

DIN ISTORIA SISTEMELOR URBANE DE ALIMENTARE CU APĂ ȘI PROVOCARILE VIITORULUI

Drd. Ing. Vlad COJANU¹, Prof. Dr. Ing. Elena HELEREA¹

¹ Universitatea „Transilvania“, Departamentul de Inginerie Electrică și Fizică Aplicată, Brașov, Romania

REZUMAT. Lucrarea are în vedere o analiză a evoluției sistemelor de alimentare cu apă potabilă. Motivarea acestei lucrări este dată de faptul că apa este una din resursele esențiale pentru societatea umană, iar cunoașterea evoluției conceptului de apă potabilă și a sistemelor de alimentare cu apă aduce beneficii pentru cercetătorii și inginerii din domeniu, pentru politicieni și pentru ansamblul societății civile. Încă din epoca bronzului, omenirea a încercat găsirea de modalități pentru a captura, transportul, stocarea și distribuția apei în principalele zone urbane. Datorită creșterii populației din ultimele decenii și a dezvoltării rapide a zonelor urbane, apa devine o resursă indispensabilă.

Cuvinte cheie: Apă potabilă, Sistem urban de apă, Urbanizare, Istoric

ABSTRACT. The paper considers an analysis of the evolution of urban water system. The motivation for this work is given by the fact that water is one of the essential resources for human society, and knowledge of the evolution of the concept of drinking water and water supply systems benefits researchers and engineers, politicians and civil society as a whole. Since the Bronze Age, mankind has tried to find ways to capture, transport, store and distribute water in major urban areas. Due to population growth in recent decades and the rapid development of urban areas, water is becoming an indispensable resource.

Keywords: Drinking water, Urban water system, Urbanization, History

1. INTRODUCERE

Apa este o resursă indispensabilă vieții. Încă din cele mai vechi timpuri așezările umane au apărut în apropierea surselor de apă potabilă. De la primele puțuri forate, la primele sisteme centralizate de alimentare cu apă și până în prezent, sistemele de alimentare cu apă potabilă au evoluat dar principiul a rămas același: apa trebuie să ajungă la consumatori.

Prin studiul abordărilor din trecut ale problemei alimentării cu apă se pot fundamenta noi metodologii de proiectare, execuție și mentenanță. Iar informarea și cunoașterea importanței conservării și utilizării responsabile a resurselor de apă are influență directă asupra calității vieții și asupra consumului de energie.

Printr-o dezvoltare sustenabilă se creează un echilibru între cererea și disponibilitatea resurselor de apă potabilă și reducerea consumului de energie, factor esențial în realizarea sistemelor socio-economice durabile.

În această lucrare se face o retrospectivă asupra evoluției sistemelor de alimentare cu apă potabilă, dezvoltate în special în aglomerările urbane. Sunt analizate caracteristicile primelor sisteme de alimentare cu apă, având ca studiu de caz, dezvoltarea

sistemelor de alimentare cu apă în România și sunt punctate unele din provocările viitorului în domeniul alimentării cu apă.

2. APA POTABILĂ ȘI SISTEMUL URBAN DE ALIMENTARE CU APĂ

Termenul de apă potabilă definește apa destinată consumului uman, care poate să fie: apă în stare naturală sau tratată, folosită pentru băut, prepararea hranei ori pentru alte scopuri casnice, sau apă folosită ca sursă în industria alimentară [10].

La nivel european Directiva 98/83 a Consiliului Europei reglementează parametrii de calitate ai apei, iar la nivel național Legea 458/2002. Indicatorii de calitate ai apei care se urmăresc în țara noastră sunt: indicatori fizici, indicatori chimici, indicatori biologici, indicatori bacteriologici [10].

Prin sistem urban de alimentare cu apă se definește totalitatea elementelor interconectate care au rolul de a extrage și transporta apa de la sursă către consumatorii dintr-o zonă urbană.

Apa livrată către consumatori trebuie să îndeplinească standardele de potabilitate impuse prin

legislație, să asigure debitul și presiunea necesară la consumatori.

Calitatea apei a fost un element esențial de la începuturi, astfel că oamenii implicați în construirea acestor sisteme au conceput diferite metode de îmbunătățire a calității apei. Cea mai veche metodă este decantarea apei. În secolul al XIX-lea, odată cu declanșarea revoluției industriale, necesarul de apă a crescut vertiginos, iar calitatea ei trebuia menținută în anumiți parametri ceruți de noile industrii, astfel a fost creat primul sistem de filtrare cu nisip, un sistem care este utilizat și în prezent.

Din punct de vedere constructiv, sistemele de alimentare cu apă au următoarele elemente componente:

- sursa de apă (poate fi o sursă de suprafață sau o sursă subterană, potabilă sau care trebuie tratată în vederea potabilizării);
- conductele și viaductele (elementele ce interconectează marile componente ale sistemului și au rolul de a transporta apa cu pierderi minime și fără a-i afecta calitatea)
- elementele de măsură și control hidraulic (sunt: pompele, vanele, sistemele de măsură ce au rol de a monitoriza și regla parametrii de funcționare ai sistemului).

În Fig. 1, Fig. 2 și Fig. 3 sunt reprezentate scheme constructive generale ale sistemelor de alimentare cu apă.

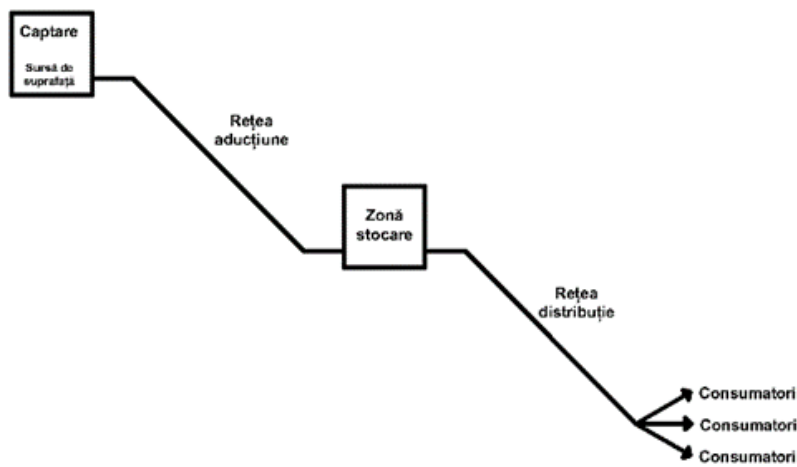


Fig. 1. Sisteme gravitațional de alimentare cu apă, cu surse de suprafață.

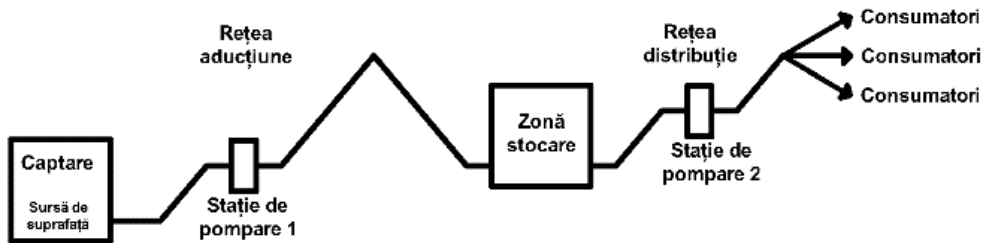


Fig. 2. Sistem pompat de alimentare cu apă, cu sursă de suprafață.

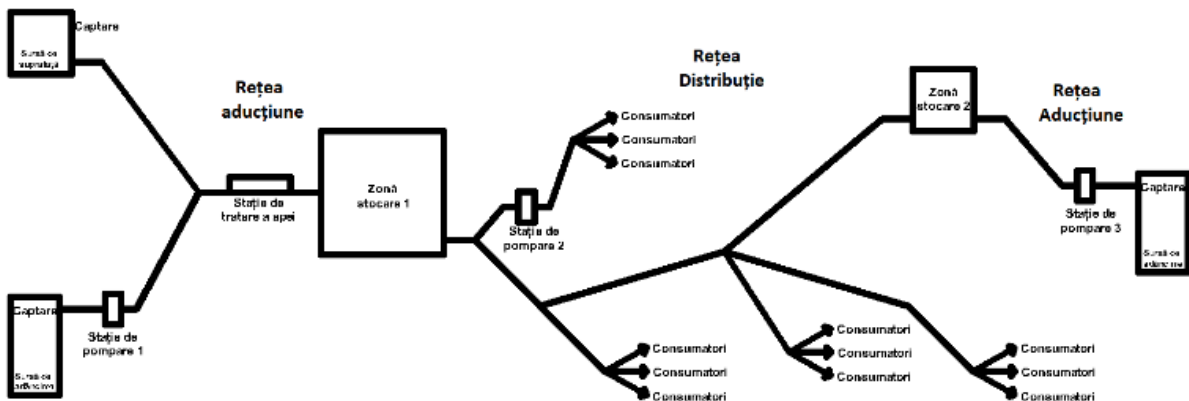


Fig. 3. Sistem complex de alimentare cu apă .

Toate aceste sisteme includ sisteme de captare apă, sisteme de stocare și un sistem simplu, inelar, sau ramificat de distribuție a apei către consumator.

3. PRIMELE SISTEME DE ALIMENTARE CU APĂ

Există o strânsă legătură între dezvoltarea civilizațiilor și cursurile marilor fluvii. Încă din cele mai vechi timpuri oamenii au încercat să exploateze zonele în care aveau acces ușor la apă, hrană și materiale pentru construit. Primele încercări de realizare a unor sisteme centralizate de alimentare cu apă au apărut nu au apărut în Mesopotamia și Egipt.

Există descoperiri arheologice ce atestă faptul că în epoca Bronzului (3000-1200 î.H.), civilizația de pe valea Indului, a dezvoltat un sistem centralizat de alimentare cu apă și de canalizare ce deservea Mohenjo-Daro, o zonă urbană importantă a vremii [8]. Pe teritoriul Europei primele sisteme centralizate au fost descoperite pe teritoriul insulei Cipru, în epoca bronzului.

4. ALIMENTAREA CU APĂ ÎN GRECIA ȘI ROMA ANTICĂ

Grecia, leagănul civilizației și prima țară democratică, are o strânsă legătură cu apariția și dezvoltarea sistemelor centralizate de alimentare cu apă. Civilizația minoică este prima care a construit astfel de sisteme pe teritoriul Europei, remarcându-se orașele antice Knossos și Tylissos care utilizau conducte din ceramică pentru a transporta apa.

Apogeul acestor sisteme a fost atins în perioada elenistică, o perioadă în care matematica, fizica și tehnică au proliferat. Apoloniu, Eulic, Aristarh din Samos, Arhimede sunt doar câțiva din savanții care au trăit în această perioadă. Arhimede este considerat părintele hidrostatiei, prin crearea primului elevator hidraulic (Șurubul lui Arhimede) și prin descoperirea empirică a legii plutirii corpurilor. Din multe sisteme impresionate de alimentare cu apă ce se regăsesc în Grecia, amintim sistemul orașului antic Pergam aflat la 30 de km de Marea Egee, azi pe teritoriul Turciei. Orașul era alimentat cu apă transportată de trei apeducte din zona montană apropiată. Unul dintre apeducte avea un sifon cu o lungime de peste 3 km și o presiune nominală de aproximativ 18 bari [7].

Sistemele de alimentare cu apă au fost dezvoltate în continuare de romani, care au construit megastructuri de alimentare cu apă, pentru a deservi marile orașe. Odată cu extinderea Imperiului Roman, toate noile zone cucerite erau supuse unui

amplu proces de romanizare, care avea ca rol principal înglobarea noilor zone în imperiu. Astfel, sistemul administrativ roman, limba latina, drumurile și sistemele centralizate de alimentare cu apă și canalizare au fost introduse în principalele centre urbane pe întreg teritoriul imperiului. Cel mai impresionat sistem de alimentare cu apă din acea perioadă este cel care transporta apa pentru capitala imperiului, Roma. În 312 î.H. este construit primul apeduct, Appia, care avea o lungime de 16,4 km. În perioada lui Frontinius, Roma era alimentată de 9 apeducte, cu o lungime totală de 421,4 km. Cel mai lung apeduct era Anio Novus cu o lungime de 86,9 km și o diferență de nivel de 320 m între sursă și punctul de consum.

Sistemele romane de alimentare cu apă transportau apa gravitațional prin conducte închise de la sursă la un rezervor de distribuție numit *Castellum*. Traseul conductelor subterane sau supraterane (formate din apeducte) avea rezervoare pentru decantarea sedimentelor, cunoscute ca *Piscinae*. Pentru a putea satisface cererea de apă, pe traseu erau captate liniile secundare denumite *Vamus* [5]. *Fistule* este termenul utilizat pentru conducte care erau realizate din material ceramic sau plumb. Din punct de vedere al calității apei, aceasta nu era aceeași în toate apeductele, de aceea apa care avea o calitate mai scăzută, era utilizată la irigare și în lacurile artificiale [5].

Primele lucrări științifice în domeniul alimentării cu apă sunt considerate *De Architectura* a lui Vitruvius (70-15 î.H.) și *De aquaeductu urbis Romae* a lui Sextus Julius Frontinus (40-103 d.H.), în care este descris sistemul de alimentare cu apă al Romei. Deoarece în acea perioadă nu se cunoșteau noțiuni ca debit și presiune, sistemele sunt descrise din punct de vedere al componentelor și al modului de construite. O serie de studii moderne au fost realizate pentru a determina parametrii hidraulici ce caracterizau vechile sisteme de alimentare. În lucrarea *Hydraulic analysis of the water supply system of the Roman city of Perge* [12] este prezentat o analiză modernă a unui sistem roman de alimentare cu apă. Calculele realizate au indicat o capacitate de transport de peste 700 m³/ora.

Un aspect deosebit al sistemului este reprezentat de blocurile de piatră din canalele principale de transport, care aveau rolul de a ridica nivelul apei din canal în vederea alimentării tuturor consumatorilor și păstrarea unei curgeri constante și neturbulente.

În urma aplicării calculelor matematice și a conceptelor moderne ale dinamicii fluidelor, cercetătorii au determinat distanțele minime și maxime dintre blocuri de piatră succesive și au demonstrat capacitatea extraordinară a inginerilor romani de a construi un sistem stabil și eficientă fără a stăpâni o serie de cunoștințe legate de hidraulică și dinamica

fluidelor pe care noi le utilizăm în zilele noastre pe scară largă.

5. SISTEMELE DE ALIMENTARE CU APĂ DIN ROMÂNIA

Pe teritoriul țării noastre cercetările arheologice au scos la iveală sistemele de alimentare cu apă a cetăților dacice de la Costești și Blidaru, care datează din secolul I î.H.

După cucerirea Daciei de către romani, centrele importante ale vremii au fost alimentate cu apă după sistemul roman.

În perioada evului mediu, marea majoritate a sistemelor centralizate de alimentare au fost distruse sau uitate până la începutul secolului al XVII-lea.

Unul dintre cele mai întinse și complexe sisteme de alimentare cu apă din țara noastră deservește orașul București. În anul 1779, orașul București este alimentat pentru prima dată de un sistem centralizat de apă și este înființat primul serviciu de întreținere. În anul 1847, sistemul de apă al Bucureștiului era alimentat din Dâmbovița, folosea o stație de tratare și filtrare a apei cu lână și o rețea de distribuție din fontă. Stația de apă Grozăvești cu o capacitate de 90 000 mc/zi este dată în funcțiune în 1889. În anul 1927, stația de apă de la Arcuda avea o capacitate de transport de 60 000 mc/zi, care a crescut la aproximativ 150 000 mc/zi în urma modernizărilor din perioada 1951-1953. Clorinarea apei a fost realizată pentru prima oară în 1955 în stația de apă Arcuda. Pentru a putea face față creșterii necesarului de apă au fost construite stațiile de pompare Crivina I (1957-1959) cu un debit pompat de 135 000 mc/zi și Crivina II (1960-1965) cu un debit pompa de 90 000 mc/zi. Stația tratarea apei de la Arcuda a fost modernizată în 1981 pentru a crește capacitatea de tratare a apei, ajungând la un debit de 745 000 mc/zi de apă tratată [6].

Sistemul actual a fost modernizat la începutul anilor 2000 și în prezent funcționează astfel:

- Apa este captată din râurile Argeș și Dâmbovița;

- Pentru a putea îndeplini condițiile de potabilitate apa este tratată în cele trei uzine:

- Arcuda: construită în 1892, cu un debit de 650 000 mc/zi și care este alimentată cu apă din râul Dâmbovița,

- Roșu: construit în 1970, are un debit de 520 000 mc/zi și este alimentată cu apă din râul Argeș,

- Crivina: construită în 2006, are un debit de 260 000 mc/zi și este alimentată din râul Argeș;

- Se utilizează filtre de nisip pentru a îndepărta impuritățile;

- Apa este ulterior supusă procesului de ozonare, proces ce are rolul de a elimina bacteriile și de a îmbunătăți culoare și gustul apei;

- Clorinarea este procesul ce asigură calitatea apei din rețea - concentrația de clor din apă este urmărită constant în rețeaua de distribuție;

- Stocarea apei se realizează în bazine subterane și construcții supraterane;

- Transportul apei către consumatori se realizează printr-un amplu sistem de distribuție [13].

6. PROVOCĂRILE VIITORULUI ÎN DOMENIUL ALIMENTĂRII CU APĂ

La nivel global populația are tendința de creștere. Situația structurii populației globului în anul 2019, defalcată pe vârste, conform unor statistici realizate de Națiunile Unite, este prezentată în Tabelul 1 [8].

Tabelul 1. Populația globului în 2019 [11]

Populația totală [miliarde]	7.7
Populația sub 15 ani [%]	25.6
Populația cu vârste cuprinse între 15-24 [%]	15.6
Populația cu vârste cuprinse între 25-64 de ani [%]	49.7
Populația în vârstă de peste 65 de ani [%]	9.1

În ultimi 50 de ani, schimbările demografice s-au accelerat spectaculos, atingând un nivel nemai-întâlnit în decursul dezvoltării societății omenеști.

Conform reprezentării grafice din Fig. 2, până în 2060 se estimează că populația globului va depăși pragul de 10 miliarde de locuitori.

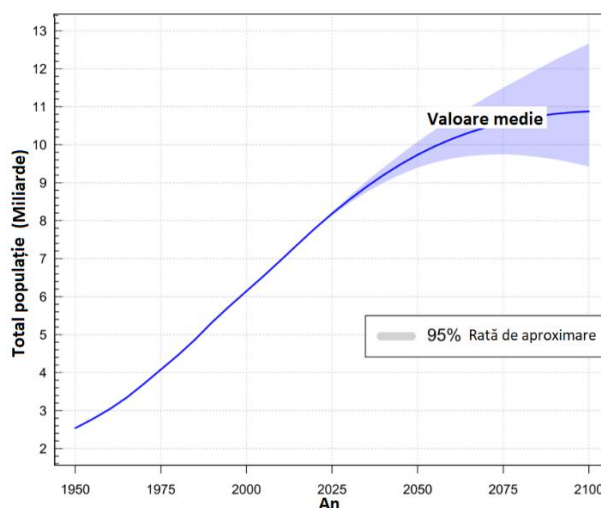


Fig. 4. Evoluția populației la nivel mondial [11]

Această creștere a populației reprezintă o creștere a necesarului de apă de consum, o creștere a necesarului de apă pentru agricultură și industrie și

implicit, o creștere a necesarului de energie pentru a asigura buna funcționare a sistemelor de alimentare cu apă.

Odată cu creșterea populației și a speranței de viață necesarul de apă și necesarul de energie va crește.

Zonele din Africa subsahariană, sudul Asiei și țările mici din America Latină trec printr-o perioadă de creștere demografică rapidă, de peste 2 % pe an, ceea ce înseamnă o dublare a populației până în 2050. Pe de altă parte, Europa, America de Nord și America de Sud au o creștere mică, de sub 1% sau chiar o stagnare demografică [3].

Având în vedere creșterea semnificativă a consumului, sistemele urbane de alimentare cu apă trebuie să devină mai eficiente.

Eficiența energetică în sistemul urban de alimentare cu apă conform unui studiu realizat de Feldman și colab. [4] este direct afectată de pierderile volumetrice. Pierderile totale de apă la nivel global reprezintă aproximativ 30% din cantitatea de apă transportată. Aceste pierderi de apă cresc consumul de energie al sistemului cu 20-30%.

Pe lângă pierderile volumetrice de apă, apar și alte pierderi cauzate de:

- operarea ineficientă a stațiilor de pompare,
- mentenanță și control deficitar al sistemului,
- presiune excesivă în rețea.

Pentru a putea răspunde eficient la creșterea rapidă a cerințelor urbane pentru apă precum și nevoia de a face sistemele urbane de apă mai rezistente la schimbările mediului s-au propus diferite soluții:

- asigurarea accesului la infrastructura, serviciile de apă și sanitație;
- o gospodărire responsabilă pentru apa meteorică și uzată;
- control bolilor și epidemiilor;
- reducerea riscurilor generate de apă.

Măsurile menționate mai sus sunt doar o parte din punctele cheie care definesc management integrat al apei [2][1].

O modalitate de creștere a eficienței sistemelor de alimentare cu apă este utilizarea soluțiilor software de modelare a curgerii fluidelor și urmărirea în timp real a parametrilor din sistem.

Primii pași de implementare a calculatoarelor în rezolvarea problemelor de management al apei au fost făcuți în anii '50, când Hoag și Weinberg au folosit calculatorul în vederea aplicării metodei Hardy Cross pentru a optimiza sistemul de apă al orașului californian Palo Alto. Metoda iterativă descrisă de Hardy Cross permite calculul debitului din interiorul sistemelor complexe, dacă sunt cunoscute debitele de intrare și ieșire și este punctul de

plecare în cursa dezvoltării de metode și soluții software care se utilizează în domeniul hidraulic.

Alți pași importanți în dezvoltarea sistemelor computerizate de calcul [9]:

- 1963: Martin și Peters dezvoltă un algoritm pentru calculator care se poate folosi cu succes în rezolva simultană a nodurilor din sistemul de distribuție;
- 1968: Uri Shamir și Chuck Howard folosesc metoda lui Martin și Peters pentru rezolvarea unui sistem pompat și dezvoltă noi posibilități de utilizare a metodei;
- 1969: Alvin Flower și Robert Epp au stabilesc o nouă metodă de calcul, bazată pe metoda Newton-Raphson și metoda Cross;
- 1972: Wood și Charles au prezentat metoda liniară prin care se poate determina direct debitul în fiecare țevă și alți parametri de interes.
- 1976: Roland Jeppson ajutat de compania CH2M Hill scot pe piață un program comercial pentru analiza rețelei bazat pe metoda buclei simple.
- 1987: Todini și Pilati propun metoda gradientului care stă la baza programului de simulare hidraulică EPANET dezvoltat de Agenția pentru Protecția Mediului din Statele Unite ale Americii.

6. CONCLUZII

Apa este o resursă de preț, indispensabilă vieții și care trebuie să fie gestionată responsabil și eficient.

Datorită procesului accelerat de dezvoltare a societății, omenirea are de înfruntat noi provocări. Marile aglomerări urbane încep să resimtă creșterea densității populației și nevoia tot mai mare de resurse.

Din punct de vedere al managementului resurselor de apă, pentru a putea face față acestor noi provocări sistemele urbane de alimentare cu apă trebuie să îndeplinească noi standarde de eficiență și sustenabilitate.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Bahri, A., *Managementul Integrat al Apei Urbane*, Stockholm, Suedia, 2012).
- [2] Cojanu, V., and Helerea, E., Applying the mathematical optimization model in water distribution management, in *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, (Institute of Physics Publishing, 2020), p. 012011.
- [3] Ezeh, A. C., Bongaarts, J., and Mberu, B., *Global population trends and policy options*, *Lancet* **380** (2012) 142–148.
- [4] Feldman, M., *Aspects of energy efficiency in water supply systems*, Proc. 5th IWA Water Loss Reduct. Spec. Conf. (2009) 85–89.
- [5] Hansen, R. D., *Water and Waste Water in Imperial Rome*, *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc.* **19** (1983) 263–269.

- [6] Katko, T. S., Juuti, P. S., and Rajala, R. P., *Writing the history of water services*, Phys. Chem. Earth **34** (2009) 156–163.
- [7] Koutsoyiannis, D., Zarkadoulas, N., Angelakis, A. N., and Tchobanoglous, G., *Urban Water Management in Ancient Greece: Legacies and Lessons*, J. Water Resour. Plan. Manag. **134** (2008) 45–54.
- [8] Mays, L. W., Koutsoyiannis, D., and Angelakis, A. N., *A brief history of urban water supply in antiquity*, Water Sci. Technol. Water Supply **7** (2007) 1–12.
- [9] Ormsbee, L. E., *The history of water distribution network analysis: The computer age*, 8th Annu. Water Distrib. Syst. Anal. Symp. 2006 **40941** (2007) 3.
- [10] * * * *Legea 458 08/07/2002 - Portal Legislativ*, Monit. Of. (n.d.).
- [11] * * * *Department of Economic and Social Affairs, Population Division: World Population Prospects 2019, Volume II: Demographic Profiles, II* (2019) 1–5.
- [12] Vekemans, O., and Haut, B., *Hydraulic analysis of the water supply system of the Roman city of Perge*, J. Archaeol. Sci. Reports **16** (2017) 322–329.
- [13] *Apa Nova București - Despre Apa Nova*, Apa Nov. București S.A. (n.d.).

Despre autori

Drd. ing. **Vlad COJANU**

Universitatea „Transilvania“, Brașov, România

Drd. ing. Vlad COJANU este doctorand în cadrul Scolii Doctorale Interdisciplinare de la Universitatea „Transilvania“ din Brașov. A absolvit programul de licență de Instalații pentru Construcții și programul de master Modernizare Energetică în Mediul Construit în cadrul Facultății de Construcții a Universității Transilvania Brașov. În prezent este cadru didactic asociat al Facultății de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor a Universității Transilvania și studiază eficiența energetică a pompelor utilizate în sistemelor de alimentare cu apă.

Prof.univ. dr. ing. **Elena HELEREA**

Universitatea „Transilvania“, Brașov, România

Prof.univ. dr. ing. Elena HELEREA este absolventă a Institutului Politehnic din Brașov – 1970, specializarea Electromecanică, doctor inginer din anul 1987, profesor la Universitatea „Transilvania“ din Brașov, Facultatea de Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor, conducător de doctorat în domeniul Inginerie electrică, membră AGIR. În perioada 2008-2013 a ocupat funcția de director al Bibliotecii Universității „Transilvania“ din Brașov, în perioada 2008-2004 a ocupat funcția de prorector cu activitatea didactică. Din 2011 este profesor onorific al Universității din Pecs Ungaria. În decursul anilor a publicat numeroase lucrări științifice indexate ISI sau în baze de date internaționale, monografiile și cursuri dedicate studenților. Domenii de competență sunt: materiale electrotehnice, compatibilitate electromagnetică, calitatea energiei electrice, istoria tehnologiei.