale (02.04.2012, ora 15.00, SR=656 W/m² și 24.05.2012, ora 14.00, SR=858 W/m²).

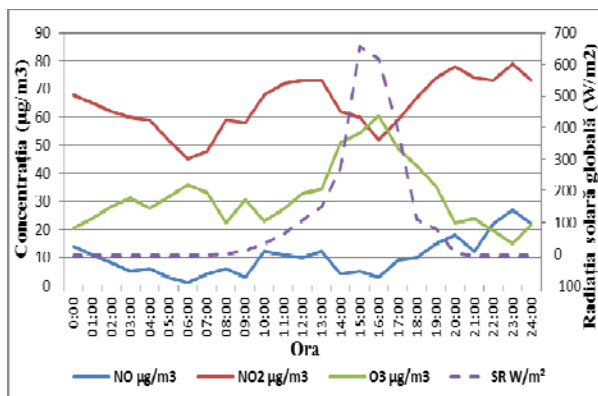


Fig. 4. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO₂), O₃ și radiația solară globală (SR) – 02.04.2012

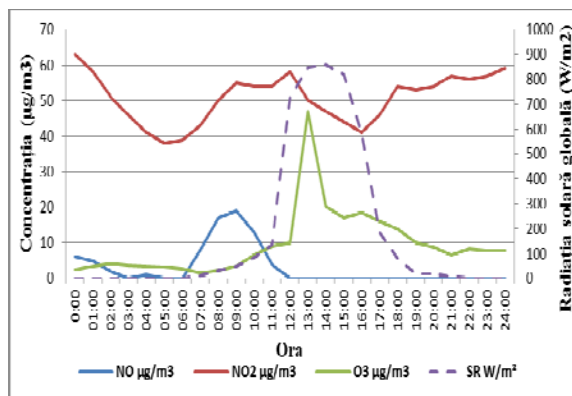


Fig. 5. Concentrația atmosferică de oxizi de azot (NO, NO₂), O₃ și radiația solară globală (SR) – 24.05.2012

3.2. Interpretarea rezultatelor

Din analiza datelor măsurate și a graficelor prezentate anterior au rezultat următoarele constatări:

- O creștere importantă a concentrației de monoxid de azot (NO) s-a înregistrat în jurul orei 9.00., atunci când circulația autovehiculelor este intensă;
- Valori mari ale concentrației de dioxid de azot s-au înregistrat spre ora 12 (datorită reacțiilor chimice de oxidare ale monoxidului de azot care au avut loc);
- Concentrația maximă de O₃ s-a înregistrat după prânz, moment în care radiația solară globală este intensă, rezultă deci faptul că acest parametru meteorologic este elementul “cheie” în smog fotochimic;
- Deși zilele alese pentru acest studiu au fost călduroase (valori mari ale intensității radiației solare globale) nu s-au înregistrat depășiri ale pragului “*de informare*” – 180 μg/m³ sau a pragului “*de alertă*” - 240 μg/m³ pentru ozon [17].
- Transportul rutier reprezintă principala sursă de poluare a troposferei urbane, observându-se o modificare importantă a chimiei atmosferei în această zonă.

4. Concluzii

- Calitatea vieții este strâns legată și corelată de calitatea aerului. Ritmul de dezvoltare economico-social specific unei zone cu densitate mare de populație, precum și creșterea exigențelor de confort urban și economia de energie fac necesară elaborarea unor strategii bine gândite și documentate de protecție reală a atmosferei;
- În condițiile în care numărul de autovehicule înregistrat în zonele urbane este într-o continuă creștere, imisiile măsurate au o tendință de scădere atât datorită calității tot mai bune a combustibilului lichid folosit cât și a tehnologiilor tot mai performante de definitivare a arderii ce are loc în interiorul motoarelor;
- Ozonul troposferic ce însoțește un episod de smog fotochimic este un oxidant puternic și de aceea se pot înregistra efecte negative atât asupra sănătății umane, cât și asupra vegetației și materialelor;
- Smogul fotochimic, estival, este prezent în toate orașele moderne, dar este mai frecvent în cele cu climat cald și trafic rutier intens; pot fi afectate și zonele mai puțin populate datorită vântului care transportă poluanții la o anumită distanță de locul de formare al acestora;
- Radiația solară globală este parametrul meteorologic cu importanță foarte mare în reacțiile chimice ce însoțesc smogul oxidant;
- Intensificarea traficului rutier determină o creștere direct proporțională a vulnerabilității orașelor, fapt care ar trebui să determine autoritățile locale și centrale să regândească designul și managementul urban, precum și să încurajeze prin programe speciale achiziționarea de autovehicule ce folosesc energii de substituție, nepoluante.

Referințe

- [1] *F. Ardelean, V. Iordache*, „Ecologie și protecția mediului”, Editura MATRIX ROM, București, ISBN 978-973-755-255-6, 256 pag., 2007
- [2] *C. Donald Ahrens*, „Essentials of Meteorology – An Invitation to the Atmosphere”, Brooks/Cole, CENGAGE Learning, ISBN 10: 0840049331, ISBN 13: 9780840049339, 528 pag., 2011
- [3] *B. Rani, U. Singh, A. K. Chuhan, D. Sharma, R. Maheshwari*, „Photochemical Smog Pollution and Its Mitigation Measures”, *Journal of Advanced Scientific Research*, **vol. 2**, no. 4, pp. 28-33, 2011
- [4] *R.G. Derwent, M.E. Jenkin, S.M. Saunders, M.J. Pilling, P.G. Simmonds, N.R. Passant, G.J. Dollard, P. Dumitrean, A. Kent*, „Photochemical ozone formation in north west Europe and its control”, *Journal Atmospheric Environment*, **vol. 37**, pp. 1983-1991, 2003
- [5] *M. Palacios, F. Kirchner, A. Martilli, A. Clappier, F. Martin, M.E. Rodrigues*, „Summer ozone episodes in the Greater Madrid Area. Analyzing the ozone response to abatement strategies by modelling”, *Journal Atmospheric Environment*, **vol. 36**, pp. 5323-5333, 2002
- [6] *C. Gavrilă, A. Coman, I. Gruia, F. Ardelean, A. Vartires*, „Prediction Method Applied for the Evaluation of the Tropospheric Ozone Concentrations in Bucharest” *Romanian Journal of Physics*, **vol. 61**, no. 5-6, pp. 1067-1078, 2016
- [7] *S.C. Nwanya, I. Offili*, „Global Warming Potential Implications and Methodological Challenges of Road Transport Emissions in Nigeria”, *Energy and Environment Research*, **vol. 3**, no. 1, pp. 169-179, 2013
- [8] *M.P. Chandra, K.M. Praveen, R.S. Jayarama*, „Monitoring of air pollution in indian metropolitan cities: modeling and quality indexing”, *International Journal of Environment and Pollution*, **vol. 21**, pp. 365-382, 2003
- [9] *I. Schiffer, L. Diaz, S. Avalos, M. Vera, I. Mejia, F. Reyes, E. Lopez-Salinas*, „Trends of exhaust emissions from gasoline motor vehicles in the metropolitan area of Mexico city”, *International Journal of Environment and Pollution*, **vol. 21**, pp. 166-174, 2004
- [10] *M. Brauer, C. Reynolds, P. Hystad*, „Traffic-related air pollution and health in Canada”, *Canadian Medical Association or its licensors*, **vol.185(18)**, pp. 1557-1558, 2013
- [11] *C. Lavanya, R. Dhankar, S. Chhikara, R. Soni*, „Outdoor Air Pollution and Health: A Comprehensive Review”, *Journal of Recent Scientific Research*, **vol 5**, no. 7, pp. 1248-1255, 2014
- [12] *J.L. Peel, R. Haeuber, V. Garcia, A.G. Russell, L. Neas*, „Impact of nitrogen and climate change interactions on ambient air pollution and human health. Biogeochemistry”, **vol. 114(1)**, pp. 121-134, 2013
- [13] *C. Saitanis, M.G. Karandinos, A.N. Riga-Karandinos, G. Lorenzini, A. Vlassi*, „Photochemical air pollutant levels and ozone phytotoxicity in the region of Mesogia-Attica, Greece”, *Journal Environment and Pollution*, **vol. 19**, no.2, pp. 197-208, 2003
- [14] *F. Ardelean*, Teză de doctorat „Poluarea atmosferei în mediul urban”, Universitatea Tehnică de Construcții București, Facultatea de Instalații, 2005
- [15] ***Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, Agenția Națională pentru Protecția Mediului, Raport anual privind starea mediului în România, http://www.anpm.ro/documents/12220/2209838/RSM_2015%27.pdf/924aa8b6-429c-46f6-ac75-45f2fdd03e41
- [16] *** Primăria Municipiului București (PMB), 2015 <http://www.pmb.ro/>
- [17] *** Legea nr. 104/2011 privind calitatea aerului înconjurător, actualizată în 2017

Cladiri reabilitate termic – Consecinte energetice

Thermally rehabilitated buildings - Energy constellations

Prof. dr. ing. Florin Iordache – UTCB-FII ¹

Drd. ing. Cristina Stanisteanu – UTCB-FII

¹Universitatea Tehnica de Constructii Bucuresti

Facultatea de Inginerie a Instalatiilor

Bdul. Pache Protopopescu, 66, Romania

flord@yahoo.com

Rezumat

Reabilitarea termica a cladirilor este implementata in scopul reducerii consumului de energie termica pe perioada sezonului rece. In lucrare se evalueaza beneficiile energetice aferente functiei de gradul de reabilitare. Se prezinta insa faptul ca aceasta reabilitare termica trebuie continuata cu reabilitarea instalatiei de incalzire centrala si se argumenteaza cu valori concrete cresterile beneficiilor energetice care rezulta in consecinta. Rezultate sunt prezentate numeric in tabele si totodata grafic, pentru a se intelege cat mai clar dependenta beneficiilor energetice de cele doua categorii de reabilitari termice.

Cuvinte cheie: reabilitare termica, consum, beneficii

Abstract

Thermal rehabilitation of buildings is implemented in order to reduce thermal energy consumption during the cold season. The paper evaluates energy related benefits depending on the degree of rehabilitation. It shows however that it should continue with the rehabilitation of thermal rehabilitation of central heating installation and argue with actual energy benefits resulting increases accordingly. Results are presented in tables and also numeric chart, to understand more clearly the benefits of energy dependence of the two thermal rehabilitation categories.

Keywords: thermal rehabilitation, consumption, benefits

1. Introducere

Reabilitarea termica a cladirilor colective din mediul urban a inceput sa fie o actiune din ce in ce mai sustinuta a autoritatilor locale, astfel incat la ora actuala o cota destul de importanta din cladirile colective vechi au fost deja reabilitate termic prin izolarea termica suplimentara aplicata anvelopei opace a scadirilor si prin inlocuirea tamplariei vechi de lemn sau metal cu tamplarie noua termoizolanta.

Consecintele benefice aferente reabilitării acestor cladiri nu au intarziat sa apara prin reducerea consumurilor de energie termica la nivelul bransamentului instalatiilor de incalzire al acestor cladiri si deci prin reducerea costului facturilor catre fiecare din apartamentele din aceste cladiri. Totusi trebuie sa nu uitam ca acest palier de reabilitare a cladirilor colective mentionat, nu este decat unul intermediar si in consecinta si reducerile termoenergetice nu sunt si ele decat partiale.

Ne referim practic la doua etape de reabilitare, aferente instalatiilor de incalzire centrala din aceste cladiri, instalatii care nu au fost si ele reabiliate si care in consecinta nu au posibilitatea de a raspunde situatiei noi in care sunt obligate sa functioneze. Concret ne referim la faptul ca prin reabilitarea termica a anvelopei cladirii, caracteristica termica a spatiului incalzit, reprezentata prin factorul de cuplaj termic hibrid H , al acestuia a scazut, in timp ce suprafata de incalzire instalata a ramas aceeaasi. Aceste cladiri, racordate la sistemul de alimentare centralizata cu energie termica fac parte din grupuri de mai multe cladiri racordate la un acelasi punct sau centrala termica de cartier, care prepara agentul termic la un nivel de temperatura corespunzator cladirilor nereabiliate termic. In consecinta, reglajul termic fiind necorespunzator in cladirile reabiliate termic la nivel de anvelopa, nivelul temperaturii interioare va creste si consumul de energie termica va suferi un grad de diminuare. Daca insa reabilitarea cladirii continua si in ceea ce priveste instalatia interioara de incalzire centrala diminuarea consumului energetic va continua intr-o proportie comparabila cu cea rezultata datorita reabilitarii termice a anvelopei cladirii. Reabilitarea instalatiei interioare de incalzire centrala consta in principal in 2 masuri si anume : corectarea graficului de reglaj termic calitativ centralizat la bransamentul instalatiei de incalzire si montarea de robinete termostactice la fiecare din corpurile de incalzire din cadrul instalatiei. Ambele masuri ofera posibilitatea reglarii puterii termice livrate de catre suprafata de incalzire in corelare cu necesarul efectiv de putere aferent spatiului incalzit.

In lucrarea de fata se urmareste evaluarea cotelor de diminuare a consumurilor energetice rezultate ca urmare a realizarii celor 2 categorii de reabilitare mentionate : reabilitare termica anvelopa si reabilitare termica instalatie de incalzire. Cele 2 categorii de reabilitari nu sunt independente in sensul ca daca prima categorie poate fi facuta independent de ce de a doua, aceasta din urma isi are sensul de a fi realizata numai daca prima a fost realizata (ne referim numai la masura de corectare a graficului de reglaj termic calitativ, montarea de robinete termostactice fiind o masura oportuna in orice situatie).

2. Formularea problemei realizarii unui confort termic ambiental normat

Asa cum s-a prezentat in primul capitol in cazul in care cladirea a beneficiat de reabilitarea termica a anvelopei spatiului incalzit insa nu si de reabilitarea instalatiei de incalzire centrala in sensul corectiei graficului de reglaj termic centralizat, temperatura interioara care se va realiza va fi de regula sensibil superioara celei normate (de ex. 20 °C). Consumul de energie termica va fi mai scazut decat in cazul aceleiasi cladiri

nereabilitate. Pentru evaluarea diminuării consumului energetic se va apela la relațiile generalizate de reglaj termic calitativ, relații care au făcut obiectul unei lucrări publicate [1] :

$$\begin{aligned} t_T &= \left(1 + \frac{t_{T0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} \right) \cdot t_{i0} - \frac{t_{T0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{1 - E_0}{1 - E} \cdot \frac{H}{H_0} t_e \\ t_R &= \left(1 + \frac{t_{R0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{(1 - E_0) \cdot E}{(1 - E) \cdot E_0} \cdot \frac{H}{H_0} \right) \cdot t_{i0} - \frac{t_{R0} - t_{i0}}{t_{i0} - t_{e0}} \cdot \frac{(1 - E_0) \cdot E}{(1 - E) \cdot E_0} \cdot \frac{H}{H_0} t_e \end{aligned} \quad 1$$

unde :

$$E_0 = \exp(-NTU_0) = \exp\left(-\frac{k_0 S}{G \cdot \rho c}\right) = \frac{t_{R0} - t_{i0}}{t_{T0} - t_{i0}} \quad 2$$

$$\begin{aligned} E &= E_0^{k/k_0} \\ \frac{k}{k_0} &= \left(\frac{\Delta t_{ml}}{\Delta t_{ml0}} \right)^{0.3} \\ \Delta t_{ml} &= \frac{t_T - t_R}{\ln \frac{t_T - t_{i0}}{t_R - t_{i0}}} \end{aligned} \quad 3$$

3. Analize functionale si energetice. Concluzii

Utilizand relațiile prezentate, s-au evaluat fluxurile termice transmise de la instalatia de incalzire spatiului incalzit si de aici disipat in mediul exterior. Evaluarea acestora a presupus stabilirea temperaturilor agentului termic si a temperaturii interioare din spatiul incalzit.

S-a urmarit analiza efectului pe care cativa parametrii ii au asupra consumurilor energetice anuale si deci asupra diminuarilor realizate de cele 2 categorii de reabilitari prezentate. Parametrii testati in cadrul acestei analize sunt : gradul de reducere al factorului de cuplaj termic hibrid, H/H_0 , si cuplul temperaturilor nominale ale agentului termic. Pentru evaluarea consumului energetic annual s-a considerat o situatie de iarna medie in zona climatica 2. De asemenea s-a considerat practic cazul unei cladiri caracterizate de un necesar de caldura de calcul de 1 MW.

Se prezinta mai in detaliu analiza efectuata pe cladirea mentionata, in situatia in care: $H/H_0 = 0.6$ si $t_{T0}/t_{R0} = 90/70$ °C. Mai intai, in tabelul 1, se prezinta consumurile necesare lunare si anual in cazul cladirii complet nereabilitate : $H/H_0 = 1$ si $t_{T0}/t_{R0} = 90/70$ °C.

Putere $P_0 = 1$ MW		t_T	t_R	P	Q
Nr. Zile	t_e (°C)	°C	°C	MW	MWh
2	-15	90.000	70.000	1.000	48.000
11	-10	81.831	64.688	0.857	226.302
32	-5	73.403	59.117	0.714	548.646
60	0	64.644	53.215	0.571	822.869
53	5	55.459	46.888	0.429	545.151
24	10	45.654	39.940	0.286	164.580
					2355.547

Daca se considera acum ca se opereaza numai reabilitarea termica a anvelopei cladirii atunci rezulta situatia prezentata in tabelul 2 : $H/H_0 = 0.6$ si $t_{T0}/t_{R0} = 90/70$ °C

Tabel 2

Putere $P_0 = 1$ MW		t_T	t_R	P	Q	t_i
Nr. Zile	t_e (°C)	°C	°C	MW	MWh	°C
2	-15	90.000	74.028	0.799	38.340	31.585
11	-10	81.831	68.092	0.687	181.390	30.074
32	-5	73.403	61.905	0.575	441.599	28.537
60	0	64.644	55.398	0.462	665.787	26.967
53	5	55.459	48.478	0.349	444.040	25.361
24	10	45.654	40.956	0.235	135.322	23.703
					1906.478	
					449.069	

Din tabelul 2 trebuie remarcat urmatoarele :

- Temperaturile interioare rezultate sunt sensibil mai mari decat valorile normate ($t_i = 20$ °C);
- Consumurile energetice lunare sunt mai scazute decat cele omoloage din tabelul 1, valoarea anuala fiind cu 449 MWh mai scazuta decat cea stabilita pentru cladirea nereabilitata (Tabel 1), reprezentand o diminuare de 19%;
- Temperaturile pe retur ale agentului termic sunt mai ridicate decat in cazul cladirii nereabilitate (Tabel 1).

Daca acum in continuare se opereaza si a doua categorie de reabilitare termica efectuata asupra reglajului termic calitativ rezulta :

Putere P0 = 1 MW		t _T	t _R	P	Q
Nr. Zile	t _e (°C)	°C	°C	MW	MWh
2	-15	66.425	54.425	0.600	28.800
11	-10	61.030	50.744	0.514	135.773
32	-5	55.459	46.888	0.429	329.146
60	0	49.669	42.812	0.343	493.720
53	5	43.588	38.445	0.257	327.089
24	10	37.086	33.658	0.171	98.744
					1413.272
					942.275
					493.206

Din tabelul 3 trebuie remarcat urmatoarele :

- Temperaturile de tur si retur ale agentului termic rezultate in urma corectarii reglajului termic calitativ sunt sensibil mai scazute decat in variantele anterioare;
- Consumurile de energie termica lunare si total anual sunt sensibil mai scazute decat in cazul cladirii nereabilitate (cu 40%) dar si decat in cazul cladirii reabilitate numai pe parte de anvelopa (cu 26%);

Practic se poate spune ca, reabilitarea instalatiei de incalzire centrala are consecinte benefice energetice de aceeasi pondere cu cele ale reabilitarii anvelopei cladirii inasa cu costuri de investitie posibil mai reduse.

Aceleasi analize s-au efectuat si in variantele in care gradul de reabilitare termica a anvelopei cladirii este $H/H_0 = 0.4$ si $H/H_0 = 0.8$, cuplul de temperaturi nominale ale agentului termic pentru dimensionarea instalatiei de incalzire fiind tot $t_T/t_R = 90/70$ °C.

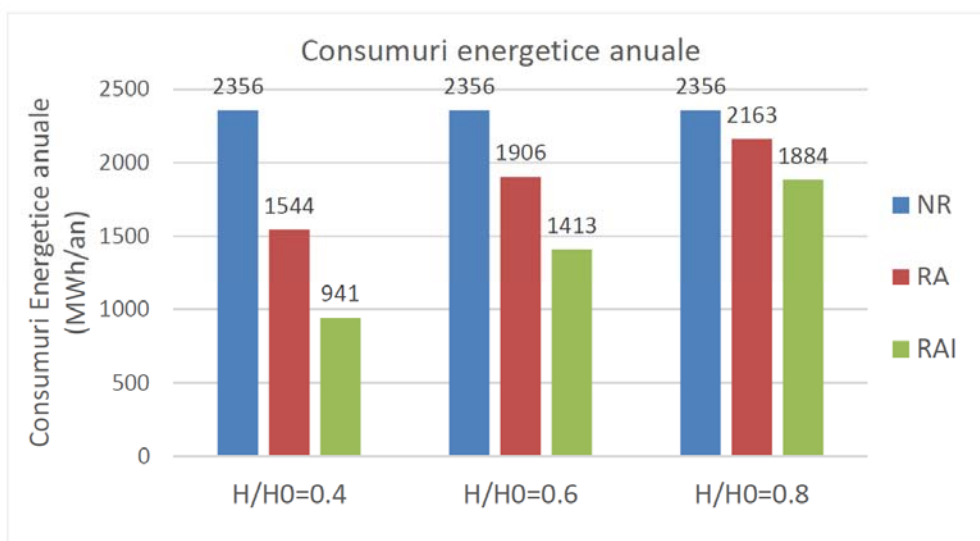


Fig. 1

In fig. 1 se prezinta 3 grupuri de 3 bare : barele albastre fiind consumurile de energie termica anuala corespunzatoare cladirii nereabilitate (NR), barele rosii fiind consumurile de energie termica anuala corespunzatoare cladirii reabilitate pe parte de anvelopa (RA), iar barele verzi fiind consumurile de energie termica anuala corespunzatoare cladirii reabilitate atat pe parte de anvelopa cat si pe parte de instalatie de incalzire (RAI). Din aceasta figura se poate remarca cum gradul de reabilitare pe parte de anvelopa a cladirii ofera si reabilitarii pe parte de instalatie de incalzire centrala posibilitatea de a avea o pondere pe masura.

In fig. 2 se prezinta numai valorile reducerilor de consumuri energetice ca urmare a reabilitarii termice a anvelopei cladirii sau a reabilitarii atat a anvelopei cat si a instalatiei de incalzire prin corectarea reglajului termic calitativ. Barele de culoare rosie reprezinta reducerile de consumuri energetice datorate numai reabilitare a anvelopei cladirii, iar barele de culoare verde reprezinta reducerile de consumuri energetice datorate atat reabilitarii anvelopei cat si a instalatiei de incalzire.

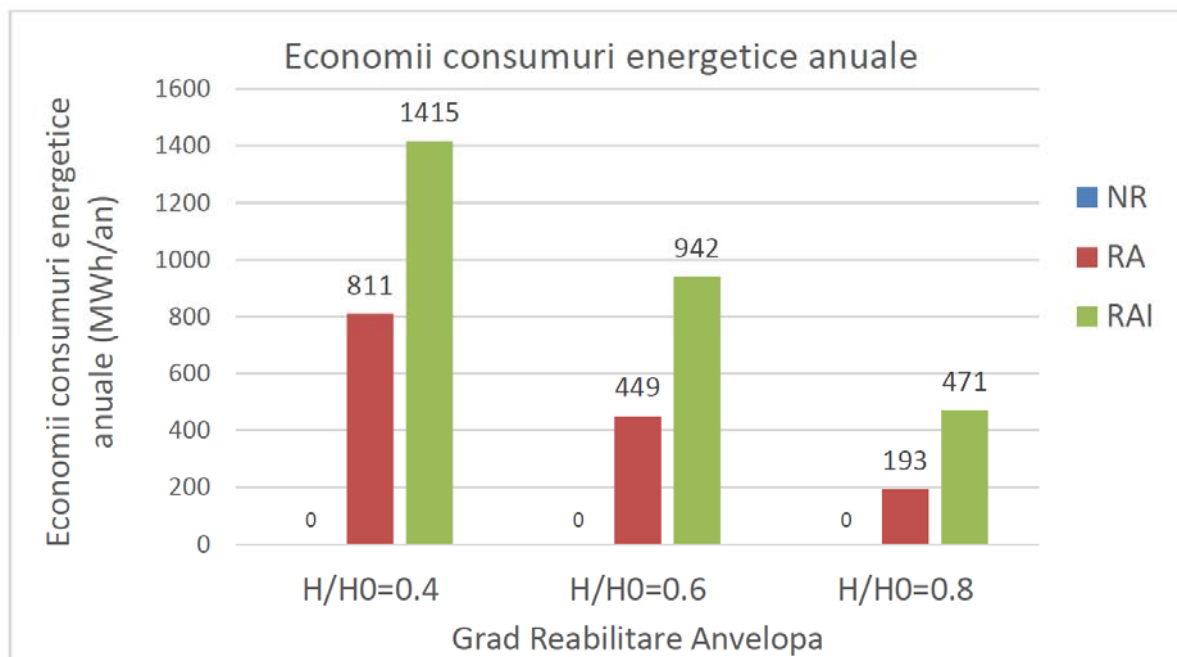


Fig.2

Asa cum s-a mentionat o alta analiza intreprinsa a vizat valorile cuplului de temperaturi nominale a agentului termic utile dimensionarii instalatiei de incalzire si totodata reglajului termic calitativ. Noul cuplu de valori nominale ale temperaturii agentului termic este $t_{T0}/t_{R0} = 60/40$ °C. Analiza energetica s-a efectuat numai pentru un grad de reabilitare a anvelopei cladirii $H/H_0 = 0.6$.

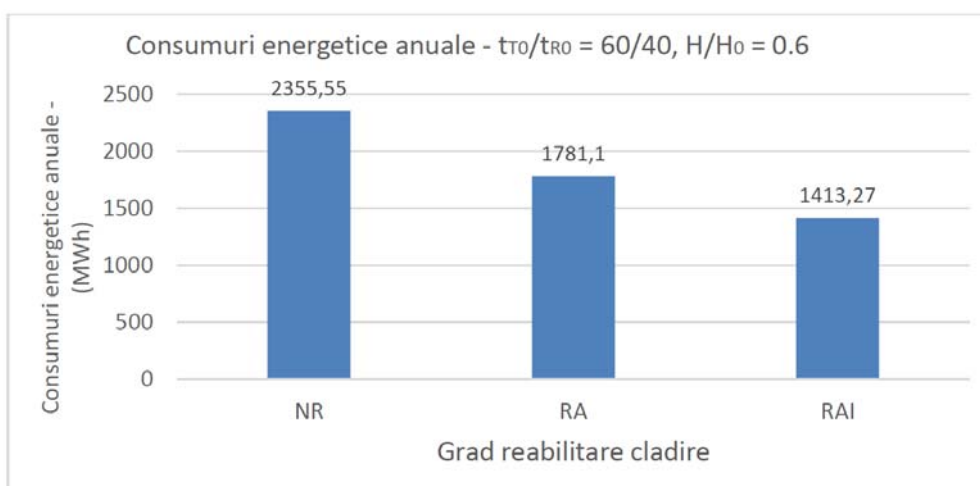


Fig. 3

Dupa cum se observa din fig. 3 analizata comparativ cu fig.1, prin scaderea cuplului de temperaturi nominale ale agentului termic creste ponderea primei trepte de reabilitarea adica a reabilitarii anvelopei cladirii si scade ponderea celei de a doua trepte (reabilitarea instalatiei de incalzire). Acesta poate fi un argument pentru adoptarea unei opinii favorabile in privinta scaderii valorilor de dimensionare a temperaturilor agentului termic. Dupa cum este foarte bine cunoscut scaderea temperaturilor nominale ale agentului termic are drept consecinta cresterea suprafetei de incalzire instalate.

Concluziile prezentate referitor la gradul de reabilitare termica a cladirilor existente si la cuplul de temperaturi nominale ale agentului termic sunt valabile si in situatia cladirilor noi care dupa cum este cunoscut sunt din ce in ce mai bine izolate termic.

Lista de Notatii

- t_{i0} – temperatura interioara nominala, °C;
- t_i – temperatura interioara curenta, °C;
- t_{e0} – temperatura exterioara nominala, °C;
- t_e – temperatura exterioara curenta, °C;
- t_{T0} – temperatura nominala a agentului termic pe tur, °C;
- t_T – temperatura curenta agent termic, pe tur, °C;
- t_{R0} – temperatura nominala a agentului termic pe retur, °C;
- t_R – temperatura curenta agent termic, pe retur, °C;
- t_{m10} – temperatura medie logaritmica nominala pe instalatia de incalzire centrala, °C;
- Δt_{m10} – diferenta medie logaritmica de temperatura nominala, pe instalatia de incalzire centrala, °C;
- Δt_{ml} – diferenta medie logaritmica de temperatura, pe instalatia de incalzire

centrala, °C;

G_0 – valoarea nominala a debitului de agent termic, m³/s;

G – valoarea curenta a debitului de agent termic, m/s;

Φ_0 – necesarul de caldura nominal al consumatorului, W;

Φ - necesarul curent de caldura al consumatorului, W;

k_0 – valoarea nominala a coeficientului global de transfer termic al instalatiei de incalzire centrala, W/m².K;

k – valoarea curenta a coeficientului global de transfer termic al instalatiei de incalzire centrala, W/m².K;

S – suprafata instalatiei de incalzire centrala, m²;

H – factorul de cuplaj termic hibrid (transmisie-ventilatie) al cladirii reabilitate, W/K;

H_0 - factorul de cuplaj termic hibrid (transmisie-ventilatie) al cladirii nereabilitate, W/K;

NTU – numarul de unitati de transfer termic al instalatiei de incalzire centrala,-;

E – modulul termic al instalatiei de incalzire centrala, -;

E_0 – modulul termic nominal al instalatiei de incalzire centrala, -;

Bibliografie :

[1] – Florin Iordache – Instalatii de incalzire centrala. Reglajul termic calitativ centralizat – Revista Romana de Inginerie Civila volumul 8 (2017) nr.1 – ISSN 2068-3987 – ed. Matrixrom 2017, Bucuresti.;

[2] – Florin Iordache – Comportamentul dinamic al echipamentelor si sistemelor termice – ed. Matrixrom 2008, Bucuresti;

REVISTA ROMÂNĂ DE INGINERIE CIVILĂ INCLUDE ARTICOLE DIN URMĂTOARELE DOMENII

ROMANIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING INCLUDE ARTICLES FROM THE FOLLOWING AREAS

- | | |
|--|---|
| . Mecanica structurilor | . Mechanics of structures |
| . Inginerie seismică și siguranța construcțiilor | . Seismic engineering and construction safety |
| . Inginerie urbană și dezvoltare regională | . Urban engineering and regional development |
| . Construcții civile | . Civil buildings |
| . Căi de comunicații, poduri și tunele | . Communication ways, bridges and tunnels |
| . Căi ferate | . Railways |
| . Drumuri și aeroporturi | . Roads and airports |
| . Construcții din beton armat | . Reinforced concrete buildings |
| . Construcții metalice | . Metal constructions |
| . Geotehnică și fundații | . Geotechnics and foundations |
| . Alimentări cu apă și canalizare | . Water supply and sanitation |
| . Tratarea apei | . Water treatment |
| . Epurarea apelor uzate | . Wastewater treatment |
| . Construcții hidrotehnice | . Hydro construction |
| . Îmbunătățiri funciare | . Land improvements |
| . Hidraulică și mecanica fluidelor | . Hydraulics and Fluid Mechanics |
| . Hidrologie, hidrogeologie și gospodărirea apelor | . Hydrology, hydrogeology and water management |
| . Protecția mediului în inginerie civilă | . Environmental protection in civil engineering |
| . Instalații pentru construcții | . Building services |
| . Management în construcții | . Construction Management |
| . Calitatea mediului interior | . Indoor environmental quality |
| . Acustica clădirilor și a instalațiilor | . Acoustic of buildings and installations |
| . Energetica clădirilor și instalațiilor | . Energy of buildings and installations |
| . Geodezie, fotogrammetrie, cartografie | . Geodesy, photogrammetry, cartography |
| . Termotehnică | . Thermotechnics |
| . Mașini și utilaje pentru construcții | . Constructions machinery |
| . Mecanică tehnică și vibrații | . Technical mechanics and vibrations |
| . Electrotehnică | . Electrotechnics |
| . Ingineria calității | . Quality engineering |
| . Științe fundamentale în inginerie civilă | . Fundamental science in civil engineering |

INFORMATION FOR AUTHORS

- For the works proposed for publication in the Romanian Journal of Civil Engineering, there are no costs for the author to analyze the manuscript and / or publish the article
- The publication of the article is conditional on its analysis in a peer-review process, as mentioned at <http://www.rric.ro/etica.php>; the author is required to participate in the peer-review process
- The article proposed for publication in the Romanian Journal of Civil Engineering has not been published and can no longer be published in another journal. If portions of content overlap with published content or for publication in another journal, the author must recognize and quote these sources
- Send to publish of an article implies that the study described in the article is original and does not infringe copyright. In the necessary circumstances, the author has to recognize and quote content reproduced from other sources after having previously obtained permission to reproduce the required content from other sources
- If there are more than one author, the content of the article is known and approved by all authors who contributed to writing the article and / or performing the research described in the paper
- All authors of an article should make a significant contribution to its writing
- The proposed article for publication will contain bibliographical references, as well as references to financial support, if any
- In the event of an error being reported in the paper after its publication, the author is required to cooperate with the Editorial Board and the publisher to publish an errata, an addendum, a corrigendum notice, or to withdraw the work if this is considered necessary.

At http://www.rric.ro/template/rric_template.doc there is the template where the proposed article should be sent for publication; the article is sent by email to office@matrixrom.ro or uploaded directly from the journal's website <http://www.rric.ro/autori.php>.

INFORMAȚII PENTRU AUTORI

- Pentru lucrările propuse spre publicare în Revista Română de Inginerie Civilă nu există costuri ale autorului pentru analiza manuscrisului și/sau pentru publicarea articolului
- Publicarea articolului este condiționată de analiza acestuia într-un peer-review proces, așa cum este menționat la <http://www.rric.ro/etica.php>; autorul este obligat să participe la procesul de peer-review
- Articolul propus pentru publicare în Revista Română de Inginerie Civilă nu a mai fost și nu mai poate fi publicat într-o altă revistă. Dacă porțiuni de conținut se suprapun cu conținut publicat sau trimis spre publicare la o altă revistă, autorul trebuie să recunoască și să citeze aceste surse.
- Trimiterea către publicare a unui articol implică faptul că studiul descris în articol este original și nu încalcă drepturile de autor. În situațiile necesare autorul trebuie să recunoască și să citeze conținutul reprodus din alte surse, după ce a obținut anterior permisiunea de a reproduce conținutul necesar din alte surse.
- În cazul în care există mai mulți autori, conținutul articolului este cunoscut și aprobat de toți autorii care au contribuit la scrierea articolului și/sau la realizarea cercetării descrise în lucrare.
- Toți autorii unui articol trebuie să aibă o contribuție semnificativă la elaborarea acestuia
- Articolul propus pentru publicare va conține referințe bibliografice, precum și mențiuni referitoare la suportul financiar, dacă este cazul
- În cazul semnalării unor erori în lucrare, după publicarea acesteia, autorul este obligat să coopereze cu Colegiul Editorial și cu editura pentru a publica o erată, o addendum, o notificare de corrigendum sau pentru a retrage lucrarea, în cazul în care acest lucru este considerat necesar.

La adresa http://www.rric.ro/template/rric_template.doc se găsește formatul (template) în care trebuie trimis articolul propus pentru publicare; articolul se trimite prin email la adresa office@matrixrom.ro sau se încarcă (upload) direct din website-ul revistei, secțiunea pentru autori <http://www.rric.ro/autori.php>.