



UNIVERSITATEA TEHNICĂ DE CONSTRUCȚII BUCUREȘTI
FACULTATEA DE HIDROTEHNICĂ
DEPARTAMENTUL INGINERIE HIDROTEHNICĂ

TEZA DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII LA RECONSTRUCȚIA ZONELOR UMEDE ȘI A ECOSISTEMELOR ADIACENTE

– REZUMAT –

Doctorand

ing. Valentin-Florentin ZAHARIA

Conducător științific

Prof.univ.dr.ing. Radu DROBOT

**BUCUREȘTI
2020**

CUPRINS

CUPRINS	2
1. INTRODUCERE	4
2. CADRU LEGISLATIV	5
2.1. Convenția Ramsar	5
2.2. Directive Europene privind Zonele Umede	5
3. VALORILE ȘI FUNCȚIILE ZONELOR UMEDE	5
4. DESCRIEREA ȘI CLASIFICAREA ZONELOR UMEDE	6
5. RECONSTRUCȚIA ECOLOGICĂ	6
5.1. Procese asociate zonelor umede	7
5.2. Proiectarea	7
5.3. Construcția	7
6. MODELAREA MATEMATICĂ A MIȘCĂRII APEI	7
6.1. Mișcarea apei subterane	7
6.1.1. Interacțiunea zonelor umede cu apele subterane	7
6.1.2. Legea lui Darcy	7
6.1.3. Ecuația de continuitate	7
6.1.4. Ecuația generală de mișcare	7
6.1.5. Condițiile la limită	7
6.1.6. Metode numerice pentru aproximarea soluțiilor	7
6.2. Mișcarea apei de suprafață	8
6.2.1. Interacțiunea zonelor umede cu apele de suprafață	8
6.2.2. Scurgerea la suprafață	8
6.2.3. Curgerea cu suprafață liberă în canale	8
6.2.4. Curgerea peste deversoare	8
6.2.5. Curgerea bidimensională la suprafața terenului	8
6.2.6. Curgerea în conducte sub presiune	8
7. BILANȚUL HIDROLOGIC AL ZONELOR UMEDE	8
7.1. Schimburile cu atmosfera	9
7.2. Schimburile cu apa subterană	10
7.3. Schimburile cu apa de suprafață	10
8. STUDIU DE CAZ (LACUL VĂCĂREȘTI)	11

8.1.	Istoricul amplasamentului și situația actuală	11
8.2.	Evaluarea componentelor bilanț hidrologic	13
8.2.1.	Schimbările cu atmosfera	13
8.2.2.	Schimbările cu apa subterană	15
8.3.	Determinarea bilanțului hidrologic actual	18
8.4.	Evaluarea bilanțului de apă în contextul amenințărilor viitoare	20
8.5.	Soluții pentru alimentarea zonelor umede	21
8.5.1.	Interacțiunea cu sistemul de canalizare	21
8.5.2.	Calitatea apei	28
8.5.3.	Sistem separativ de colectarea a apelor meteorice pentru zona adiacentă	28
8.5.4.	Modelare 2D a zonei umede	30
8.5.5.	Soluția propusă	32
8.5.6.	Concluzii	33
9.1.	Concluzii	35
9.2.	Contribuții proprii	36
9.3.	Direcții viitoare de cercetare	36
Bibliografie		37
Listă de lucrări și publicații ale autorului		37

1. INTRODUCERE

În contextul evenimentelor pluviale extreme din ultimul deceniu, care au generat inundații și pagube semnificative (ex. 2005, 2006, 2010, 2012, 2014), precum și a preocupărilor intense privind protecția mediului înconjurător și necesitatea realizării unor proiecte „prietenoase” cu acesta, utilizarea zonelor umede ca soluție viabilă în amenajarea bazinelor hidrografice și a teritoriului devine stringentă.

Ingineria ecologică este definită ca fiind „realizarea unor ecosisteme sustenabile, care să integreze societatea umană și mediul înconjurător în beneficiul amândurora” (Mitsch & Jorgensen, 2003). Numai îmbinând principiile ingineriei ecologice cu ingineria civilă clasică vom putea găsi și pune în practică soluțiile optime și durabile prin care să asigurăm gradul de protecție necesar al populației și să venim în sprijinul generațiilor viitoare prin dezvoltarea unor ecosisteme durabile.

Reconstrucția ecologică a zonelor umede reprezintă toate acțiunile întreprinse pentru restabilirea în linii mari a condițiilor naturale (ne-alterate) sau a celor existente înainte de apariția modificărilor până la un anumit punct, în ceea ce privește solul, hidrologia, vegetația, habitatul asociat zonei umede.

Dezvoltarea zonelor umede presupune, pe lângă acțiunile de reconstrucție ecologică, modificarea zonei umede în scopul augmentării unor condiții specifice pentru a facilita dezvoltarea unor anumite specii sau pentru a extinde paleta de specii și/sau funcții.

Crearea zonelor umede reprezintă construcția lor pe un teren care din punct de vedere istoric nu a fost zonă umedă.

În primul rând reconstrucția ecologică a zonelor umede trebuie privită ca o soluție viabilă de adaptare la schimbările climatice și la acțiunile pe care le întreprindem asupra mediului înconjurător, modificându-l. Exemple în acest sens sunt: îndiguirile, despăduririle, schimbarea destinației utilizării terenului, balastierele, creșterea suprafețelor urbane și a gradului de impermeabilizare, etc. În al doilea rând, atât prin reconstrucția cât și prin crearea zonelor umede vom fi capabili să ne aliniem liniilor directe ale Uniunii Europene, ce promovează conceptul „mai mult spațiu pentru râuri”, prin care este susținută necesitatea redării râurilor a ceea ce „le-am luat” – luncile inundabile (în majoritatea cazurilor acestea fiind definiția perfectă a zonelor umede). În al treilea rând, este recunoscută valoarea economică a zonelor umede, nu numai prin resursele propriu-zise de care dispun, cum sunt viața acvatică, material lemnos, turbă, alimentare cu apă, etc.), ci și prin beneficiile necuantificabile precum biodiversitatea sau patrimoniul cultural.

Proiectul de cercetare își propune să scoată în evidență stadiul cercetărilor la nivel internațional în problematica zonelor umede precum și metodele și practicile moderne prin care se realizează proiectele de reconstrucție ecologică. Se acordă o atenție deosebită regimului hidrologic, acesta fiind cel care reglează procesele și asigură funcțiile zonelor umede.

2. CADRU LEGISLATIV

2.1. Convenția Ramsar

România a aderat în anul 1991 la Convenția asupra zonelor umede de importanță internațională prin **Legea nr. 5/1991**, cunoscută sub denumirea de **Convenția RAMSAR¹**. Acest tratat internațional are ca scop principal conservarea biodiversității și a resurselor zonelor umede și constituie un real instrument prin care este susținută dezvoltarea durabilă. Misiunea Ramsar este *conservarea și utilizarea inteligentă a tuturor zonelor umede prin acțiuni locale, regionale, naționale și prin cooperare internațională, ca o contribuție la realizarea dezvoltării durabile pe planeta noastră*. (Ramsar Convention, 2014)

2.2. Directive Europene privind Zonele Umede

Directiva privind apele subterane, 2006/118/EC, transpusă în legislația din România prin **HG nr.53/2009** pentru aprobarea planului național de protecție a apelor subterane împotriva poluării și degradării.

Directiva Europeană privind Habitatele, 92/43/EC, urmărește conservarea habitatelor naturale, a faunei și florei sălbatice prin realizarea unor Areale Speciale de Conservare, ce trebuie menținute sau restaurate astfel încât să fie atinsă „starea de conservare favorabilă“.

Directiva Păsărilor, 79/409/EEC, privind conservarea păsărilor sălbatice este în strânsă relație cu zonele umede.

3. VALORILE ȘI FUNCȚIILE ZONELOR UMEDE

Zonele umede reprezintă interacțiunea complexă între apă, sol, topografie, micro-organisme, plante și animale, făcând din zonele umede un tip de ecosistem printre cele mai productive de pe Pământ (Barbier, Acreman, & Knowler, 1997).

Zonele umede oferă, de la caz la caz, o serie de beneficii de mare valoare cum sunt: peștii, material lemnos pentru construcții, încălzire sau producția altor produse lemnoase, viața sălbatică, cele mai fertile terenuri pentru agricultură, alimentare cu apă, transport naval, rezerve de turbă. Aceste beneficii pot fi exploatate în mod direct (resurse de hrană, material lemnos, turbă) sau pot fi utilizate în mod indirect (realimentarea acviferelor, protecția la inundații), în timp ce altele sunt apreciate doar pentru simpla lor existență, fără a le exploata (biodiversitatea, patrimoniu cultural).

¹ Convenția Ramsar este un tratat interguvernamental prin care se oferă cadrul național de acțiune și cadrul internațional de cooperare în vederea conservării și utilizării inteligente a zonelor umede și a resurselor acestora. (Ramsar Convention, 2014). Tratatul a fost adoptat în anul 1971, în orașul iranian Ramsar (care dă și denumirea Convenției).

În privința funcțiilor pe care zonele umede le asigură, se pot identifica de la caz la caz funcții dominante în raport cu tipul de zonă umedă, componentele zonei umede și interacțiunile acestora cu mediul înconjurător. Prin funcție a zonei umede se înțelege un proces pe care aceasta îl efectuează și care este măsurabil printr-o variabilă sau mai multe. Funcțiile principale pe care o zonă umedă le poate asigura sunt:

- **Controlul**
- **Protecția la furtuni**
- **Realimentarea straturilor acvifere²**
- **Reținerea sedimentelor și a poluanților**
- **Reținerea nutrienților**
- **Evaporația**
- **Conservarea**

4. DESCRIEREA ȘI CLASIFICAREA ZONELOR UMEDE

Pentru caracterizarea adecvată a comportării din punct de vedere hidrologic a zonelor umede, este necesar să fie definite trei variabile esențiale:

- nivelul apei;
- hidroperioada;
- timpul de retenție.

5. RECONSTRUCȚIA ECOLOGICĂ

Conform definiției date de SER³ (1996) „restaurarea ecologică este procesul de refacere și gestionare a integrității ecologice a unui ecosistem. Integritatea ecologică include biodiversitatea, procesele ecologice, structurile la nivel regional, contextul istoric și practicile culturale durabile”.

În proiectele privind reconstrucția ecologică a zonelor umede sunt necesare cunoștințe multidisciplinare cum sunt ingineria, biologia, geologia, chimia și altele. Determinarea condițiilor hidrogeomorfologice reprezintă obiectivul cheie, pe baza cărora se dezvoltă proiectul reconstrucției ecologice. În funcție de condițiile hidrogeomorfologice identificate se pot dezvolta alternativele privind reconstrucția ecologică, dintre care este aleasă cea considerată optimă conform unor criterii stabilite.

² acviferul este cel mai bine definit ca o unitate geologică saturată și permeabilă, care poate transmite cantități semnificative de apă sub gradienti hidraulici normali (Freeze & Cherry, 1979). Denumirea derivă din limba latină: aqua = apă ; ferre = a purta. Așadar, acviferele sunt formațiuni „purtoare” de apă.

³ SER reprezintă acronimul de la „Society for Ecological Restoration” = Societatea pentru Restaurare Ecologică

5.1. Procese asociate zonelor umede

Procesele fizice fundamentale prin care sunt controlate funcțiile zonelor umede sunt configurația geomorfologică, sursa de alimentare principală și hidrodinamica. Cunoașterea celor trei factori este esențială pentru înțelegerea comportamentului unei zonei umede.

Procesele chimice ce se produc în cadrul zonelor umede pot viza, de regulă, reacții de oxido-reducere, azotul, fosforul, fierul și manganul, sulful, carbonul și salinitatea.

Procesele biologice ce au loc în zonele umede sunt asociate activității microbiene, vegetației și animalelor. Aceste procese joacă un rol esențial în reglarea funcțiilor pe care zona umedă le asigură.

5.2. Proiectarea

5.3. Construcția

6. MODELAREA MATEMATICĂ A MIȘCĂRII APEI

6.1. Mișcarea apei subterane

6.1.1. Interacțiunea zonelor umede cu apele subterane

6.1.2. Legea lui Darcy

6.1.3. Ecuația de continuitate

6.1.4. Ecuația generală de mișcare

6.1.5. Condițiile la limită

6.1.6. Metode numerice pentru aproximarea soluțiilor

Metoda Diferențelor Finite

Metoda Elementului Finit

6.2. Mișcarea apei de suprafață

6.2.1. Interacțiunea zonelor umede cu apele de suprafață

6.2.2. Scurgerea la suprafață

6.2.3. Curgerea cu suprafață liberă în canale

6.2.4. Curgerea peste deversoare

6.2.5. Curgerea bidimensională la suprafața terenului

6.2.6. Curgerea în conducte sub presiune

7. BILANȚUL HIDROLOGIC AL ZONELOR UMEDE

În **Figura 1** sunt marcate componentele principale ale bilanțului hidrologic pentru o zonă umedă alături de notațiile utilizate și sensul (alimentare sau descărcare) schimburilor.

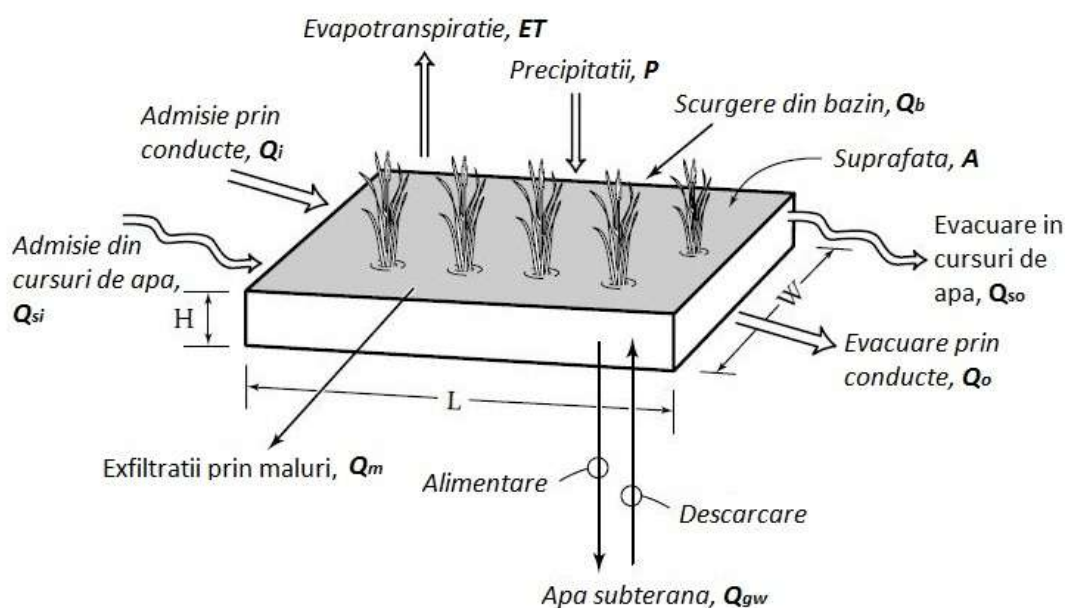


Figura 1. Componente ale bilanțului hidrologic pentru o zonă umedă (Kadlec & Wallace, 2009)

Conceptul se poate rezuma matematic, prin următoarea ecuație:

$$dQ = I - E = \frac{dV}{dt}$$

în care: dQ este diferența între debitul de intrare (I) și ieșire (E), dV este diferența volumului stocat în zona umedă, în perioada dt .

Explicitând în relația precedentă intrările și ieșirile se obține:

$$Q_i - Q_o + Q_c - Q_b - Q_{gw} + Q_{sm} + (P \cdot A) - (ET \cdot A) = \frac{dV}{dt}$$

în care:

- A = aria zonei umede [m^2];
- ET = evapotranspirația [m/zi];
- P = precipitații [m/zi];
- Q_b = debit exfiltrat prin maluri [m^3/zi];
- Q_c = debit din aportul bazinului [m^3/zi];
- Q_{gw} = infiltrații în/aport din apa subterană [m^3/zi];
- Q_i = debit influent din sistemul de canalizare [m^3/zi];
- Q_o = debit evacuat în sistemul de canalizare [m^3/zi];
- Q_{sm} = debit rezultat din topirea zăpezii [m^3/zi];
- t = timp [zile];
- V = volum de apă stocat în zona umedă [m^3].

Modificarea în timp a nivelului apei în zona umedă poate fi descrisă prin următoarea relație matematică:

$$dh = \frac{dV}{A} = \frac{dQ}{A} dt$$

în care:

- dh este modificarea nivelului apei;
- $dV = dQ \cdot dt$ este modificarea de volum în zona umedă;
- $dQ = I - E$ este diferența între debitul intrat și ieșit din zona umedă;
- dt este pasul de timp;
- A este aria de stocare corespunzătoare zonei umede, egală cu volumul corespunzător unei modificări a nivelului egală cu unitatea.

7.1. Schimburile cu atmosfera

Schimburile între zonele umede și atmosferă se produc în ambele sensuri. Din atmosferă către zona umedă prin precipitații sau pierderi din zona umedă în atmosferă prin evapotranspirație.

Precipitațiile pot lua două forme: lichidă (**ploaie**) și solidă (**zăpadă**). Mecanismul prin care se face alimentarea zonei umede în cele două cazuri este diferit. Aportul din ploaie are efecte aproape instantanee în comparație cu topirea zăpezii, cel din urmă fiind un proces lent care se desfășoară cel puțin pe parcursul a câtorva zile.

Evapotranspirația (ET) reprezintă însumarea a două procese naturale: evaporația – de la suprafața apei și a solului (E); transpirația (T) – de pe suprafața plantelor.

În vederea obținerii evapotranspirației reale (ET_r) de pe un bazin, se pornește de la calculul evapotranspirației potențiale (ET_p), considerând că există o disponibilitate de apă nelimitată. Ulterior, valoarea ET_p calculată inițial se ajustează în funcție de conținutul de apă

din sol. Pentru a calcula ET_p au fost dezvoltate mai multe relații, pe baza modelelor teoretice sau empirice (Karlsson & Pomade, 2013). În continuare, se vor enumera câteva dintre acestea fără a le dezvolta⁴:

- Ecuația **Penman** – rezultă din formula ce permite estimarea evaporației de la suprafața apei:

$$ET_p = \left(\frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) \cdot Q_{ET} + \left(\frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) \cdot Q_{ET} \quad [mm/zi]$$

- Formula **Thornthwaite** – se bazează în principal pe temperatură, aceasta fiind corectată cu numărul orelor din zi. Calculul ET_p se realizează pentru fiecare lună astfel:

$$ET_p = 16 \cdot N_m \left(\frac{10 \cdot \bar{T}_m}{I} \right)^a \quad [mm]$$

- Formula **Turc** – a fost dezvoltată pentru nevoile agronomiștilor, extinzând metoda empirică pentru calculul evapotranspirației actuale pentru a obține evaporația potențială pentru o perioadă scurtă de timp:

$$ET_p = \frac{P + a + 70}{\left[1 + \left(\frac{P+a}{L} + \frac{70}{2L} \right)^2 \right]^{0,5}} \quad [mm]$$

- Formula **Blaney-Criddle** – necesită doar temperaturile medii zilnice pentru fiecare lun (T) și raportul dintre orele de lumină din luna considerată și orele de lumină dintr-un an:

$$ET_p = p \cdot (0,46 T + 8) \quad [mm/zi]$$

Modelul SMD (Deficitul de umiditate al solului) reprezintă un model care a fost dezvoltat pentru a lua în considerare diferențele dintre ratele de drenaj pentru diferite tipuri de soluri.

$$SMD_t = SMD_{t-1} - P + ETR + D \quad [mm]$$

unde: SMD_t , SMD_{t-1} - reprezintă deficitul de umiditate în ziua t și ziua $t-1$ (mm);

P - cantitatea zilnică de precipitații (mm/zi);

ETR – evapotranspirația zilnică reală (mm/zi);

D – cantitatea de apă zilnică drenată și/sau prin scurgere de suprafață (mm/zi).

7.2. Schimburile cu apa subterană

7.3. Schimburile cu apa de suprafață

Schimburile dintre apa de suprafață și zonele umede (sau altfel spus, accesul apei în zona umedă și descărcarea apei) se pot produce ca urmare a:

- scurgerilor la suprafața terenului;
- curgerii în cursuri de apă/canale;

⁴ pentru informații suplimentare se recomandă consultarea bibliografiei (Karlsson & Pomade, 2013)

- curgerii peste deversoare;
- curgerii în conducte;
- orice combinație între variantele anterioare.

8. STUDIU DE CAZ (LACUL VĂCĂREȘTI)

8.1. Istoricul amplasamentului și situația actuală

Zona umedă Văcărești este situată în partea de sud a municipiului București care se reprezintă în prezent una dintre cele mai variate ecosisteme din zonele urbane ale României. Din punct de vedere hidrologic acesta face parte din albia majoră (zona inundabilă) a râului Dâmbovița (**Figura 2**), zona inundată frecvent înainte de a fi începute lucrările de regularizare (primele lucrări au fost demarate încă din secolul al XIX-lea.



Figura 2. Amplasamentul zonei umede Văcărești, respectiv harta municipiului București în zona studiată la anul 1831

În anii '80 a fost demarat un amplu proiect pentru realizarea unui sistem integrat de gospodărirea apelor la nivelul Bucureștiului. Acesta presupunea printre altele și construcția a două lacuri de acumulare, Lacul Morii (executat și funcțional) și **Lacul Văcărești (executat și nefuncțional)**, fiecare având un volum de peste 10 milioane m³ în scopul protejării urbei de inundații. **Lacul Văcărești este la acest moment o construcție hidrotehnică nefinalizată.**

Lucrările pentru construcția Lacului Văcărești au demarat în anul 1986 și au fost sistate după 1989. Acumularea este realizat din diguri de contur pe 3 din cele 4 laturi (cu excepția laturii Sudice care este delimitată de terenul natural datorită cotelor ridicate) având o suprafață totală care însumează aproximativ 163 ha (2,30 km lungime / 2,0 km lățime) și o înălțime medie de 10 m.

Pe 13 noiembrie 1989 Lacul Văcărești a fost umplut cu apă pompată din Dambovița și recepționat (deși lucrările ar fi continuat și după recepționare). Conducerea țării de la acele

vremuri a participat la inaugurarea construcției, inspectând-o mergând pe coronamentul digului paralel cu splaiul Unirii, de la șos. Mihai Bravu până la pod Vitan. Alimentarea lacului din Dâmbovița a fost o soluție de moment întrucât debitul mediu al Dâmboviței este insuficient și costurile energetice pentru pompare au fost foarte ridicate. Odată sistată alimentarea lacului, acesta s-a golit rapid în decursul a câtorva luni.

În proiectul inițial a fost prevăzută alimentarea Lacului Văcărești printr-o aducțiune din Lacul Mihăilești (r. Argeș) situat la 27 km de municipiul București. La nivelul anului 1990, aducțiunea era executată de la captare până la descărcarea în Lacul Văcărești (prin stație de pompare amplasată pe latura dinspre șos. Vitan-Bârzești), mai puțin 5 km localizați aproximativ la intrarea în București. Lucrările la acest canal au fost sistate și apoi abandonate în special din cauza lipsei fondurilor.

Din informațiile culese de la specialiști care au participat la faza de execuție a construcției, ecranul de etanșare este executat pe tot conturul. Galeria de drenaj este și ea executată pe tot conturul iar din stațiile de pompare au fost executate trei și echipate una care a și funcționat la momentul umplerii lacului. Sistemul de drenaj perimetral aferent lacului Văcărești trebuie să evacueze apele drenate prin pompare în râul Dambovița (vezi **Figura 3**).



Figura 3. Plan de situație Lac Văcărești: trasare ax dren

În prezent nu funcționează și nu a funcționat nicio stație de pompare deoarece nu au fost finalizate și cu atât mai puțin echipate. Drenul perimetral pe latura șos. Văcărești și probabil și cel paralel cu Splaiul Unirii descarcă în fostul descărcător de pe traseul vechi al colectorului A3 și apoi în caseta de ape uzate. Colectorul A3 nu mai folosește acest descărcător pentru că traseul lui a fost modificat odată cu execuția Lacului Văcărești. Pe latura cu șos. Vitan Bârzești drenul descarcă în stația de pompare din incinta “Autovit” și apoi gravitațional în râul Dambovița, aval de nodul hidrotehnic Sere. Tronsonul drenului de pe latura Vitan-Bârzești este colmatat în proporție de 80-90%. Pentru mai multe informații privind proiectul și ceea ce s-a executat din acesta trebuie consultată „Cartea Construcției” Lacului Văcărești.

Odată cu schimbarea regimului politic și a costurilor ridicate aferente investițiilor rămase, proiectul a fost abandonat, cu toate că lacul se afla într-o stare avansată de execuție, și prin urmare fără intervenție umană lacul Văcărești a fost recucerit de natura în decursul anilor

următori devenind o veritabilă zonă umedă și unul dintre cele mai mari parcuri naturale urbane din Europa.

8.2. Evaluarea componentelor bilanț hidrologic

8.2.1. Schimburile cu atmosfera

Schimburile cu atmosfera sunt în strânsă legătură cu o serie de factori naturali dintre care cei mai importanți sunt regimul pluviometric (cantitatea precipitațiilor) și temperatura (în scopul evaluării pierderilor de apă din zona umedă în atmosferă prin evapotranspirație).

Precipitații

Pentru municipiul București, cantitatea medie multianuală a precipitațiilor este considerată ca fiind cca. 620 mm/an, dar pentru o mai bună estimare a bilanțului hidrologic s-au utilizat cantități medii zilnice de precipitații între anii 2005–2015 înregistrate la stația meteorologică Filaret.

Tabel 1. Cantități medii și maxime lunare ale precipitațiilor (mm) în București, înregistrate la stația meteorologică Filaret (*Administrația Națională de Meteorologie, 2013*)

Luna	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Media multianuală	30.2	33.7	38.3	44.3	68.6	82.3	60	51.6	43.2	43.3	46.2	42.9
Maxima absolută	132.3	121.1	127.9	159.2	259.7	259.5	212	182.9	316.5	143.3	206.6	184.6

În **Figura 4** sunt prezentate valorile lunare medii și maxime privind cantitățile de precipitații, înregistrate la stația meteorologică Filaret. (Huff, 1990)

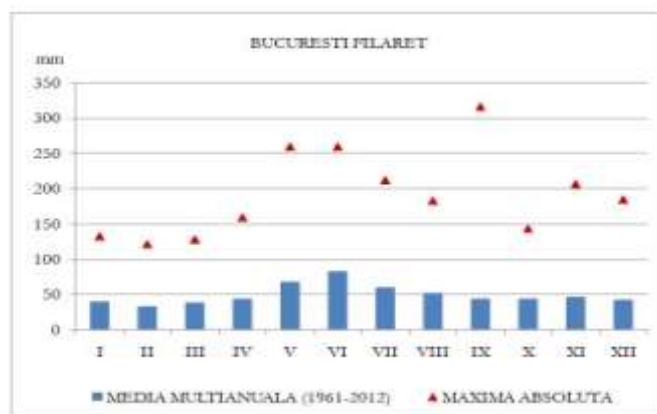


Figura 4. Cantități medii și maxime lunare ale precipitațiilor lichide în București, înregistrate la stația meteorologică Filaret (*Administrația Națională de Meteorologie, 2013*)

Evapotranspirație

“Evapotranspirația depinde de umiditatea solului și de condițiile termoenenergetice în regiunile montane. Evapotranspirația are valori mai reduse decât evaporația potențială deoarece, în timpul anului solul nu este în permanent suprasaturat cu apă” (I.Ujvari, 1972).

Pentru a evalua într-un mod cât mai detaliat evapotranspirația din Lacul Văcărești, sunt necesare măsurători suplimentare (prin instalarea unui evaporimetru), zilnice, întrucât astfel de informații nu sunt disponibile la momentul curent. Totodată, trebuie monitorizată zilnic umiditatea solului, pe parcursul unui an.

În vederea obținerii variației zilnice a evapotranspirației reale (ETR) pe durata unui an, care prezintă valori mai scăzute decât evapotranspirația potențială (ETP) datorită faptului că în decursul anului solul nu este saturat permanent, s-a utilizat *Modelul de umiditate al solului*. Acesta are în componență deficitul de umiditate al solului (SMD), cantitatea de precipitații zilnice măsurate (P), capacitatea de drenaj (D) și evapotranspirația potențială lunară (ETP).

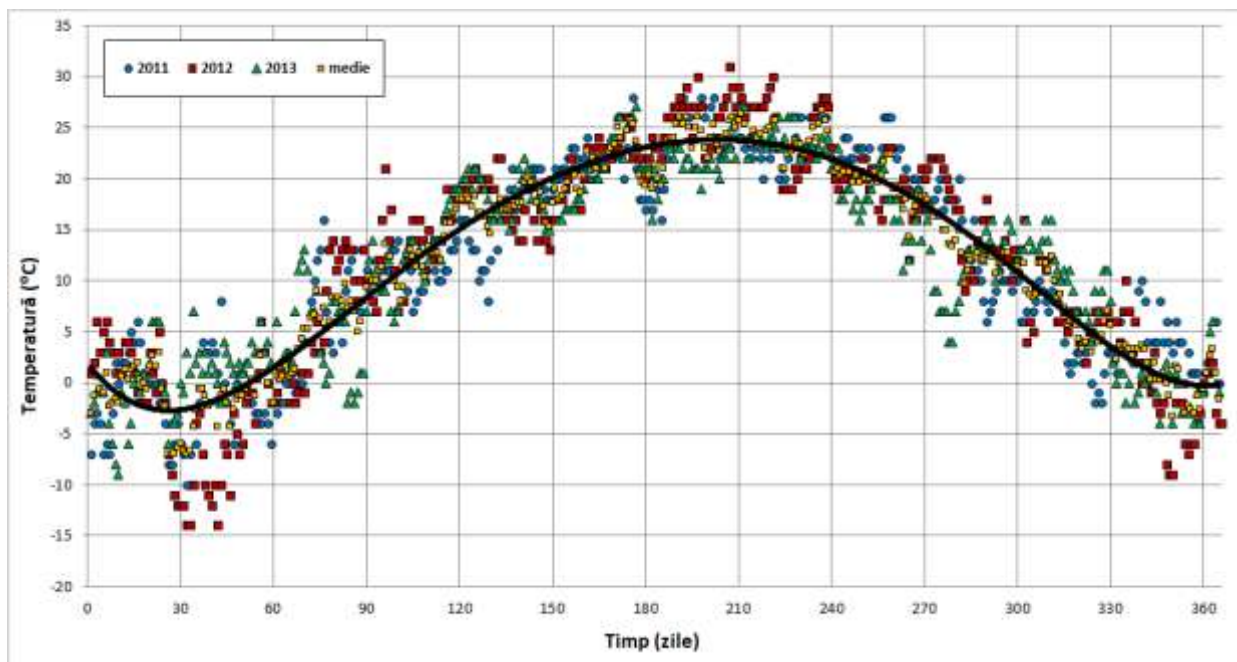


Figura 5. Temperaturi medii zilnice 2011-2013

Conform datelor estimate a rezultat o valoare a evapotranspirației potențiale (ETP) de 505 mm/an utilizând formula Blaney-Criddle și 515 mm/an utilizând formula Thornthwaite. După cum se poate observa valorile anuale ale ETP sunt relativ apropiate cu diferențe în variația lunară (Figura 6).

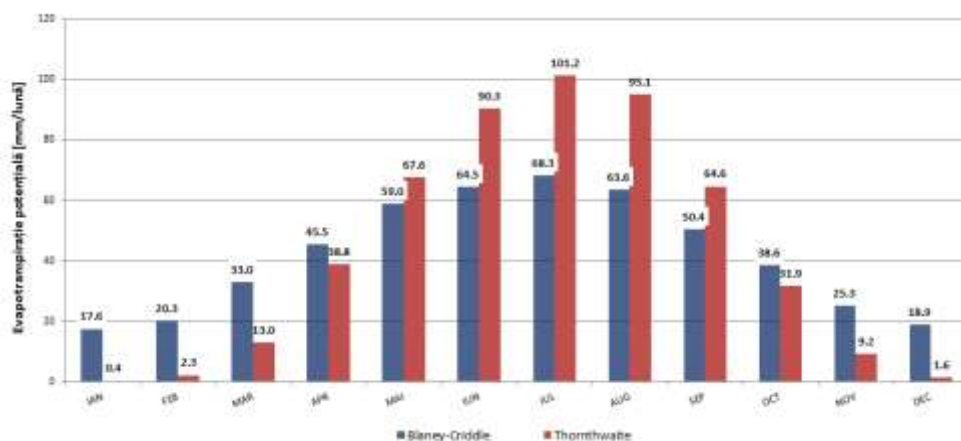


Figura 6. Evapotranspirația potențială lunară utilizând formula Blaney-Criddle și Thornthwaite

Determinarea evapotranspirației reale zilnice folosind modelul SMD a avut la bază măsurătorile de precipitații din perioada 2005-2015, primii 2 ani fiind utilizați pentru calibrarea modelului, mai precis a conținutului de umiditate din sol și regimul de drenaj care influențează bilanțul hidrologic zilnic.

Evapotranspirația reală este dificil de evaluat și poate fi determinată cu precizie din măsurători de teren (evaporimetru). Având în vedere perioada lungă de analiză și pasul mic de timp SMD la timpul curent (t) va fi evaluat pe baza ETR la pasul de timp anterior ($t-1$). Cantitatea mare de date care trebuie procesate, măsurători zilnice timp de 10 ani, a impus crearea unui algoritmul pentru a facilita calculul propriu-zis. Algoritmul se bazează pe modelul SMD care evaluează deficitul de umiditate din sol în funcție de cantitatea zilnică de precipitații, schimburile cu apa subterană și de ETR la un pas anterior ($t-1$). Ulterior, ETR la pasul t este calculată în funcție de dependența PE și SMD, care este aplicată împreună cu restul proceselor hidrologice care participă la bilanțul de apă pentru a determina variațiile de volum.

Graficele din **Figura 7** evidențiază variația lunară a evapotranspirației potențiale și reale, ETP fiind determinat prin cele două formule de calcul. După cum se poate observa evapotranspirația reală este dependentă de temperatura, utilizată pentru determinarea ETP, și conținutul de umiditate din sol care se află în strânsă legătură cu cantitatea de precipitații și aportul din apa subterană.

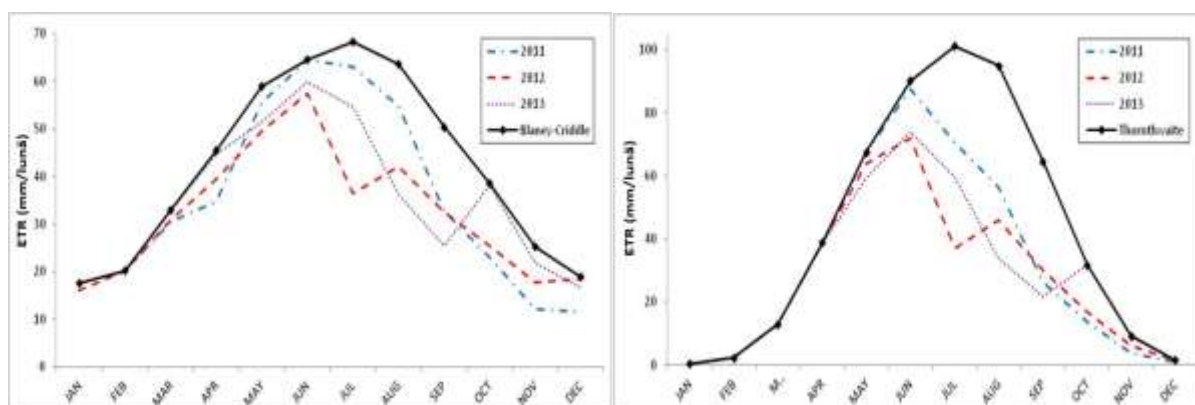


Figura 7. Evapotranspirația reală lunară pentru zona umedă Văcărești bazată pe modelul SMD

8.2.2. Schimburile cu apa subterană

În **Figura 8** sunt prezentate structurile geologice ce alcătuiesc în principiu mediul subteran în zona municipiului București și în particular în zona Lacului Văcărești.

Plecând de la nivelul terenului se remarcă o succesiune de strate permeabile și strate foarte puțin permeabile. Stratele permeabile (acvifere) sunt (pornind de la partea superioară către cea inferioară):

- Formațiunea de tip Colentina;
- Formațiunea de tip Mostiște;
- Strate Frățești A;
- Strate Frățești B.



Figura 8. Structurile geologice în zona Lacului Văcărești
(Centrul de Cercetare Ingineria Apelor Subterane, 2013)

Pentru subiectul lucrării de față se consideră că primele două straturi sunt importante. Acviferele de adâncime de tip Frățești nu sunt relevante. În urma studiilor efectuate de Centrul de Cercetare Ingineria Apelor Subterane (CCIAS – Platforma de gestiune a apei subterane din mediul sedimentar în zone urbane) s-a arătat că nivelul piezometric în acviferul Colentina este aproximativ același cu cel din acviferul Mostiștea. Cele două strate se află chiar în conexiune directă pe alocuri (lipsesc depozitele intermediare) și, în plus, există căi preferențiale de infiltrații în lungul numărului foarte mare de foraje ce le străpung acolo unde sunt separate de către depozitele intermediare.

Pentru a evidenția legătura dintre apa subterană și Lacul Văcărești, nivelul piezometric în cele două strate acvifere (Colentina și Mostiștea) se consideră identic. În **Figura 9** sunt prezentate secțiunile geologice caracteristice ale zonei de studiu și este marcat nivelul piezometric.

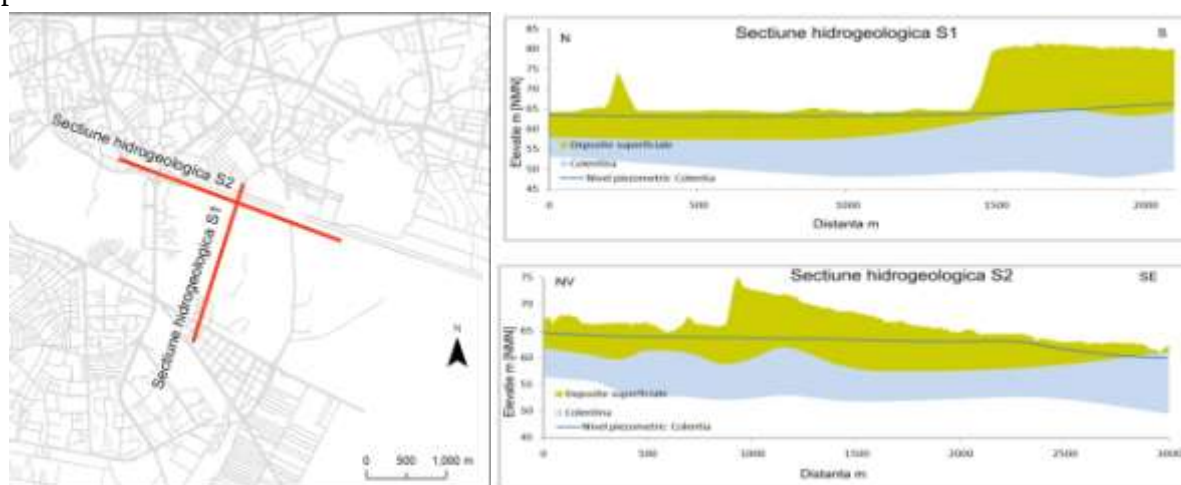


Figura 9. Secțiuni hidrogeologice în zona Lacului Văcărești
(Centrul de Cercetare Ingineria Apelor Subterane, 2013)

Se constată că nivelul piezometric este foarte apropiat de cota terenului (diferențe mai mici de 0,5 m) și pe alocuri este chiar egal cu suprafața terenului. Acest fenomen indică alimentarea zonei umede din apa subterană. Cele mai mici diferențe (cotă teren – nivel piezometric) se realizează la piciorul terasei, locație în care este convenabil să se capteze apa subterană fie printr-un dren de interceptie, fie printr-un canal deschis, în cazul în care un astfel de obiectiv va fi impus.

Pe modelul hidrogeologic realizat de CCIAS pentru municipiul București s-a simulat în regim permanent situația curentă în ceea ce privește mișcarea apei subterane în zona de interes. Aceasta este descrisă prin nivel impus al apei egal cu cota terenului în elementele ce definesc suprafața Lacului Văcărești (HIMPUS = 63,75 mMN). Rezultatele obținute sunt prezentate sub forma spectrului de curgere în **Figura 10**.

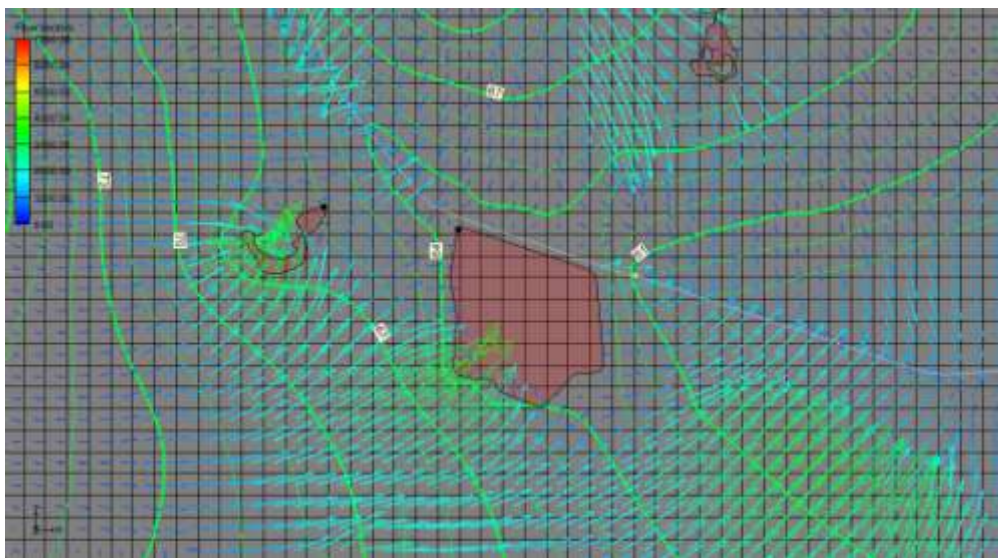


Figura 10. Spectrul de curgere în zona Lacului Văcărești în varianta 1 (situația curentă)
(sursă: Centrul de Cercetare Ingineria Apelor Subterane, 2013)

În vederea unei înțelegeri mai bune a mecanismelor de transfer și a evaluării mai precise a schimburilor cu apele subterane (în special variabilitatea în decursul unui an), se va monitoriza nivelul apei în forajele existente localizate în proximitatea lacului cu o frecvență de minim 1 dată pe lună. În același timp, se vor efectua teste experimentale în teren în vederea determinării coeficientului de conductivitate hidraulică pe verticală pentru depozitele superficiale (teste Hooghoudt). Scopul acestui demers îl reprezintă evaluarea corectă a ratei infiltrațiilor din lac în subteran.

Pe de altă parte se intenționează (în funcție de datele ce vor fi disponibile și de posibilitatea de a verifica în teren execuția unor lucrări) realizarea unui model local de curgere subterană în care să fie inclus drenul perimetral în starea curentă pe care o prezintă. Modelul local este util pentru a evalua efectele pe care le-ar putea produce reabilitarea drenului perimetral.

Se constată că schimburile există în ambele sensuri: atât dinspre acviferul Colentina către Lacul Văcărești - în zona de sud și vest a acestuia; cât și dinspre albia lacului către acviferul Colentina - pe latura de nord și de est a lacului. De asemenea, se remarcă intensitatea diferită a curentului de infiltrație, urmărind mărimea și culoarea vectorilor din figuri.

În calculul bilanțului se vor folosi următoarele condiții pentru interacțiunea apei de suprafață cu mediul subteran:

- Conform datelor colectate din proiectul inițial toată suprafața lacului a fost placată cu un strat de argilă pentru a diminua schimburile cu apa subterană (strat slab drenant 0.5mm/zi);
- Din măsurătorile de teren realizate prin teste Hooghoudt (**Figura 11**), sub stratul de argilă, se află un strat cu permeabilitate ridicată având fiind caracterizat de conductivitatea hidraulică în valoare de 0,012 cm/s, cca. 10 m/zi.

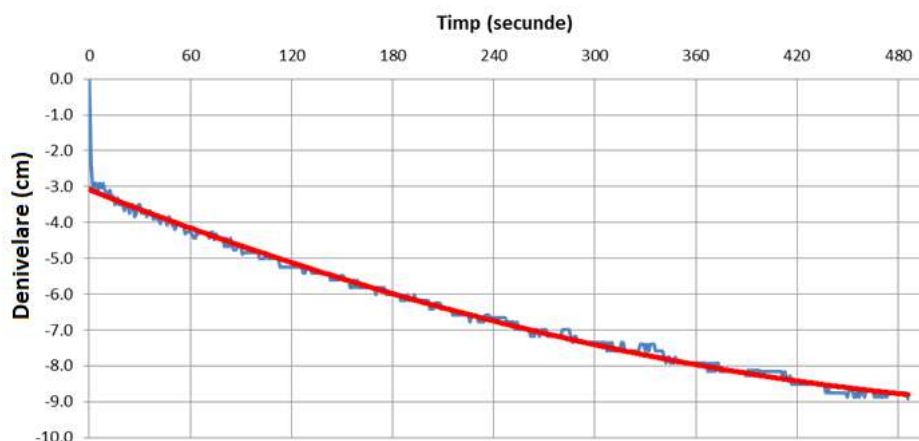


Figura 11. Măsurători din teren realizate utilizând teste Hooghoudt pentru determinarea conductivității hidraulice a stratului permeabil din zona de interes

8.3. Determinarea bilanțului hidrologic actual

În **Figura 12** este prezentat modelul digital al terenului (MDT cu dimensiunea celulelor de 2x2m) alături de curba de capacitatea a lacului (volumul lacului raportat la cotele terenului). Datorită faptului ca MDT a fost realizat în momentul în care erau prezente acumulări de apă în cuveta lacului, au fost utilizate imagini satelitare din anul 2000 până în prezent pentru determinarea volumului de apă asociat zonelor depresionare. Practic, pentru fiecare an, ținând cont de disponibilitatea imaginilor satelitare, a fost determinată suprafața lacului de apă, atât în sezonul rece cât și în cel cald, pentru un calcul precis al variației de volum.

Calibrarea algoritmului s-a realizat prin adoptarea următoarelor scenarii dependente de apa subterană, fiind singurul parametru care poate produce fluctuații semnificative în volumul înmagazinat.

În consecință primul scenariu are la bază următoarele procese hidrologice: precipitații zilnice măsurate, evapotranspirație reală determinată pe modelul SMD și o rată constantă de drenaj de 0,5 mm/zi (strat uniform de argilă fără defecte conform condițiilor de proiectare). În această situație, intrările, cantitatea anuală de precipitații, depășesc ieșirile, evapotranspirația reală și drenajul menționat anterior, rezultând o creștere anuală în stocul de apă. În concluzie, ipotezele făcute în primul scenariu nu confirmă observațiile din teren, conducând la ideea că stratul impermeabil prezintă zone de contact / fisuri.

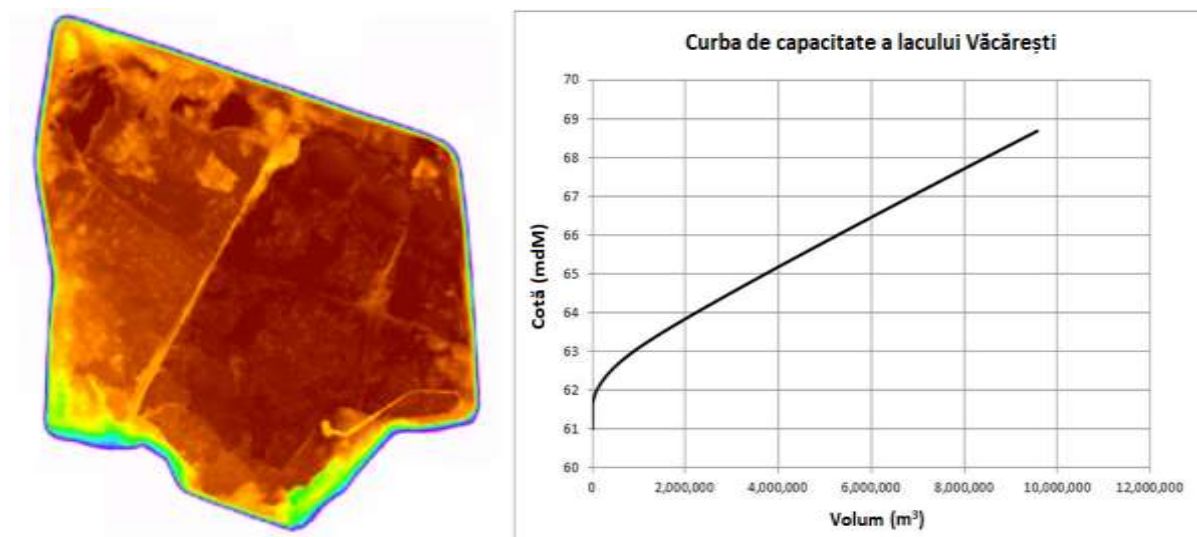


Figura 12. Modelul Digital al Terenului și curba de capacitate a lacului Văcărești

Cel de-al doilea scenariu a fost construit pe baza rezultatelor din modelul hidrogeologic realizat de CCIAS și o suprafață minimă de contact între apa de suprafață și apa subterană. După aplicarea acestor ipoteze pe algoritmul de calcul s-a observat că volumul și variațiile de apă confirmă legătura dintre cele două zone și valorile estimate pentru evapotranspirația reală (**Error! Reference source not found. / Figura 13**).

Tabel 2. Bilanțul hidrologic zona umedă Văcărești 2009-2015

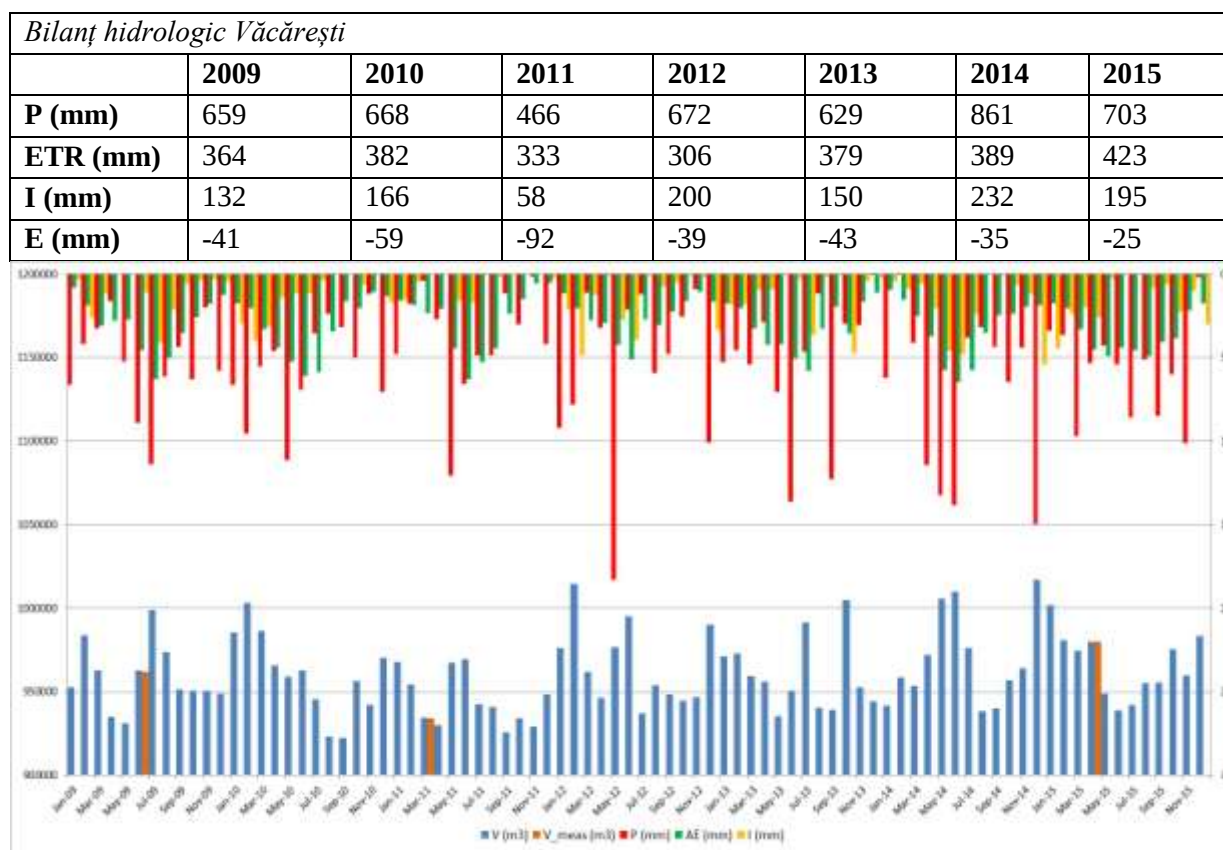


Figura 13. Bilanțul hidrologic pentru zona umedă Văcărești între anii 2009-2015

8.4. Evaluarea bilanțului de apă în contextul amenințărilor viitoare

În contextul amenințărilor viitoare, care pot afecta serviciile pe care le oferă zona umedă, și protecția ecosistemului existent, pe baza algoritmului creat, s-au realizat două scenarii pentru evaluarea variațiilor viitoare ale volumului înmagazinat pentru amenajarea Văcărești.

Primul scenariu constă în creșterea temperaturii cu $+1,5^{\circ}\text{C}$ datorită schimbărilor climatice și, de asemenea, datorită efectului de insulă termică care este prezent în zonele urbane (*Bojariu și colaboratorii 2015*). Această modificare a temperaturii va afecta evapotranspirația potențială și în consecință va conduce la un consum mai rapid al apei din sol.

O altă preocupare majoră o reprezintă fenomenul de construcții din zona adiacentă care s-a intensificat în ultimii ani și care poate avea un impact semnificativ asupra magnitudinii debitului apei subterane, reducând astfel alimentarea zonei umede din subteran. Acest scenariu va presupune o reducere de 20% a aportului de apă din subteran.

Perioada de control utilizată a fost caracterizată de anii 2016 și 2017, unde cantitățile medii zilnice de precipitații sunt cunoscute din înregistrările efectuate la stația meteorologică Filaret. Compararea se va realiza pe această perioadă prin evaluarea situației actuale și situației propuse în scenariile menționate.

În **Figura 14** se poate observa creșterea ETP conform celor două formule de calcul: o creștere de 4% (de la 505 mm/an la 526 mm/an) utilizând Blaney-Criddle și o creștere de 12% (515 mm/an la 579 mm/an) utilizând formula Thornthwaite.

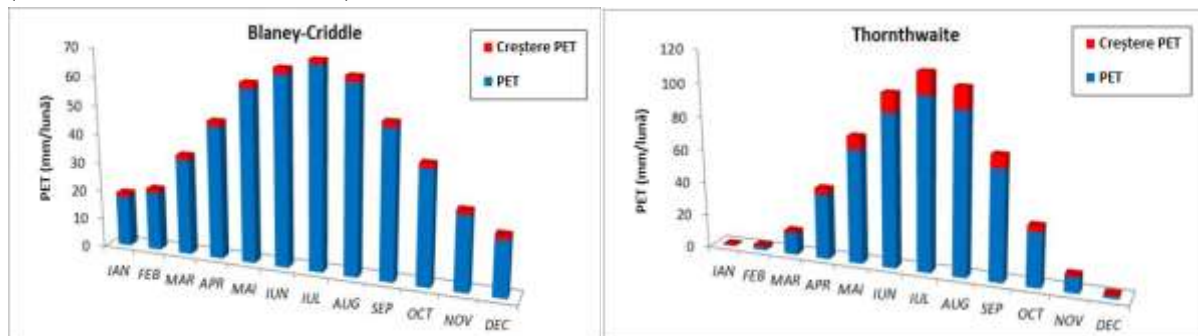


Figura 14. Modificări ale ETP pentru o creștere a temperaturii medii lunare de $1,5^{\circ}\text{C}$

Primul scenariu va produce prin creșterea evapotranspirației reale și o pierdere în atmosferă a unui volum de aprox. $27\,000\text{ m}^3$ în perioada de calcul; $10\,500$ în 2016, respectiv $16\,500$ în 2017 (**Figura 15**). Calculele evidențiază că o creștere de temperatură va contribui la o pierdere semnificativă în stocul de apă din zona umedă. Schimbările climatice prin perioade prelungite de secetă vor amplifica efectele acestui scenariu și pot conduce la dispariția acumulărilor existente.

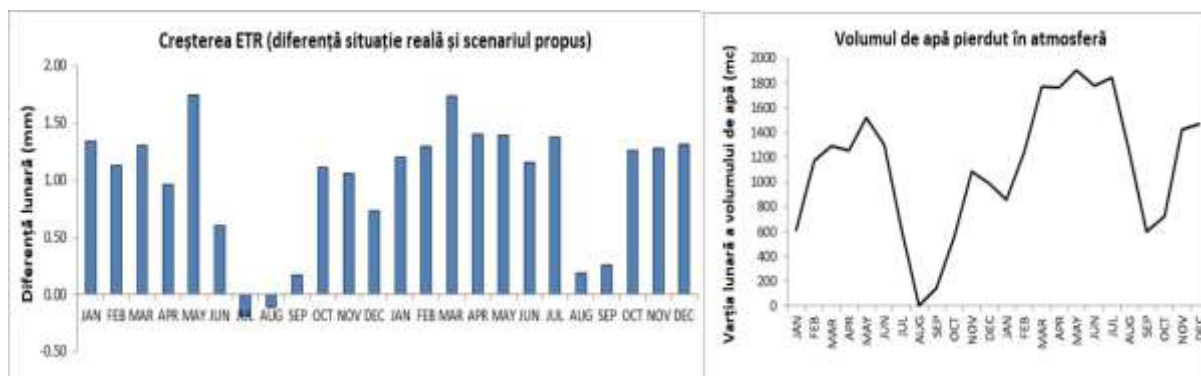


Figura 15. ETR și volumul de apă pierdut prin creșterea temperaturii cu 1,5°C

În cel de-al doilea scenariu, se pot observa schimbări majore în volumul de apă înmagazinat. Reducerea apei subterane cu 20% va conduce la o scădere de aprox. 300 000 m³ de apă în zona umedă. În **Figura 16** se poate observa că reducerea schimbului de apă are loc în timpul perioadei calde (de creștere a vegetației), unde sunt înregistrate temperaturi ridicate, care poate pune în pericol ecosistemul existent.

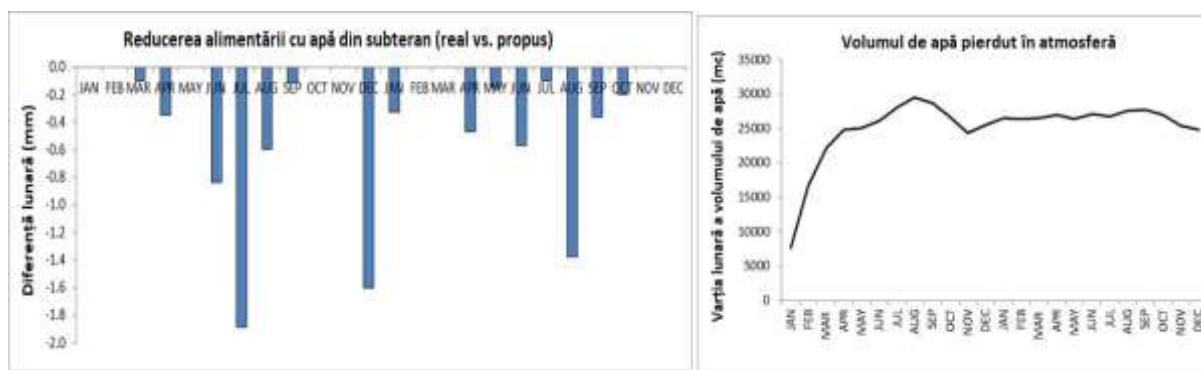


Figura 16. Exfiltrații și reducerea lunară a volumului de apă provenit din subteran

După cum se poate observa suprapunerea efectelor considerate în scenariile cu schimbări în regimul de precipitații (intensitate / durată / perioade extinse de secetă) va produce dispariția treptată a acumulărilor din zona umedă.

8.5. Soluții pentru alimentarea zonelor umede

8.5.1. Interacțiunea cu sistemul de canalizare

Lacul Văcărești este traversat aproximativ de la sud la nord de o fostă stradă (dezafectată acum – **Figura 17** și **Figura 18**[Error! Reference source not found.](#), vizibilă și pe MDT) sub care este situat vechiul colector A3 (inspecțiile efectuate în teren au arătat că este intact). Traseul colectorului A3 a fost schimbat odată cu proiectul de realizare a Lacului Văcărești, fostul colector fiind întrerupt atât pe latura de sud a lacului cât și pe cea de nord la momentul punerii în operă a ecranului de etanșare al digului.



Figura 17. Traseul vechiului colector A3 în albia Lacului Văcărești – vedere de sus (swww.google.ro/maps)

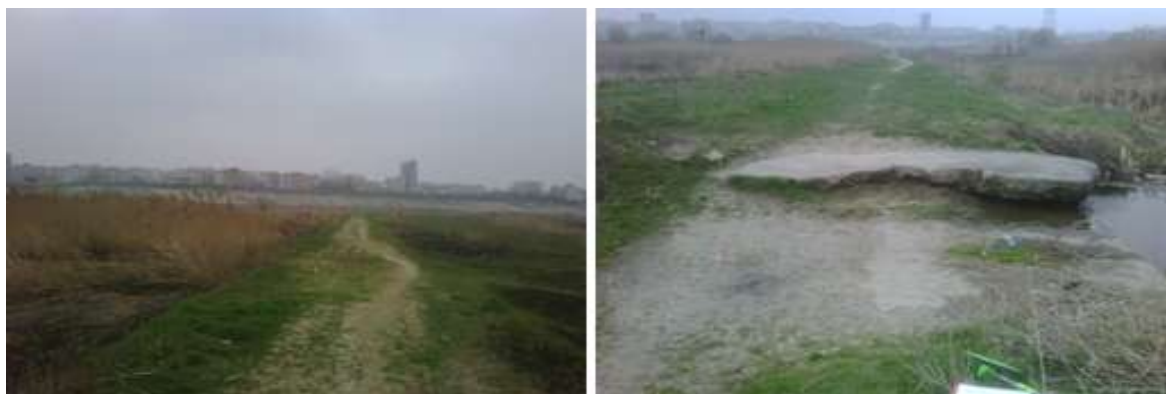


Figura 18. Traseul vechiului colector A3 în albia Lacului Văcărești – fotografii din teren

Colectorul principal A3 ($D_n = 350$ cm) se întinde din prelungirea Ghencea la vest către Nodul Hidrotehnic Popești în est, deservind un bazin de aproximativ 4 700 ha în sudul sectoarelor 4 și 5, inclusiv platformele industriale și comerciale Berceni, Jilava și Popești Leordeni (**Figura 19**).

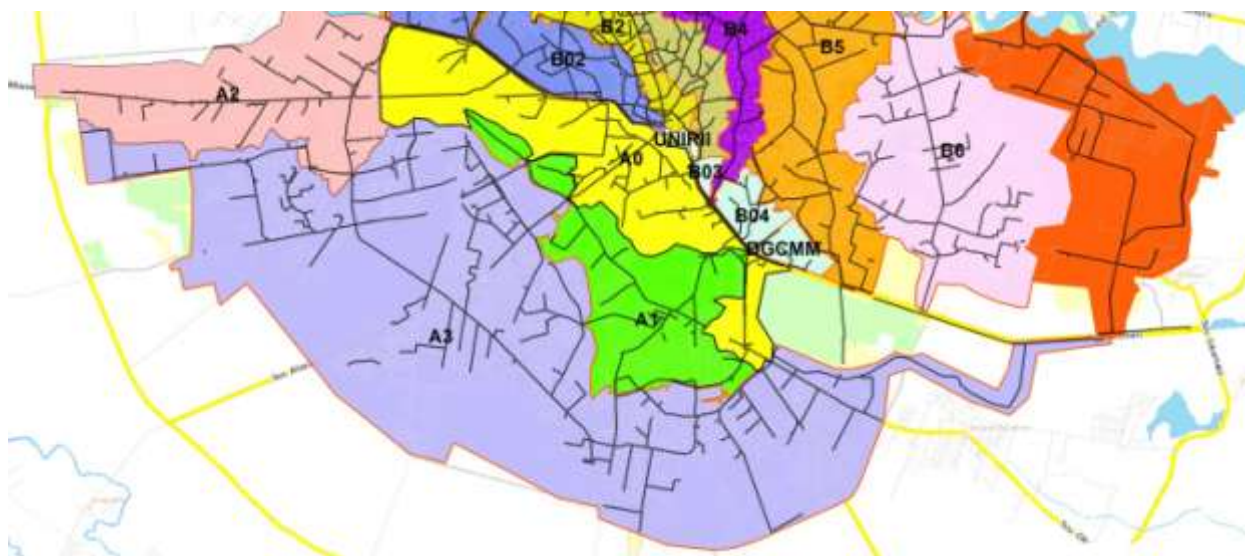


Figura 19. Bazinele marilor colectoare la sud de albia amenajată a Dâmboviței

Traseul colectorului A3 a fost deviat în capătul străzii Lunca Bârzești (în **Figura 20** este prezentat traseul colectorului la momentul curent), acolo unde există o cameră de racord de mari dimensiuni (aprox. $h \times L \times l = 6 \times 10 \times 5$ m). În prezent, colectorul își modifică traseul în cameră (cot la 90°) și își schimbă panta în sensul creșterii acesteia către aval. Din exploatare s-a remarcat faptul că, în regim uscat, nivelul apei este de cca. 80 cm amonte de cameră, în timp ce în aval de cameră nivelul apei este de cca. 30 cm. Acest inconvenient generează o serie de probleme în amonte pe tot traseul colectorului A3 cât și pe colectoarele secundare, la precipitații intense intrând în presiune și uneori apa ieșind pe străzi, producând inundații în proximitatea cartierelor Prelungirea Ferentari – Progresului – Metalurgiei – Cheile Turzii.

Pe timp uscat, debitul (debit sec) maxim pe colectorul A3 este de cca. $2 \text{ m}^3/\text{s}$. La evenimente pluviale extreme acesta poate atinge valori chiar și peste $30 \text{ m}^3/\text{s}$ (în **Figura 21** sunt prezentate înregistrările debitului din luna octombrie 2013 la punctul de descărcare în Casetă de ape uzate).

Debitul corespunzător unui raport de diluție 1:5 rezultă că are valoarea de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. Prin urmare, un eventual deversor de ape mari va trebui să asigure descărcarea la valori ale debitului mai mari de $12 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 20. Traseul colectorului A3 în proximitatea Lacului Văcărești – vedere în plan

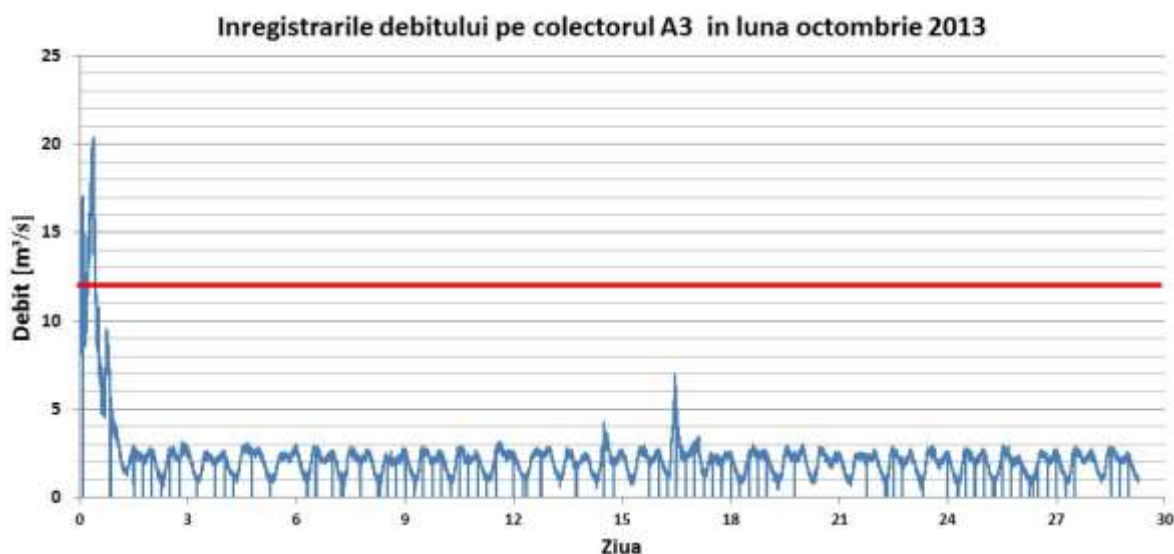


Figura 21. Debitul pe colectorul A3 în luna octombrie 2013, amonte de secțiunea de evacuare (Apa Nova București)

În urma simulărilor realizate pe modelul de canalizare scheletizat al Bucureștiului (conținând numai colectoare – **Figura 22**, detaliu în zona de studiu – **Figura 23**) s-a urmărit punerea în evidență a zonelor sensibile, în care pot apărea inundații prin intrarea în presiune a colectorului A3, precum și efectele pozitive/ îmbunătățirile pe care le aduce realizarea unui deversor de ape mari către Lacul Văcărești. A fost simulat comportamentul sistemului atât pentru ploi de calcul cu frecvențe de 1:5 , 1:10 cât și pentru 2 din cele 3 ploi istorice din ultimii 10 ani (fără ploaia din 30.09-1.10.2013 utilizată pentru calibrare). Rezultatele obținute în toate aceste simulări se pot urmări în continuare (**Error! Reference source not found.** – **Error! Reference source not found.**Error! Reference source not found.).

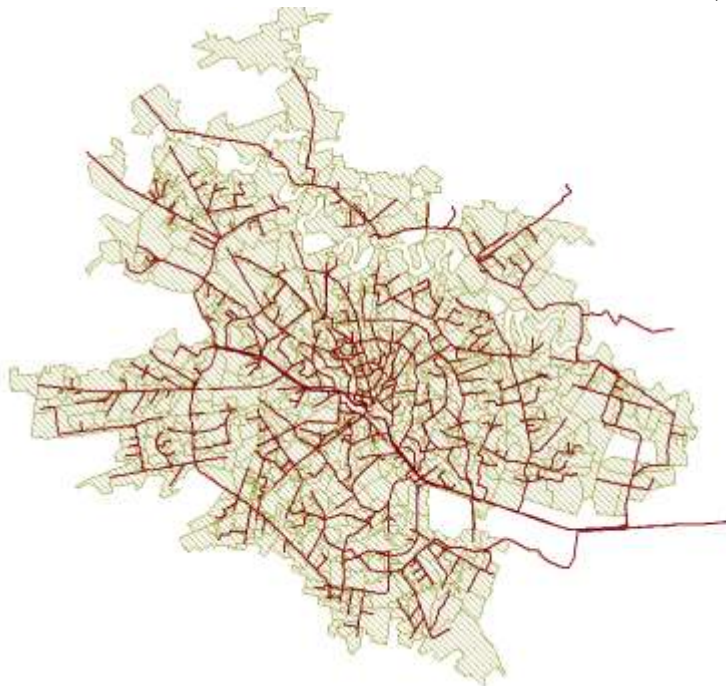


Figura 22. Modelul scheletizat al rețelei de canalizare a Bucureștiului
(sursă: *Apa Nova București*)

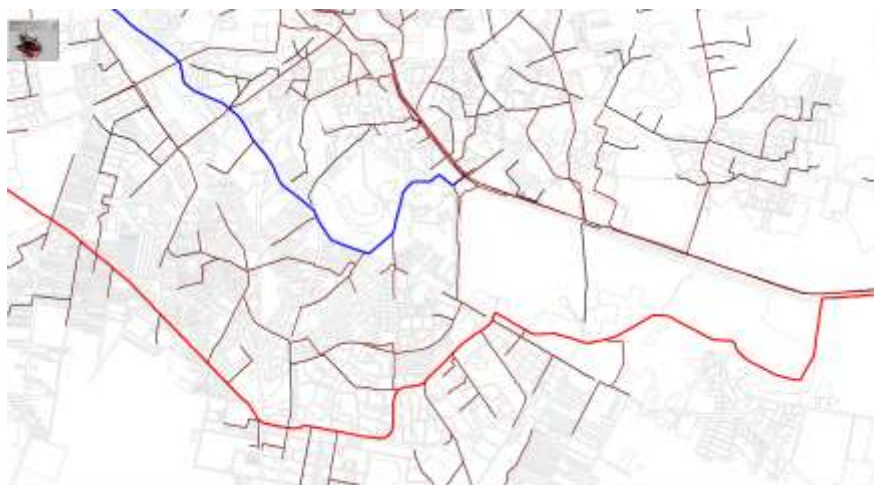


Figura 23. Modelul scheletizat al rețelei de canalizare a Bucureștiului. Detaliu în zona de studiu (sursă: *Apa Nova București*)

Se constată că în configurația actuală a sistemului, la ploile de calcul simulate, apar probleme majore (nivelul piezometric depășește cota terenului și se produc

inundații) pe colectorul A3 atât în partea aval a acestuia cât și în zona amonte. De asemenea, s-au remarcat probleme și pe majoritatea colectoarelor secundare cu descărcare în colectorul A3.

La ploile istorice sistemul este încărcat însă pe traseul colectorului nu există risc de a se produce inundații. În schimb s-au remarcat o serie de probleme pe colectoarele secundare întrucât nivelul piezometric ridicat din colectorul A3 nu permite descărcarea adecvată a acestora.

Se amintește faptul că ploile istorice analizate au produs inundații în București iar acest aspect nu este surprins în simulările efectuate. Este absolut normal întrucât au fost aduse o serie de îmbunătățiri sistemului precum curățarea colectoarelor principale, realizarea unor descărcări nefinalizate, eliminarea blocajelor majore din colectorul principal – Casetă – iar geometria modelului este corespunzătoare momentului curent (nu reflectă situația întâlnită la momentul producerii evenimentelor respective). Se poate afirma că dacă fenomenele istorice analizate s-ar repeta efectele negative ar fi mult mai reduse (aproape inexistente) sau dacă ar exista probleme, cauza nu ar fi incapacitatea sistemului de a tranzita ploile pentru care a fost proiectat.

În etapa a II-a a fost necesară determinarea cotei corespunzătoare a crestei deversorului din colectorul A3 în Lacul Văcărești, respectând condiția ca descărcarea să se producă după depășirea debitului de diluție impus prin reglementările în vigoare ($Q_{\text{start dev}} = 12 \text{ m}^3/\text{s}$). S-a identificat că adâncimea apei corespunzătoare debitului de $12 \text{ m}^3/\text{s}$ este cca. 2,15 m (amonte de cot). Prin urmare **cota crestei deversorului este poziționată la 68,60 mMN**. Cota albiei lacului la punctul de descărcare este 63,66 mMN, **diferență de nivel ce permite evacuarea gravitațională a apei către lac** (este necesară doar o reținere a plutitorilor printr-o serie de grătare rare și dese echipate cu sistem de automat de curățare).

În model a fost introdus deversorul de ape mari imediat amonte de cotul la 90° din dreptul străzii Lunca Bârzești, având cota crestei la 68,60 mMN (s-a urmărit interceptarea frontală a curentului pentru a permite o descărcare mai bună). Se anticipează o îmbunătățire substanțială a sistemului de evacuare a apei pluviale din colectorul A3, urmărindu-se reducerea nivelului piezometric pe colectorul principal până la limita de intrare în presiune a acestuia. Acest obiectiv va permite „afluenților” (colectoarelor secundare) să descarce în mod adecvat, evitând apariția fenomenului de remuu pe ele și posibile inundații în zonele adiacente. De asemenea, reținerea vârfului de viitură de pe colectorul A3 va aduce o îmbunătățire majoră întregului sistem prin menținerea nivelului apei în Casetă la valori mai reduse.

Comparând rezultatele pentru fiecare variantă analizată (între situația curentă și varianta cu deversor de ape mari în lacul Văcărești) se constată o îmbunătățire substanțială a condițiilor de evacuare la evenimente pluviale deosebite (poate fi remrcată și din **Tabel 3** prin compararea debitelor maxime vehiculate pe colectorul A3 amonte de punctul de descărcare în lac propus). Nivelul piezometric scade mult în aval de descărcare, fiind astfel posibilă ieșirea colectorului de sub presiune, în timp ce în amonte nivelul piezometric are scăderi semnificative pe cca. 2000 m de la descărcare în lac. Pe restul traseului (cca. 4000 m) se manifestă reduceri ale nivelului piezometric însă fără a ieși de sub presiune (capacitatea de transport este insuficientă pentru suprafața deservită la acest moment; la momentul proiectării s-a considerat o suprafață mult mai redusă). S-a constatat o îmbunătățire semnificativă și pe

colectoarele secundare, în special pe cele care debușează în A3 în proximitatea deversorului propus către Lacul Văcărești.

Tabel 3. Creșterea capacității maxime de evacuare a colectorului A3 prin compararea situației curente cu varianta propusă

Eveniment pluvial	Debit maxim [m ³ /s]		Creștere capacitate maximă de transport
	Situația curentă	Varianta cu deversor în lac	
1:5	30,96	38,00	23%
1:10	33,90	43,30	28%
19-21.09.2005	27,12	31,53	16%
30.06-1.07.2013	27,88	33,09	19%

În plus, conform Masterplanului pentru zona metropolitană București se dorește realizarea unor canale interceptoare între colectorul A2 și A3 precum și între colectorul A1 și A3. Scopul acestora este acela de a deriva curgerea la ape mari către zona limitrofă a urbei (respectând în acest mod **principiul de a nu aduce apă în zona centrală ci de a o tranzita prin zonele limitrofe pe cât posibil**). În urma acestor demersuri se vor accentua solicitările asupra colectorului A3, în special în proximitatea lacului Văcărești.

Pentru a cuantifica aportul de apă anual din colectorul A3 în Lacul Văcărești se va considera că aportul de debit adus de A3 în secțiunea nodului hidrotehnic Popești (secțiunea considerată de închidere a bazinului sistemului de canalizare) reprezintă cca. 30% din debitul total influent în secțiunea Popești. Această abordare este necesară întrucât sunt necesare înregistrări continue pentru cel puțin un an de zile.

Prin simulări succesive s-a determinat relația între debitul total tranzitat pe colectorul A3 amonte de descărcarea propusă către lac și debitul deversat calculat prin model. Astfel, s-a obținut corelația din **Figura 24**.

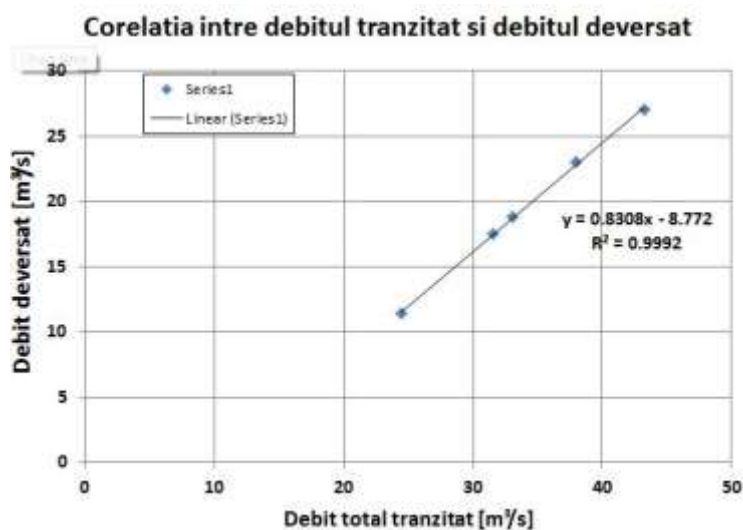


Figura 24. Corelația între debitul total tranzitat pe A3 și debitul deversat în lac Văcărești

Observând o bună corelație liniară între cele două variabile ($R^2 \rightarrow 1$) se poate adopta ecuația pentru toate valorile ale debitului mai mari de $12 \text{ m}^3/\text{s}$. În acest mod a fost obținută relația liniară între cele două variabile, prezentată în **Figura 25**.

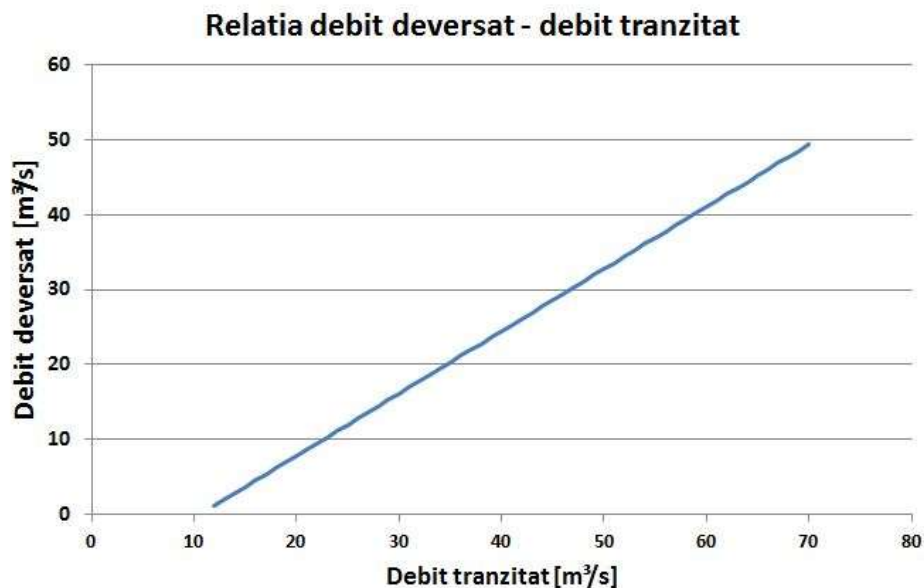


Figura 25. Relația adoptată $Q_{\text{TRANZITAT}} - Q_{\text{DEVERSAT}}$

Aplicând raționamentul descris pentru înregistrările debitului din secțiunea NH Popești pe anul 2013, se obține hidrograful din **Figura 26**. Se observă un număr de cca. 20 evenimente în care s-ar fi produs deversarea în anul 2013 sau, altfel spus, în medie cca. 2 deversări/lună.

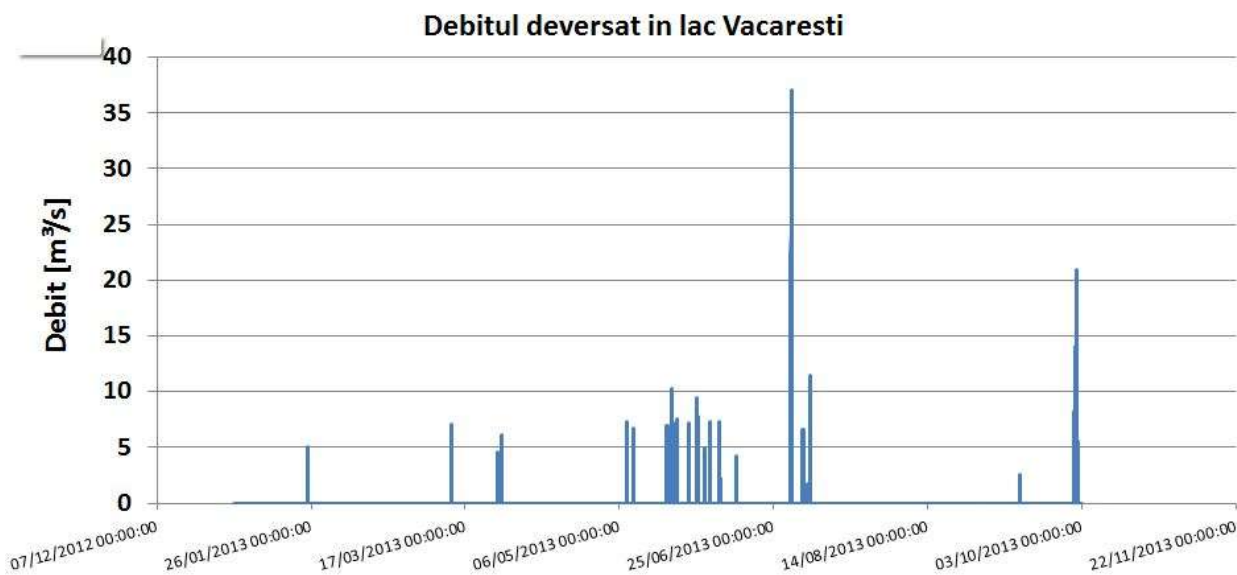


Figura 26. Debitul deversat în lacul Văcărești, calculat pentru anul 2013

S-a calculat că aportul (volumul) de apă intrată în lac Văcărești din sistemul de canalizare în anul 2013 ar fi fost de cca. 3 milioane m^3 , în ipoteza în care exista. Acest volum se observă cu ușurință că nu este distribuit uniform pe tot parcursul anului ci este concentrat în sezonul cu precipitații.

8.5.2. Calitatea apei

Din punct de vedere al respectării normelor tehnice în vigoare (Normativ din 28/02/2002 privind stabilirea limitelor de încărcare cu poluanți a apelor uzate industriale și orășenești la evacuarea în receptori naturali – NTPA 001/2002), descărcarea apei în lacul Văcărești trebuie să respecte valorile stabilite prin standard.

8.5.3. Sistem separativ de colectarea a apelor meteorice pentru zona adiacentă

Întrucât în zona adiacentă, Popești Leordeni, nu exista rețea de canalizare dimensionată corespunzător, se propune crearea unui sistem separativ de colectare a apelor meteorice care va putea fi deversat în Lacul Văcărești după ce a trecut printr-un proces minim de epurare. Pentru a determina cantitatea de apă deversată se vor utiliza următorii parametri, în conformitate cu caracteristicile zonei:

- Panta medie pe bazin: $I = 0.3 \text{ (}\%)$;
- Lungime bazin: $L = 4.68 \text{ (km)}$;
- Suprafață bazin: $F = 12.51 \text{ (km}^2\text{)}$;
- Timp de concentrare: $T_c = 2.04 \text{ (ore)} = 122 \text{ (min)}$;
- Coeficient de stocare: $R = 3.79 \text{ (ore)}$;
- Curve Number (zonă urbană continuă): $CN = 89 \text{ (-)}$.



Figura 27. Suprafața de colectare a apelor pluviale propuse a fi descărcate în Văcărești

Pentru ploi de calcul, cu diferite frecvențe, s-a construit hidrograful debitelor care se presupun a fi deversate în lac, utilizând modelul SCS pentru determinarea curbei de infiltrații, iar pentru hidrograful de debite Hidrograful Unitar Clark.

Tabel 4. Debitul maxim/volumul pentru ploi cu diferite frecvență pentru zona considerată

Frecvența	1:1	1:2	1:3	1:5	1:10	1:20	1:50	1:100
P (mm)	22.2	28.8	32.4	37.2	44.4	50.88	59.64	66
Q_{max} (mc/s)	3.69	6.49	8.15	10.55	14.29	17.9	22.95	26.74
PE (mm)	5.26	9.27	11.71	15.17	20.70	25.95	33.34	38.88
V (m ³)	65 783	115 999	146 500	189 765	258 987	324 648	417 142	486 346

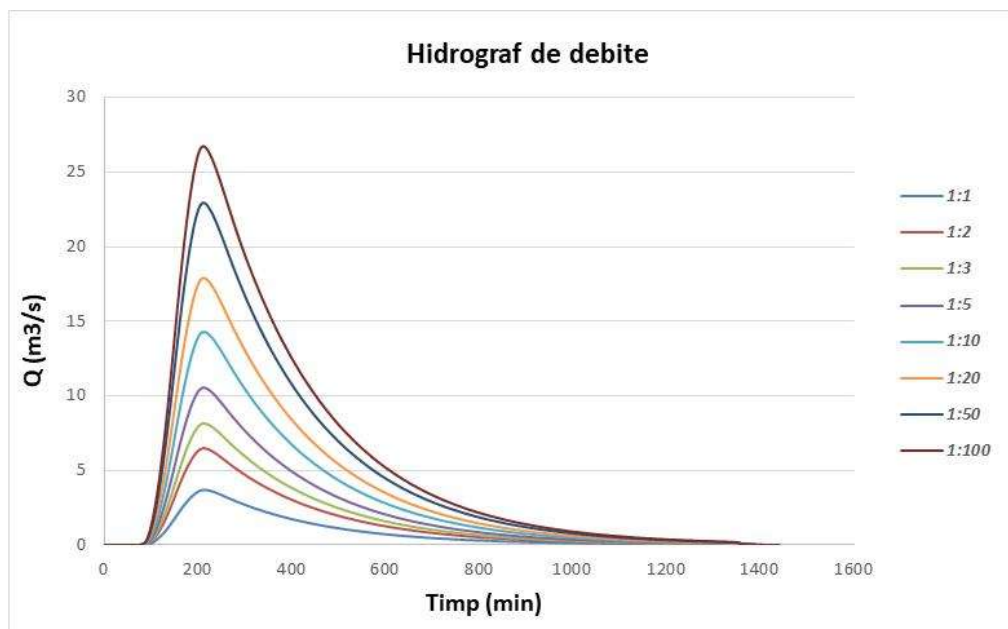


Figura 28. Hidrograful de debite pentru suprafața considerată

Dimensionarea sistemul de canalizare se va realiza pentru o ploaie cu frecvența de 1:10, conform normativelor în vigoare, iar pentru determinarea volumului descărcat în lac, în funcție de stratul precipitat, s-a realizat o curbă de corelație între cei doi parametrii.

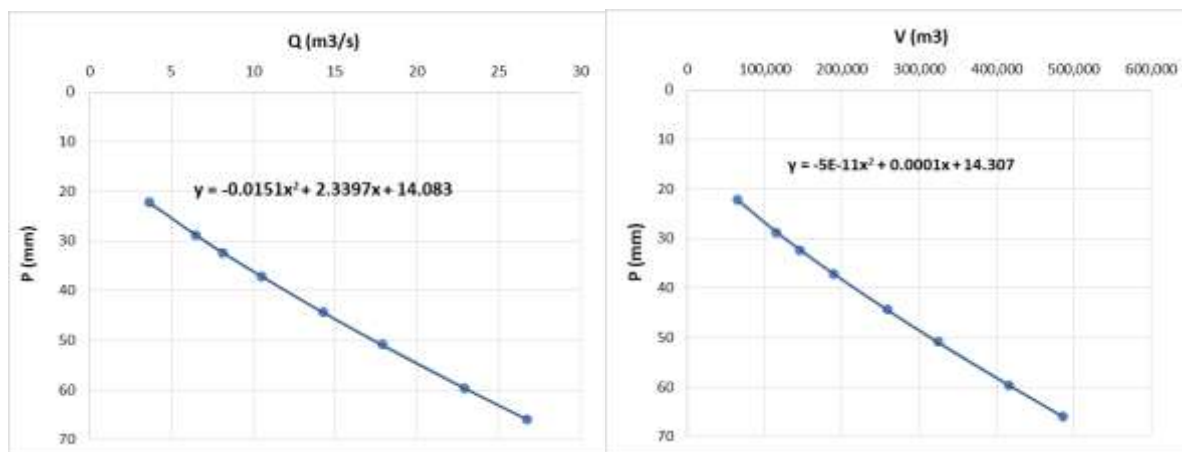


Figura 29. Curba de corelație între cantitatea de precipitații și volumul / debitul deversat în lac

8.5.4. Modelare 2D a zonei umede

Modelarea are ca scop determinarea impactului deversorului lateral A3 propus a fi construit cu descărcare în zona umedă Văcărești. S-au urmărit nivelele din cuveta fostului lac precum și distribuția spațială pentru determinarea zonele de alimentare a bălților existente din scurgerea de suprafață. Astfel au fost utilizați parametrii care caracterizează debitul evacuat din colectorul A3 (magnitudine, distribuție temporală, durată, etc) rezultați din simulările realizate pe modelul hidraulic al sistemului de canalizare din municipiul București. Deoarece sistemul de canalizare este de tip unitar, înălțimea deversorului a fost realizată conform normativelor în vigoare pentru respectarea gradului de diluție al apelor descărcate.

În **Figura 30** sunt prezentate hidrografele de debit descărcate în zona umedă, rezultate în urma simulărilor hidraulice (1D) pentru o ploaie cu probabilitatea de apariție de 1:10, respectiv 1:100.

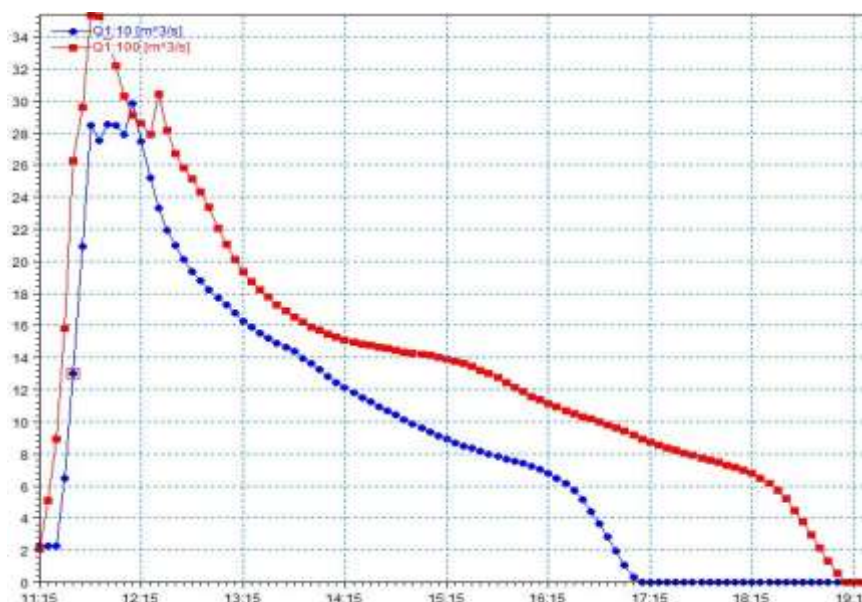


Figura 30. Hidrograful debitelor descărcate în Văcărești din colectorul A3

Volumele descărcate rezultate au următoarele valori: 197 400 m³ pentru ploaia de 1:10, respectiv 401 200 m³ pentru ploaia de 1:100. Cantitățile deversate aduc beneficii multiple atât pentru (1) sistemul de canalizare căruia îi mărește semnificativ capacitatea de transport în timpul evenimentelor pluviale fără a produce intrarea în presiune / inundarea anumitor tronsoane și (2) a zonei umede care este alimentată cu apă din alte surse decât cele existente. În figurile **Figura 31** și **Figura 32** se poate observa impactul volumelor de apă descărcate în termeni de nivel în zona umedă. În zona acumulărilor existente se poate observa o creștere importantă a nivelului care poate fi asimilată cu o creștere a volumului înmagazinat.

Pentru ploaile luate în considerare volumul de apă este distribuit uniform pe aproximativ 50 % din suprafața zonei umede (partea de Vest). Pentru asigurarea alimentării tuturor bălților în timpul evenimentelor pluviale cu intensitate mai scăzută se recomandă amenajarea acestora cu diguri pentru dirijarea debitului de apă către acumulări. Astfel se va asigura în permanență existența unei cantități de apă pentru conservarea ecosistemului actual din zona umedă Văcărești.

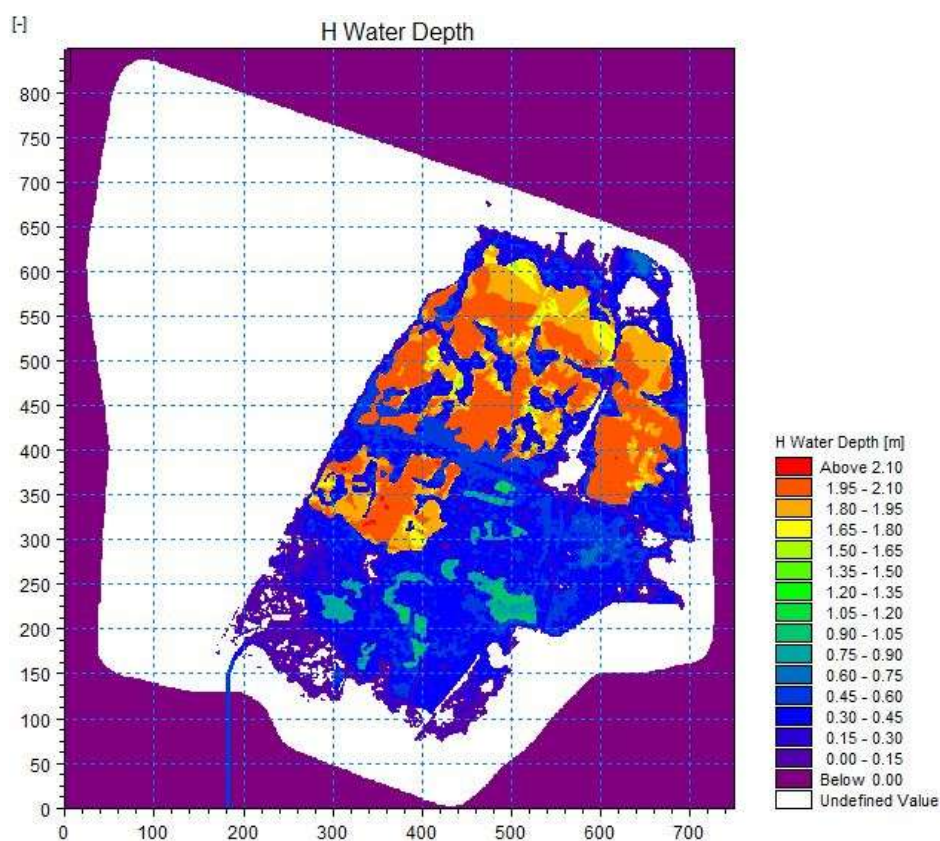


Figura 31. Nivelul apei din zona umedă pentru un eveniment pluvial cu probabilitatea de 1:10

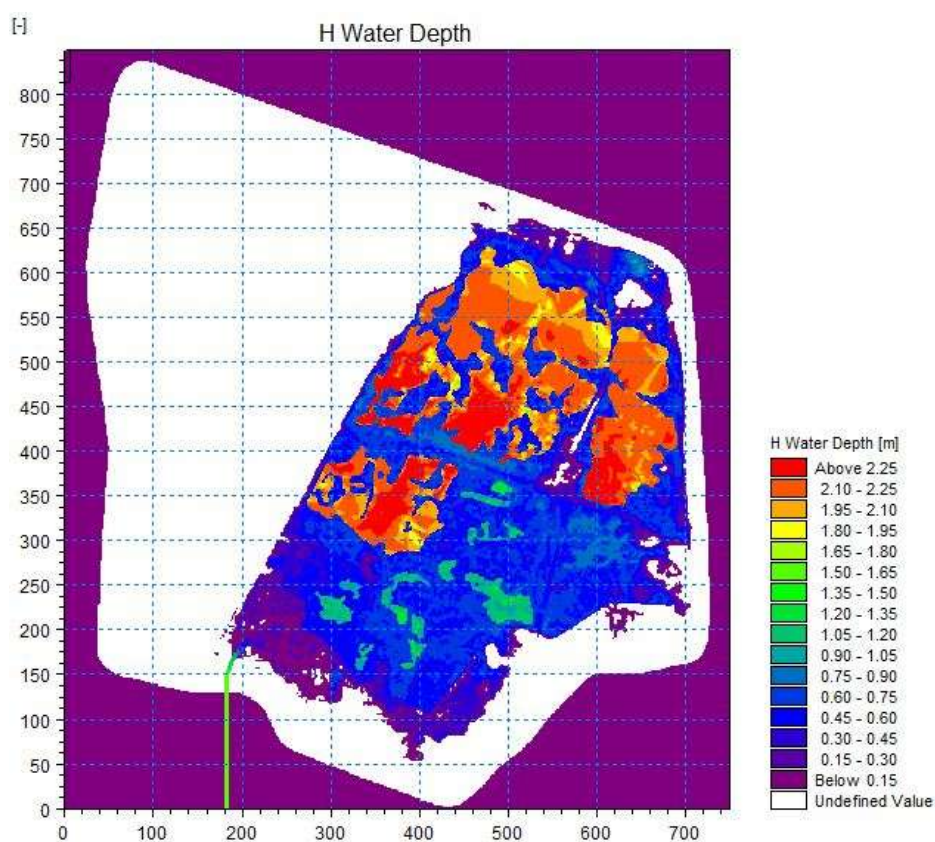


Figura 32. Nivelul apei din zona umedă pentru un eveniment pluvial cu probabilitatea de 1:100

8.5.5. Soluția propusă

Soluția propusă implică amenajarea atât din punct de vedere constructiv cât și ecologic a Lacului Văcărești. În acest sens trebuie realizate lucrări de reabilitare a unor construcții deja existente, trebuie executate lucrări noi și trebuie monitorizată permanent și în detaliu evoluția indicatorilor ce descriu starea ecologică a corpului de apă studiat.

A. LUCRĂRI DE REABILITARE

Lucrările de reabilitare a unor construcții deja existente vizează:

- drenul perimetral; în special drenul amplasat pe latura estică a Lacului Văcărești (șos. Vitan-Bârzești) care este colmatat în proporție de 80 – 90 %;
- refacerea vechiului colector A3 în punctele în care a fost întrerupt odată cu realizarea ecranului de etanșare al digului (2 secțiuni) pentru a permite accesul apei în lac din camera de siguranță echipată cu deversor de ape mari și respectiv pentru a permite descărcarea apei din lac în cuva superioară a râului Dâmbovița – apa din lac este epurată parțial și respectă toate reglementările tehnice privind calitatea pentru a putea fi descărcată în receptorul natural (se va monitoriza permanent calitatea apei din Lacul Văcărești); realizarea unui punct de descărcare în interiorul lacului din colectorul A3 – acesta trebuie amplasat în apropierea laturii sudice a lacului, în proximitatea traseului vechiului colector A3;
- reabilitarea și echiparea stațiilor de pompare amplasate pe traseul drenului perimetral; acestea pot fi utilizate pentru a alimenta Lacul Văcărești cu apa captată prin drenuri, în cazul în care este necesar acest lucru pentru ajustarea volumului stocat

B. LUCRĂRI NOI

Lucrările noi propuse se execută în interiorul Lacului Văcărești. Acestea trebuie să asigure funcțiile multiple ale zonei umede (nivel minim de apă, variabilitate sezonieră a nivelului, protecție la inundații, asigurarea unui timp de retenție adecvat, reținerea materiilor în suspensie, menținerea nivelului apei freatice pe cât posibil nemodificat, menținerea cadrului natural adiacent ce s-a dezvoltat, sporirea biodiversității, etc.) într-un mod cât mai prietenos cu mediul înconjurător.

În acest scop se propune o schemă de principiu a amenajării interioare a Lacului Văcărești care să urmărească principiile ingineriei ecologice (**Figura 33** – vedere în plan și **Error! Reference source not found.** – **Error! Reference source not found.** secțiuni transversale) și care să producă un impact de mediu pozitiv.

Din suprafața totală a lacului de cca. 163 ha se va utiliza doar o parte de cca. 96 ha (60%), situată la est. Se urmărește ca zona amenajată să aibă o hidroperioadă mult mai mare (nivelul apei > 0 pentru o perioadă mai lungă din cursul unui an). Suprafața neamenajată poate fi inundată prin deversare dinspre zona amenajată sau prin ieșirea la suprafața terenului a apei freatice.

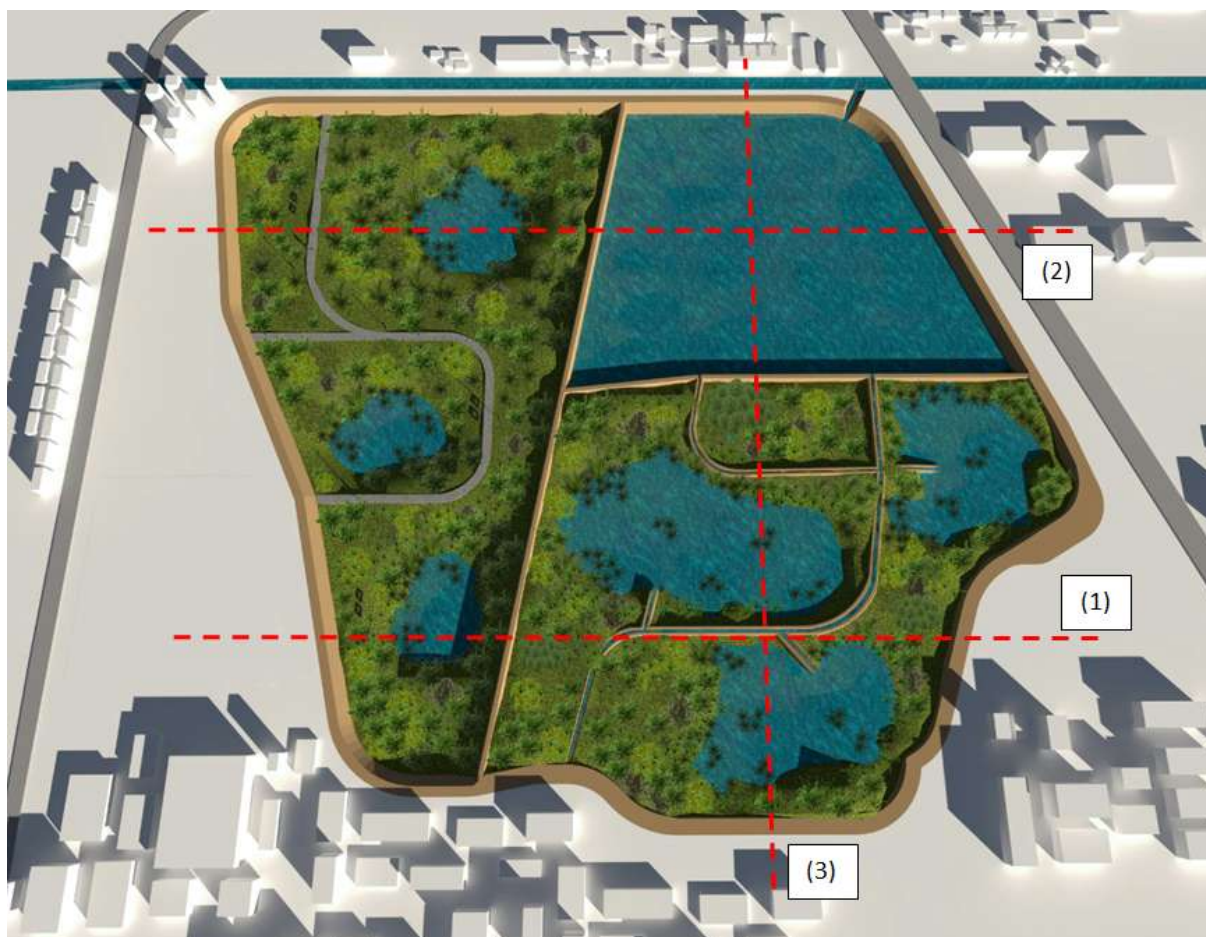


Figura 33. Schema propusă pentru amenajare – vedere în plan

8.5.6. Concluzii

- ansamblul hidrotehnic L.Morii – Cuvă – Casetă – L.Văcărești este practic nefinalizat; rolul Lacului Văcărești în atenuarea viiturilor pe Dâmbovița și în reducerea efectelor negative produse de scurgerile de suprafață în zona urbană nu există la acest moment;
- cantitatea medie multianuală a precipitațiilor pentru zona municipiului București este de cca. 620 mm/an;
- pentru o înțelegere mai bună a fenomenelor și pentru o evaluare mai precisă se impun: monitorizarea nivelului piezometric prin rețeaua de foraje de observație, teste pentru determinarea coeficientului de conductivitate hidraulică pe verticală, realizarea unui model local de curgere în vederea evaluării efectelor produse de reabilitarea drenului acumulării și a cuantificării ratei exfiltrațiilor din lac;
- Lacul Văcărești reprezintă la acest moment o lucrare care nu atinge niciuna din funcțiile pentru care a fost construit: atenuare, preluare scurgere la suprafață, zonă de agrement, etc.;
- sistemul de drenaj perimetral, este nefuncțional și în cea mai mare parte complet colmatat;
- sub Lacul Văcărești se găsește intact vechiul colector A3; colectorul a fost deviat odată cu realizarea lacului iar vechiul traseu a fost întrerupt de realizarea ecranului de etanșare;

- colectorul A3 deservește o suprafață mult mai mare decât cea considerată la momentul proiectării; se constată probleme majore la ploi precum cele istorice din ultimii 10 ani (inclusiv inundații) în zonele Prelungirea Ferentari – Progresului – Metalurgiei – Cheile Turzii cauzate de colectorul A3;
- având în vedere Masterplanul zonei metropolitane București, debitul colectorului A3 va crește odată cu realizarea unor interceptoare care să devieze la ape mari curgerea către zona limitrofă (în colectorul A3) respectând principiul de a nu aduce apa către centrul orașului ci de a-l ocoli, pe cât posibil;
- toate argumentele menționate sugerează utilizarea Lacului Văcărești într-un mod adecvat, prietenos cu mediul înconjurător, în scopul atingerii funcțiilor pentru care a fost construit; soluția reconstrucției ca zonă umedă având multiple funcții este perfect adaptabilă în situația descrisă în prezentul material;
- reglementările tehnice în domeniu, recomandă pentru deversarea în receptori naturali (cum este și cazul Lacului Văcărești) a apelor uzate sau a amestecului apă uzată-apă pluvială cu un grad diluție minim de 1:5;
- se propune construcția unui deversor de ape mari (având cota crestei deversorului 68,60 mMN), pe strada Lunca Bârzești, din colectorul A3 în Lacul Văcărești;
- efectele pozitive obținute prin deversor sunt substanțiale și s-au evidențiat prin compararea situațiilor generate în cazul ploilor istorice din ultimii 10 precum și a unor ploi de calcul cu frecvențe mai reduse decât cele pentru care a fost proiectat;
- soluția tehnică privind amenajarea zonei umede trebuie să țină seama de indicatorii de calitate a apelor uzate potențial a fi descărcate în lac precum și de calitatea apei din lac;
- din analiza probelor se constată că 6 dintre indicatorii de calitate își micșorează concentrația în urma amestecului în timp ce pentru 4 dintre aceștia (azot, fosfor, cloruri și detergenți) se observă creșteri;
- soluția de epurare naturală trebuie să prevadă trepte pentru decantare, reținerea fosforului și a azotului, utilizând vegetație adecvată și/sau soluții pentru reducerea concentrației detergenților sintetici și a clorurilor;
- soluția de amenajare propusă presupune 2 direcții principale: constructivă și ecologică;
- soluția constructivă include 3 tipuri de lucrări: reabilitare (dren + stații pompare, vechiul colector A3); lucrări noi trebuie să asigure îndeplinirea funcțiilor (nivel minim, variabilitate sezonieră, protecție la inundații, timp de retenție, etc.); monitorizarea permanentă a indicatorilor de calitate;
- schema de principiu propusă pentru amenajarea constructivă este cea din **Figura 33**;
- suprafața utilizată este de 96 ha (cca 60% din suprafața totală a lacului), se propun crearea unei zone verzi cu o suprafață de cca. 57 ha și o zonă cu luciu de apă de cca. 39 ha;
- volumul maxim de apă ce poate fi stocat, fără depășirea digului de compartimentare este de cca. 2 milioane metri cubi;
- accesul apei din sistemul de canalizare în zona umedă se va face prin intermediul vechiului colector A3. Pentru acces se vor prevedea elemente de reținere a plutiturilor (grătare rare și grătare dese);

- evacuarea se va face direct în cuva Dâmboviței prin intermediul descărcătorului vechiului colector A3, ce trebuie reabilitat (imaginile din **Error! Reference source not found.**).
- Evapotranspirația considerată ca evaporație potențială pentru Lacul Văcărești este de 505 mm/an; pentru a confirma/infirma valorile adoptate pentru evapotranspirația reală sunt necesare măsurători zilnice pe durata a cel puțin un an;
- Din măsurătorile de teren s-a constatat că sub stratul de argilă există un orizont saturat având un grad de permeabilitate ridicat de cca. 10 m/zi.
- Studiul hidro-geologic, arată ca nivelul piezometric în zona de interes este la cca. 63 – 64 mdM, aproximativ egal cu nivelul actual în lac.
- Analiza ne confirmă faptul că schimburile de apă au loc în ambele sensuri, suprafață – subteran / subteran – suprafață, cu efect benefic în alimentarea zonei umede.
- Legătura dintre cele 2 zone afectează evoluția nivelului în lac, atât în timpul precipitațiilor, cât și sezonier, acesta fiind în strânsă legătură cu nivelul apei subterane.
- Sistemul separativ de colectare a apelor pluviale din zonele adiacente, va aduce un aport semnificativ de debit, în cazul realizării compartimentării lacului, menținând în permanență un nivel important de apă în zona amenajată.

9. CONCLUZII , CONTRIBUȚII PROPRII ȘI DIRECȚII VITOARE DE CERCETARE

9.1. Concluzii

Proiectul de cercetare și-a propus să evidențieze metodele și bunele practici la nivel internațional asupra reconstrucției ecologice a zonelor umede. Obiectivul a fost realizat prin documentare științifică, analizând proiectele și cercetările având ca specific reconstrucția zonelor umede și recomandările specialiștilor la nivel internațional.

S-a identificat, așa cum a fost anticipat, că elementul-cheie al zonelor umede, implicit și al reconstrucției/creării zonelor umede este regimul hidrologic care le caracterizează. Mișcarea apei către zonele umede, în interiorul acestora (alături de procesele asociate) precum și mecanismele prin care se descarcă impun o abordare cuplată, capabilă să reproducă fenomenele fizice naturale.

Modelele matematice asociate mișcării apei sunt utilizate la scară largă în lume. Puterea de calcul a atins cote nebănuite acum 2-3 decenii. De aceea, se apelează aproape necondiționat la modelarea matematică pentru reproducea fenomenelor curente și pentru rularea scenariilor privind evoluția viitoare a acestora. Beneficiind de astfel de instrumente, ne este facilitată obținerea unor rezultate de cea mai înaltă calitate, pe care le putem aplica cu încredere în soluțiile pe care le propunem.

Reconstrucția zonelor umede presupune îmbinarea cunoștințelor ingineresti cu cele din alte domenii, precum: chimia, biologia, etc. Așa cum a fost arătat în cuprinsul lucrării, valorile zonelor umede pot fi evaluate economic până la un punct. Mai departe, valorile acestora sunt necuantificabile pentru că privesc calitatea și siguranța vieții, beneficiile culturale și diversitatea ecologică.

Prin studiul de caz se demonstrează cum o zonă umedă aflată în spațiul urban și într-o stare avansată de degradare poate fi reconstruită/amenajată astfel încât să răspundă cerințelor curente în ceea ce privește hidrologia și protecția mediului înconjurător. Principiile după care se ghidează un astfel de proiect sunt cele ale **ingineriei ecologice**.

9.2. Contribuții proprii

În cadrul proiectului de cercetare au fost analizate: cercetările la nivel mondial în problematica reconstrucției zonelor umede; elementele critice ale reconstrucției ecologice; procesele care au loc în zonele umede; mecanismele prin care zonele umede interacționează cu apele de suprafață, respectiv apa subterană; modelele matematice care guvernează fenomenele de mișcare a apei; metodele prin care sunt cuantificate fluxurile; procedeele și instrumentele disponibile pentru cuplarea modelelor. În ultima parte a tezei de doctorat a fost propusă o soluție pentru amenajarea complexă a lacului Văcărești urmărind principiile ingineriei ecologice și liniile directoare trasate de organisme internaționale abilitate și cu experiență în reconstrucția zonelor umede.

Contribuțiile proprii ale autorului în cadrul tezei de doctorat „*Contribuții la reconstrucția zonelor umede și a ecosistemelor adiacente*” constau în:

- realizarea unei sinteze care cuprinde situația zonelor umede la nivel mondial, amenințările asupra zonelor umede precum și sistemele normative europene și naționale aplicabile în proiectele de reconstrucție;
- realizarea unei sinteze care cuprinde valorile și funcțiile zonelor umede, variabilele descriptive și sistemele de clasificare a zonelor umede;
- realizarea unei sinteze ce înglobează cunoștințele esențiale și obiectivele ce trebuie urmărite în proiectele de reconstrucție ecologică;
- prezentarea aparatului matematic utilizat în procesele de curgere, cu evidențierea tehnicilor principale utilizate de instrumentele de calcul;
- descrierea mecanismelor hidraulice prin care zonele umede se alimeantează cu apă și a celor prin care apa este descărcată din zonele umede;
- studierea în detaliu a componentelor bilanțului hidrologic pentru zonele umede și prezentarea metodelor de evaluare a termenilor;
- constituirea unei baze de date geografice pentru lacul Văcărești;
- rularea modelului matematic hidrogeologic pentru municipiul București și determinarea aportului de apă în lacul Văcărești;
- rularea modelului matematic al sistemului de canalizare din municipiul București și analiza scenariilor conținând soluțiile propuse pentru lacul Văcărești;
- propunerea unei soluții de amenajare complexă a lacului Văcărești având funcții multiple;

9.3. Direcții viitoare de cercetare

(...)

Bibliografie

(...)

Listă de lucrări și publicații ale autorului

M.Mihailovici , **V. Zaharia** – *RESURSE DE APĂ - GESTIUNE ȘI PROTECȚIE*, Editura Amanda Edit, 2017, ISBN 978-606-979-053-3, 2018

V.Zaharia, D.Găitănanu – *Aspects of Water budger in Văcărești wetland*, Mathematical Modelling in Civil Engineering – DeGruyter, vol. 14-nr.1, pag. 12-23, 2018

M. Mihailovici, **V. Zaharia**, A. Zărescu – *Water quality simulations in Drinking water network. Case study of Bucharest network*, International Conference Efficient use and management of water – Conference Proceedings, 14-15 Mai, 2018, București, România, ISBN 978-973-88245-3-9

N. Alboiu, M. Mihailovici, **V. Zaharia** – *Hydraulic physical scale modeling of a complex sewage system*, Energy and Management (CIEM) 2017 International Conference, pag. 404-408, Bucuresti , 2017, ISBN 978-1-5386-3943-6

M. Stancu, M. Chevereșan, **V. Zaharia**, T. Poienariu – *Climate change adaptation in urban areas. Case study for Tineretului area in Bucharest*, Procedia Engineering, Elsevier, pag 188-194, 2017

D. Găitănanu; C.R. Gogu; M.A. Boukhemacha; L. Lițescu; **V. Zaharia**; A. Moldovan; M. Mihailovici – *Bucharest city urban groundwater monitoring system*, Procedia Engineering, Elsevier, Volum 209, 2017, pag. 143 – 147, ISSN 1877-7058

C. R. Gogu; D. Găitănanu; M.A. Boukhemacha; I. Șerpescu; L. Litescu; **V. Zaharia**; A. Moldovan; M. Mihailovici – *Urban hydrogeology studies in Bucharest City*, Romania, Procedia Engineering, Elsevier, Volum 209, 2017, pag. 135 – 142, ISSN 1877-7058

M. Mihailovici, A. Moldovan A., **V.Zaharia** – *Reducing water losses using inspection of sewage networks*, p.217 – 223, publicație Asociația Română a Apei, IWA Regional Conference Water Loss Management 2015, 15 – 17 iunie, 2015, București, România

S. Perju; A. Aldea; M. Mihailovici; **V. Zaharia** – *Challenges in the assessment of water loss KPIs in large distribution systems. Case study of Bucharest water supply system*, Water, Resources, Forest, Marine and Ocean ecosystems conference proceedings, Vol I Book Series: International Multidisciplinary Scientific GeoConference - SGEM, Publicat: 2016, ISBN 978 – 619 – 7105 – 61 – 2 , ISSN 1314 – 2704, Pag: 113-120

M. Mihailovici, A. Moldovan, **V. Zaharia**, - *Reducing water losses using inspection of sewage networks* p.217 – 223, publicație Asociația Română a Apei, IWA Regional Conference Water Loss Management 2015, 15 – 17 iunie, 2015, București, România

- M. Mihailovici, E. Chiru, **V. Zaharia** – *Zona de studiu și problematica acesteia din perspectiva proiectului. Soluții de principiu*. Presentare tip platformă în cadrul workshop-ului „Tehnici și metode de adaptare a zonelor urbane la schimbările climatice”, București, 2014, în cadrul proiectului internațional „Leonardo da Vinci” : 2013 – 1 – HU1 – LEO05 – 09613.
- V. Zaharia** – Raport de cercetare III: *Bilanțul hidrologic și reconstrucția zonelor umede. Studiu de caz*, UTCB, 2014
- B. Roche, M. Mihailovici, **V. Zaharia** – *Reducerea pierderilor de apă prin modelare hidraulică*, p.316-319, în volumul conferinței „Proceedings of IWA 5th Eastern European Young and Senior Water Professionals Conference”, 26-28 iunie 2013, Kiev, Ucraina;
- V. Zaharia** – Raport de cercetare II: *Interacțiunea zonelor umede cu apele de suprafață*; UTCB, 2013
- V. Zaharia** – *Modelarea matematică cuplată a zonelor umede, apelor de suprafață și apelor subterane*. Conferința „Water resources and wetlands“, 2012, Tulcea, România;
- V. Zaharia** – Raport de cercetare I: *Interacțiunea zonelor umede cu apele subterane*, UTCB, 2012
- V. Zaharia**, V. Ioan, A. Dăescu – *Câteva aspecte privind crearea hărților de inundabilitate în proiectele PPPDEI*. Anuarul științific al Institutului Național de Hidrologie și Gospodărirea Apelor, 2011, București, România
- M. Mihailovici, **V. Zaharia** – *Studiul regimului apelor subterane în zona orașului Otopeni și soluțiile de drenaj necesare*, revista Hidrotehnica, nr. 8-9, 2011.