

# **CERCETĂRI PRIVIND IMPACTUL URBANIZĂRII ASUPRA SCURGERILOR HIDROLOGICE**

Teză destinată obținerii  
titlului științific de doctor inginer  
la  
Universitatea Politehnica Timișoara  
în domeniul INGINERIE CIVILĂ  
de către

**Ramona-Maria Rusu**

Conducător științific: prof.univ.dr.ing Crețu Gheorghe  
Referenți științifici: prof.univ.dr. ing. Giurma Ion  
prof.univ.dr.ing. Manciană Aurora  
conf.univ.dr.ing. Mirel Ion

Ziua susținerii tezei: 01.03.2014

Seriile Teze de doctorat ale UPT sunt:

- |   |  |
|---|--|
| 1. Automatică                               | 9. Inginerie Mecanică                      |
| 2. Chimie                                   | 10. Știința Calculatoarelor                |
| 3. Energetică                               | 11. Știința și Ingineria Materialelor      |
| 4. Ingineria Chimică                        | 12. Ingineria sistemelor                   |
| 5. Inginerie Civilă                         | 13. Inginerie energetică                   |
| 6. Inginerie Electrică                      | 14. Calculatoare și tehnologia informației |
| 7. Inginerie Electronică și Telecomunicații | 15. Ingineria materialelor                 |
| 8. Inginerie Industrială                    | 16. Inginerie și Management                |

Universitatea Politehnica Timișoara a inițiat seriile de mai sus în scopul diseminării expertizei, cunoștințelor și rezultatelor cercetărilor întreprinse în cadrul Școlii doctorale a universității. Seriile conțin, potrivit H.B.Ex.S Nr. 14 / 14.07.2006, tezele de doctorat susținute în universitate începând cu 1 octombrie 2006.

Copyright © Editura Politehnica – Timișoara, 2013

Această publicație este supusă prevederilor legii dreptului de autor. Multiplicarea acestei publicații, în mod integral sau în parte, traducerea, tipărirea, reutilizarea ilustrațiilor, expunerea, radiodifuzarea, reproducerea pe microfilme sau în orice altă formă este permisă numai cu respectarea prevederilor Legii române a dreptului de autor în vigoare și permisiunea pentru utilizare obținută în scris din partea Universității Politehnica Timișoara. Toate încălcările acestor drepturi vor fi penalizate potrivit Legii române a drepturilor de autor.

România, 300159 Timișoara, Bd. Republicii 9,  
Tel./fax 0256 403823  
e-mail: editura@edipol.upt.ro

## Cuvânt înainte

Teza de doctorat a fost elaborată pe parcursul activității mele în cadrul Departamentului de Hidrotehnică al Universității Politehnica Timișoara în perioada 2010-2014. În această perioadă am petrecut șase luni la Institute of Urban Water Management and Landscape Water Engineering, Graz University of Technology.

Mulțumiri deosebite se cuvin conducătorului de doctorat prof.univ.dr.ing. Gheorghe Crețu pentru sprijinul, suportul, timpul acordat și îndrumările pe care le-a oferit în această perioadă. Doresc să îmi exprim considerația față de membrii comisiei de îndrumare, directorului de departament conf.dr.ing. Florescu CONSTANTIN, s.l.dr.ing. Codruța BĂDĂLUȚĂ-MINDA și conf.dr.ing. Adrian CARABEȚ și față de membrii comisiei de doctorat, începând cu domnul președinte de comisie prof. univ.dr.ing. Daniel GRECEA, prof.univ.dr.ing. Ion GIURMA, prof.univ.dr.ing. Aurora MANCIA, prof.univ.dr.ing. Ion MIREL, pentru bunăvoința de a răspunde invitației de a face parte din echipa de analiză a tezei de doctorat și pentru timpul acordat.

Mulțumiri deosebite și recunoștință doresc să aduc Profesorului Dirk Muschalla, directorul Institute of Urban Water Management and Landscape Water Engineering, Graz University of Technology, pentru că m-a primit la institutul său și a supravegheat activitatea mea în toată perioada petrecută aici. Mulțumesc membrilor echipei Rosa Maria Sulzbacher, Robert Scheucher, Thomas Franz Hofer, Günter Gruber și Daniela Fuchs-Hanusch care m-au integrat în colectiv și și-au făcut mereu timp pentru a-mi răspunde la întrebări și a-mi oferi ajutor acolo unde am avut nevoie.

Adițional mulțumiri speciale doresc să aduc colegilor mei Codea Mihai-Daniel, Alexoiaie Laura, Văduva Raluca, Panfil Corina, Boboescu Iulian și Stana Octavian care mi-au devenit prieteni și în care am găsit un adevărat suport.

Munca mea nu ar fi putut fi pusă atât de bine în evidență fără ajutorul primit de la sora mea, arh. Loredana Rusu.

Sincere mulțumiri familiei mele care mereu m-a susținut în deciziile luate.

Această lucrare a fost realizată prin Programul Operațional Sectorial Dezvoltarea Resurselor Umane (POS DRU) 2007-2013 cu cofinanțare din Fondul Social European în cadrul proiectului strategic 77265 „Spre cariere de cercetare prin studii doctorale”.

Rusu, Ramona-Maria

### **CERCETĂRI PRIVIND IMPACTUL URBANIZĂRII ASUPRA SCURGERILOR HIDROLOGICE**

Teze de doctorat ale UPT, Seria 5, Nr. 116, Editura Politehnica, 2014, 146 pagini, 62 figuri, 21 tabele.

ISSN: 1842-581X

ISBN: 978-606-554-804-6

Cuvinte cheie:

urbanizare, expansiune zonă urbană, scurgeri de suprafață, sisteme alternative de canalizare pluvială, modul de acoperire și utilizare al terenului

Rezumat,

LID este un concept nou în managementul integrat al apei urbane, fiind una dintre măsurile aplicate pentru menținerea condițiilor hidrologice din zona urbană aproape de cele estimate în ipoteza în care zona urbană este zonă naturală. Prin unitățile LID se dorește să se creeze condiții hidrologice naturale prin gestionarea (gospodărirea) scurgerii de suprafață cât se poate de aproape de sursă prin diferite practici de infiltrare, retenție, evapotranspirație, precum și prin creșterea timpului de concentrare a bazinului. Aceste practici pot elimina nutrienții, patogenii și metalele din apa scursă de suprafață și reduc volumul și debitului acesteia.

Prezenta teză are drept obiectiv stabilirea efectului dezvoltării tradiționale a zonei urbane asupra debitelor meteorice scurse de pe suprafața orașului prin realizarea bilanțului apei, descrierea modificărilor în bilanțul apei induse de drenajul urban sustenabil și identifica incertitudinile actuale pentru realizarea de cercetări viitoare.

Având în vedere toate acestea, s-a realizat un studiu asupra performanței practicilor de retenție/infiltrare a apei prin crearea unui model în SWMM 5.0 a canalizării pluviale existente în municipiul Sebeș prin care s-a urmărit:

- Analiza structurii orașului Sebeș, determinarea gradului de acoperire cu suprafețe impermeabile pe diferite zone și a modului de utilizare a terenului;
- Determinarea răspunsului suprafeței orașului la diferite frecvențe ale precipitației;
- Determinarea răpusului suprafeței orașului după implementarea măsurilor de retenție/infiltrare a apei în sol;
- Evaluarea performanței pe termen scurt a unităților LID implementate.

S-a concluzionat că structura orașului nu permite atingerea condițiilor hidrologice dorite doar prin utilizarea unităților de bioretenție, drept urmare este nevoie de construirea de unități de retenție/infiltrare sub parcări, locuri de joacă, drumuri etc.

## CUPRINS

1.	INTRODUCERE	7
1.1.	Motivația tezei	7
1.2.	Obiective	9
1.3.	Ipoteze	10
1.4.	Metodologia generală de realizare a proiectului	10
1.5.	Definiții	12
2.	MEDIUL URBAN	13
2.1.	Urbanizarea la nivel mondial	13
2.2.	Dezvoltarea zonelor urbane în România	14
2.2.1.	Generalități	14
2.2.2.	Expansiunea zonelor urbane	15
2.2.3.	Spațiile verzi și zonele de agrement	18
2.3.	Caracteristici ale spațiului urban	19
2.3.1.	Noțiuni generale privind sistemul de canalizare	20
2.3.2.	Caracteristicile solului în spațiu urban	22
2.3.3.	Sistemul hidrologic urban	24
2.3.4.	Inundațiile urbane	27
2.4.	Precipitațiile urbane - Schimbări climatice locale	28
2.5.	Efectul dezvoltării zonelor urbane asupra cursurilor de apă de suprafață	30
3.	SISTEMUL DE DRENAJ PLUVIAL SUSTENABIL	33
3.1.	Unități de bioretenție	35
3.2.	Unități de retenție	40
3.3.	Sisteme subterane pentru infiltrarea apelor în sol	42
4.	MODELAREA PROCESULUI PLOAIE-SCURGERE DE SUPRAFAȚĂ	45
4.1.	Modele ploaie-scurgere de suprafață	46
4.1.1.	Definirea modelului ploaie-scurgere de suprafață	46
4.1.2.	Clasificarea modelelor de ploaie-scurgere	47
4.1.3.	Modele dezvoltate de-a lungul timpului	48
4.2.	Ecuatii care stau la baza modelelor	49
4.2.1.	Infiltrarea apei în sol	49
4.2.2.	Evapotranspirația	51
4.2.3.	Scurgerea apei de pe suprafața solului. Timpul de concentrare	52
4.2.4.	Curgerea în canale deschise	54
4.2.4.1.	Hidrodinamica fluidelor	54
4.2.4.2.	Curgerea prin orificii	60
4.2.4.3.	Curgerea peste deversor	61

4.2.4.4. Elemente de Hidraulică. Mișcarea uniformă cu suprafața liberă	62
4.3. Analiza de senzitivitate. Metoda lui Morris	63
5. STUDIU DE CAZ: MUNICIPIUL SEBES, JUD. ALBA	66
5.1. Prezentarea zonei	66
5.1.1. Considerații generale	66
5.1.2. Descrierea sistemului de canalizare a orașului Sebeș	68
5.1.3. Descrierea problemelor existente	72
5.2. Descrierea modelării cu SWMM 5.0.	72
5.2.1. Modelare hidrologică	74
5.2.2. Modelare hidraulică	77
5.2.3 Modelare LID	80
5.3. Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice	82
5.3.1. Modul de acoperire și utilizare a terenului în Sebeș	82
5.3.2. Pregătirea datelor și construirea modelului	85
5.3.3. Obținerea ploii de calcul	87
5.3.4. Verificarea și Validarea modelului	91
5.3.5. Identificarea problemelor existente	94
5.3.6. Soluții propuse	96
5.3.7. Analiza de senzitivitate	97
5.4. Rezultate	99
5.5. Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului	101
5.5.1. Metodologia de implementare a unitatilor de retenție /infiltrare a apei în SWMM 5.0	101
5.5.2. Scenarii de reducere a scurgerilor de suprafață pe Sebeș Alba și rezultatele obținute	107
5.5.3. Rezultate și discuții	113
6. CONCLUZII FINALE	121
7. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE	123

## BIBLIOGRAFIE

# 1. INTRODUCERE

Dezvoltarea omenirii, dorința unui mod de viață mai ușor, necesitatea adaptării mediului înconjurător tehnologiei și stilului de viață din ziua de astăzi, au dus la realizarea de modificări asupra modului de folosire și acoperire a terenului; se observă o înlocuire a spațiilor verzi amenajate sau neamenajate din zona urbană cu construcții civile și industriale, parcuri, terenuri de sport cu suprafață impermeabilă (terenuri de fotbal acoperite cu gazon artificial), are loc pavarea, betonarea și asfaltarea unor suprafețe de teren tot mai extinse. Suprafețele construite sunt definite ca și suprafețe impermeabile. Aceste suprafețe impermeabile manifestă asupra sistemului hidrologic modificări importante: scăderea infiltrațiilor, creșterea scurgerilor de suprafață, accelerarea procesului de evaporație ca urmare a efectului de seră care se formează, scăderea apei reținută în spațiul urban.

Este evident că determinarea acestei influențe pe care o are apariția și extinderea zonelor urbane asupra regimului de scurgere din cursurile de apă de suprafață (în special în timpul perioadelor de precipitații și de secetă) este o provocare enormă, fiind foarte importantă pentru managementul resurselor de apă în special în bazinele hidrografice neamenajate.

”Se anticipează ca pe viitor literatura de specialitate va fi completată cu studii suplimentare care să documenteze relația dintre urbanizare, suprafețele impermeabile și problemele care există în cursurile de apă de suprafață” [147].

## 1.1. Motivația tezei

Industrializarea, schimbările socio-economice produse au dus atât la crearea de noi orașe cât și la concentrarea populației în zona urbană. Cu toate că zonele urbane ocupă numai 2% din suprafața Terrei, aproximativ 50% din populația globului trăiește în zona urbane; conform UN se prevede că aproximativ 70% din populația estimată a globului va locui în zonele urbane în 2050 [99]. În Europa, 75% din populație locuiește în orașe. Este posibil ca acest procent să crească la 80% până în 2020. Orașele Europei reprezintă actualmente 69% din utilizarea energetică și determină, prin urmare, majoritatea emisiilor de gaze cu efect de seră [69]. În consecință, cererea de pământ în interiorul și în împrejurimile orașelor devine acută; extinderea urbană reconturează peisajele și afectează calitatea vieții oamenilor și mediul mai mult ca niciodată. Planificarea și gestionarea urbană au ajuns pe prima pagină a agendei politice, transportul și locuințele fiind provocări cruciale.

Această creștere a populației atrage după sine: (1) creșterea suprafeței urbanizate; (2) creșterea densității clădirilor în cadrul zonei urbane; (3) creșterea numărului de mașini și intensificarea traficului ducând la necesitatea lărgirii drumurilor și creșterea numărului locurilor de parcare; (4) reducerea spațiilor verzi; (5) creșterea suprafețelor agricole din jurul zonelor urbane. Impactul orașelor asupra mediului ia amploare fiind afectate atât zonele limitrofe cât și zonele mai îndepărtate a acestora. Gradul de extindere a impactului asupra mediului diferă în

funcție de regiune, de cererea de energie, de resurse și de spațiu necesar depozitării deșeurilor provenite din zona urbană.

În prezent apa este un factor important în creșterea și dezvoltarea economică a unei regiuni, unele orașe mari și metropole confruntându-se cu probleme acute privind asigurarea necesarului de apă. Din 2030 se prevede că 47% din populația mondială va locui în zone cu stres mare de apă [128].

În România, necesitatea adaptării mediului înconjurător tehnologiei și stilului de viață din ziua de astăzi implică realizarea de construcții civile și industriale noi, mai complexe și mai interconectate, care să se ridice la standardele Europene, pavarea, betonarea și asfaltarea unor suprafețe de teren tot mai extinse, crearea de locuri de agrement (terenuri de sport) cu suprafețe mari impermeabile (betonate, gazon artificial etc.). Toate acestea duc, din punct de vedere hidrologic, la crearea de suprafețe impermeabile. Existența acestor suprafețe mari impermeabile în zonele urbane manifestă asupra sistemului hidrologic modificări importante: scăderea infiltrațiilor, creșterea scurgerilor de suprafață, accelerarea procesului de evaporație ca urmare a efectului de seră care se formează. Astfel, putem spune că orașele sunt generatoare ale unui climat specific, caracterizat prin abateri semnificative ale tuturor parametrilor meteorologici față de caracteristicile perimetrului extra-urban. Temperaturile sunt mai mari în timpul zilelor de vară și se produc intensificări locale ale vântului.

Intensitatea urbanizării poate fi măsurată cu ajutorul unor parametri, cum ar fi densitatea populației și dezvoltarea spațială a zonei. În scopul realizării acestui studiu se va lua în calcul dezvoltarea spațială a zonei, modul de ocupare (acoperire) a suprafeței: parcuri, zonele verzi neamenajate existente, construcții civile și industriale, drumuri, parcuri, trotuare, inclusiv terenurile de sport acoperite cu iarba artificială. Modificările în modul de acoperire a terenului în timpul procesului de urbanizare produc schimbări atât în tipul cât și în magnitudinea proceselor de scurgere a apelor de pe suprafața urbană, avem un vârf al hidrografului scurgerii mai mare și care apare mai repede după începutul ploii [46], [99], [106], [20], [64], cu alte cuvinte precipitațiile căzute pe suprafața urbană ajung în cursurile de apă de suprafață într-un timp mult mai scurt decât cele căzute pe o suprafață de teren neamenajată (cadru natural). Unul dintre cele mai importante procese hidrologice este determinarea infiltrațiilor și a scurgerilor hidrologice de suprafață a apelor provenite din precipitații. Canalele principale de drenaj a apei din zona urbană trebuie astfel dimensionate încât să țină cont de dezvoltarea viitoare a orașului.

Unele studii pe aceasta tema arată că dacă suprafața impermeabilă se dublează, vârful hidrografului scurgerii de suprafață crește cu 20% [74]; vârfurile mici ale hidrografelor scurgerii de suprafață sunt mai afectate de mărirea suprafețelor impermeabile decât vârfurile mai mari [50]. Se poate observa modificări în hidrograful multianual al scurgerilor de suprafață, a vârfului hidrografelor și a frecvenței inundațiilor atunci când suprafețele impermeabile depășesc 35% [43] [69].

Toate aceste modificări produse asupra elementelor sistemului hidrologic într-un bazin hidrografic duc la distribuția neuniformă în timp a resurselor de apă disponibile, astfel, în perioadele secetoase se observă o diminuare a acestora.

Datorită acestor efecte găsim o noțiune nouă în hidrologia urbană, noțiunea de Management integrat al apei urbane, care ia în considerare următoarele valori: valoarea economică și socială, valoarea estetică, valoarea ecologică, dar și valoarea percepției umane [95].



„Un accent crescut va trebui pus pe dezvoltarea „orașelor verzi”, prin amenajarea de spații verzi, dezvoltarea iluminatului public din surse regenerabile de energie, modernizarea transportului urban pe baza folosirii biocarburanților cu emisii reduse de gaz e cu efect de seră, etc. De asemenea, este important să se acorde o atenție sporită eficienței energetice a clădirilor” [124].

O serie de programe recente – inclusiv programul Gospodărirea Apei pentru Orașul Viitorului (cunoscut ca SWITCH), lucrările Programului Internațional Hidrologic UNESCO privind apa urbană, cercetările Băncii Mondiale asupra impactului urbanizării asupra resurselor de apă și managementului acesteia, și ale Asociația Internațională a Apei (IWA) privind Orașele din inițiativa Viitorului – au experimentat măsuri transversale de gospodărire a apei urbane, conduse de cerere și adecvate contextului [129].

## 1.2. Obiective

Pentru a contribui la înțelegerea impactului zonei urbane asupra ciclului hidrologic al apei, obiectivul acestui studiu este acela de a stabili efectul bine cunoscut al dezvoltării tradiționale a zonei urbane asupra scurgerilor urbane de suprafață prin realizarea bilanțului apei, a descrie modificările în bilanțul apei induse de metode de retenție/infiltrare, și de a identifica incertitudinilor actuale pentru realizarea de cercetări viitoare.

Conceptul de la care se pleacă este acela de a se încerca aducerea condițiilor hidrologice existente în zona urbană cât mai aproape de condițiile hidrologice existente în ipoteza în care suprafața orașului ar fi o suprafață naturală. Plecând de la acest concept se propune studiul diferitelor metode care pot fi aplicate pentru reducerea scurgerilor de suprafață și infiltrarea apei în sol. Aceste metode se găsesc în literatura de specialitate sub denumirea de practici LID (Low impact Development-Canada/SUA), SUD (Sustainable Drainage Systems-Anglia), WSUD (Water-Sensitive Urban Design - Australia). În partea teoretică a tezei, respectiv în Capitolul III, aceste metode se găsesc sub denumirea de MIM (Metoda Impactului Minim – traducere preluată din teza de doctorat a lui Ștefănescu Carmen, 2008) iar în cadrul studiului de caz păstrează denumirea de LID, deoarece sub această formă se găsește în documentația programului de simulare utilizat.

Prezenta teză de doctorat nu își propune să tratează și aspectele legate de poluarea apelor scurse de pe suprafața urbană, dar se ține cont de posibila poluare a acestora în alegerea metodelor de retenție/infiltrare a apei meteorice.

### **1.3. Ipoteze**

La începutul studiului s-au stabilit următoarele ipoteze:

1. Se poate obține o înțelegere mai bună a interacțiunilor dintre elementele sistemului hidrologic urban printr-o simulare dinamică cu ajutorul modelelor computaționale;
2. Zonele urbane generează scurgeri de suprafață mai repede și cu o intensitate mai mare decât zonele naturale;
3. Utilizarea practicilor retenție/infiltrare pot crea condiții hidrologice în zonele urbane aproape de condițiile hidrologice din zonele naturale;
4. Performanța unităților de retenție/infiltrare se poate înțelege, evalua mai corect și prezice dacă se realizează o simulare atât pentru un eveniment de precipitație cât și o simulare de lungă durată, rezultatele analizându-se din perspectiva modului de utilizare și acoperire a terenului din zona urbană.

### **1.4. Metodologia generală de realizare a proiectului**

În prima parte se realizează un studiu al literaturii de specialitate cu privire la problemele existente pe plan mondial în zona urbană, sistemele de canalizare urbane, managementul sistemelor de canalizare separate, studiindu-se metode de modelare a proceselor ploaie-scurgere de suprafață și a unităților de retenție/infiltrare.

În a doua parte s-a realizat un studiu asupra capacității unităților de retenție/infiltrare de a restaura condițiile hidrologice existente în ipoteza în care suprafața ar fi o suprafață naturală. În această direcție se va:

- Crea un model în SWMM 5.0 a canalizării pluviale existente în municipiul Sebeș;
- Analiza performanța și identificarea problemelor sistemului de canalizare pluvial existent;
- Realiza o analiză de sensibilitate a modelului;
- Examina impactul suprafețelor impermeabile asupra rezultatelor obținute în urma simulării;
- Propune diferite unități de retenție/infiltrare disponibile în SWMM 5.0 și crea mai multe scenarii pentru a aduce condițiile hidrologice existente cât mai aproape de condițiile hidrologice inițiale;
- Evalua performanța pe termen scurt (un singur eveniment de precipitație) a unităților de retenție/infiltrare implementate.

Pentru construirea modelului s-au folosit date referitoare la modul de acoperire și utilizare a terenului, natura terenului, rețeaua de canalizare pluvială existentă și date legate de precipitații. Datele legate de suprafața terenului au fost obținute de la autoritățile locale și prin observații de la fața locului.

Discretizarea suprafeței s-a realizat în funcție de căile preferențiale de scurgere a apei. Fiecărui sub-arie i s-au atribuit caracteristici proprii ținându-se cont de procentul suprafeței impermeabile, tipul vegetației existente, pantă teren etc.

Sistemul de canalizare pluvial existent a fost realizat în SWMM 5.0 pe baza datelor (verbale și pe suport hârtie) obținute de la S.C. APA CTTA S.A. Sebeș, de la Primăria municipiului Sebeș, pe baza observațiilor și măsurărilor realizate în teren.

Precipitațiile zilnice pentru o perioadă de 30 de ani, 1981-2010, au fost obținute de la ANM / Secția de Climatologie. Printr-o analiză statistică s-au determinat precipitațiile cu diferite frecvențe de apariție (1 la 2 ani, 1 la 5 ani și 1 la 10 ani).

Hietograma evenimentelor de precipitație cu durata de 65 min (timpul de concentrare a suprafeței de captare) și de 24 de ore s-a construit folosind valorile parametrului K, Tabelul A.3. SR 1846-2/2007.

Pentru a vedea reacția sistemului la diferiți parametri s-a realizat o analiză de sensibilitate a modelului utilizând metoda lui Morris.

Figura 1.1. reprezintă diagrama de realizare a proiectului.

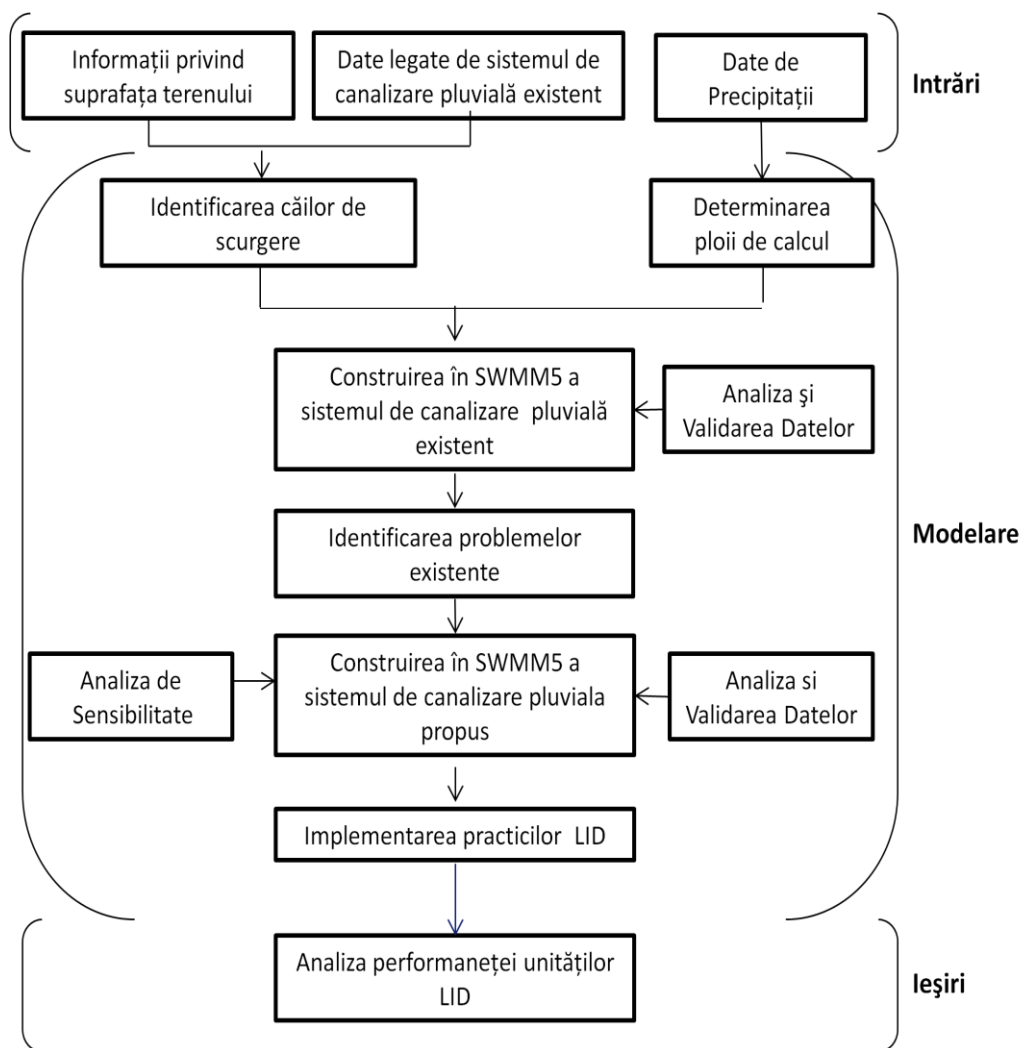


Figura 1.1. Diagrama de lucru

## 1.5. Definiții

**Hidrologia** este știința apelor (hidros=apă, logos=știință) și se ocupă cu studiul regimului apelor de la suprafața solului și din straturile de mică adâncime ale scoarței terestre, studiul legilor generale care guvernează procesele din hidrosferă, atmosferă, litosferă și biosferă, precum și cu studiul prognozei evoluției elementelor hidrologice în vederea valorificării raționale a resurselor de apă.

**Climatologia** este știința care cercetează caracteristicile vremii dintr-un loc, regiune sau zonă geografică pe o anumită perioadă de timp, precum și cauzele care le generează.

**Precipitațiile atmosferice** reprezintă apa care cade din atmosferă pe pământ sub diferite forme (ploaia, zăpadă, lapoviță, grindină și chiciură).

**Urbanismul** – disciplina complexă care studiază atât densitatea de utilizare a solului cât și fenomenele sociale și psihice care influențează viața urbană.

**Urbanizarea** este un proces deseori asociat cu industrializarea, modernizarea, migrația populației din zona rurală în zona urbană și expansiunea zonelor urbane, uneori prin înglobarea așezărilor din jur. Se definește ca fiind raportul dintre numărul locuitorilor care locuiesc în centrele urbane și populația unei țări.

**Compactarea** reprezintă procesul în urma căruia are loc o creștere a densității aparente a solului peste valorile normale paralel cu scăderea porozității totale a solului.

**Surgerea de suprafață** face referire la apa provenită din precipitații și scursă pe suprafața solului.

**Coeficientul de scurgere** este acea parte din precipitația căzută care se transformă în scurgere de suprafață.

**Regimul hidrologic** al râurilor este variația în timp a debitelor scurse prin secțiunea unui râu într-un interval de timp și este influențat de clima zonei și variația în timp a sursei de apă. În decursul unui an există așa numitele faze ale scurgerii (perioade cu ape mari, viituri, perioade cu scurgere redusă, etiaje, secări).

**Surgerea subterană** este scurgerea care are loc sub suprafața solului, fie prin straturile freatice fie prin straturile acvifere de adâncime. Apa din straturile subterane se reîntoarce la suprafață prin izvoare, prin infiltrație în râuri, oceane sau prin alte rezervoare de suprafață.

**Intercepția** reprezintă un fenomen complex de reținere de către vegetație a unei părți din precipitația căzută direct pe aceasta. Gradul de intercepție depinde de: structura învelișului vegetal, mărimea și durata precipitației atmosferice, potențialul evaporat al atmosferei etc.

**Acumularea** (retenția la suprafața solului) reprezintă cantitatea din precipitației stocată în depresiunile izolate ale terenului. Apa acumulată în depresiuni izolate se evaporă și/sau se infiltrează în sol neavând posibilitatea de scurgere către sistemul de drenaj sau receptor.

## 2. MEDIUL URBAN

### 2.1. Urbanizarea la nivel mondial

Industrializarea, schimbările socio-economice produse în ultimele decenii, au dus la concentrarea populației în centrele urbane. Acest lucru a adus după sine atât o creștere rapidă și semnificativă a densității populației, cât și o extindere substanțială a zonelor urbane.

Tabel 2.1. Populația Urbană, 1950-2010

Anul	1950	1965	1980	1995	2010
Populația mondială (mii)	2.532.229	3.333.007	4.453.007	5.726.239	6.895.889
Populația mondială urbană (mii)	745.495	1.184.646	1.753.229	2.564.133	3.558.578
Populația urbană în Europa (mii)	280.602	380.373	466.318	511.556	536.611

Sursă: United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division;

În ultimii 60 de ani populația urbană a crescut de 4.77 ori, cea mai mare creștere, de 8 ori, realizându-se în țările în curs de dezvoltare.

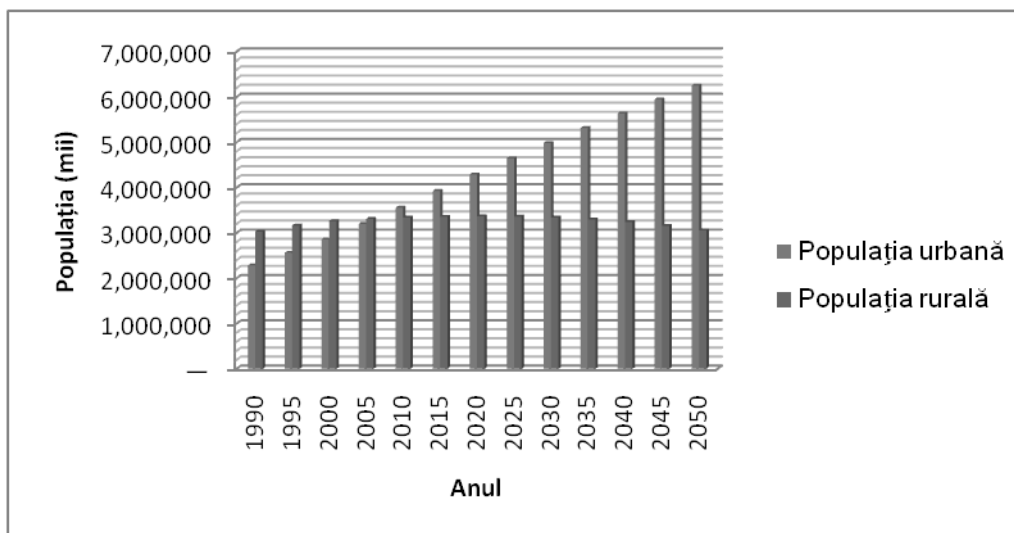
În Europa populația urbană s-a dublat din 1950 până în 2010. Rata de creștere a populației urbane este mai mare decât rata de creștere a populației, atât la nivel mondial cât și la nivel de Europa. Dacă în 1950 populația urbană reprezenta 29.4% din totalul populației, în 2010 aproximativ 51% din populația globului trăiește în zone urbane, cu toate că în lume acestea ocupă numai 2% din suprafața Terrei. Populația care trăiește în centrele urbane este mai mare în țările dezvoltate (77%) decât în țările în curs de dezvoltare (46%).

Conform UN se prevede că aproximativ 70% din populația estimată a globului va locui în zonele urbane în 2050 [141]. În Europa, 75% din populație locuiește în orașe, acestea reprezentând actualmente 69% din utilizarea energetică și determină, prin urmare, majoritatea emisiilor de gaze cu efect de seră.

Impactul orașelor asupra mediului înconjurător nu se rezumă doar la spațiul din intravilanul acestora, nevoile mărite a unei astfel de așezări necesitănd și exploatarea resurselor din zonele limitrofe și nu numai (depozitare deșeuri, colectare materii prime etc.). [146].

Conform Agenției Europene de Mediu: " Pentru prima dată în istoria omenirii, în orașe locuiesc mai mulți oameni decât în zonele rurale. Europa este unul dintre cele mai urbanizate continente. Aproximativ 75% din populația acesteia locuiește în zonele urbane; începând cu 2020, proporția va fi de 80%. În consecință, cererea de pământ în interiorul și în împrejurimile orașelor devine acută; extinderea urbană reconturează peisajele și afectează calitatea vieții oamenilor și mediul mai mult ca

niciodată. Planificarea și gestionarea urbană au ajuns pe prima pagină a agendei politice, transportul și locuințele fiind provocări cruciale.” [141].



**Figura 2.1.** Urbanizarea la nivel mondial și creșterea populației rurale, actuale și estimate pe viitor 1990–2050 [141].

## 2.2. Dezvoltarea zonelor urbane în România

### 2.2.1. Generalități

Teritoriul actual al României este atestat documentar ca fiind locuit din cele mai străvechi timpuri. Astfel, primele zonelor urbane, s-au creat pe locul vechilor cetăți fortificate, orașe nucleu în jurul cărora erau amenajate așezări rurale neîntărite. O alta modalitate de apariție a urbelor este dezvoltarea vechilor sate, așezări strategic amplasate în imediata apropiere a resurselor naturale (fie din punct de vedere al agriculturii puternice, fie din punct de vedere a existenței mineralelor supra și subterane).

„Orașele port” s-au dezvoltat odată cu modernizarea navigației, aceasta expansiune fiind facilitată atât datorită extinderii comerțului cât și practicării turismului la nivel global.

Orașele industriale sunt rezultatul expansiunii tehnicii, și odată cu ea a economiei. Fiind amplasate în jurul unor unități industriale clar predefinite, acestea au fost gândite în prima fază ca simple cartiere muncitorești. În timp, creșterea populației, și implicit a nevoilor sociale, a dus la extinderea acestora în adevărate urbe care aveau ca principala activitate industria pe baza cărora au fost formate.

Revoluția industrială, fenomen care în România a avut loc mult mai târziu decât în Anglia (țara declanșatoare), începând la noi abia în a doua jumătate a secolului XIX, a dus, nu doar la apariția centrelor cu specific exclusiv industrial, ci și la dezvoltarea urbelor deja existente. Astfel, implementarea mașinismului în

detrimentul muncii manuale, atrage după sine o creștere a locurilor de muncă, având astfel loc o expansiune substanțială a orașelor.

În această perioadă se constată și o migrare în masă din mediul rural în mediul urban constatându-se astfel o insuficiență teritorială pentru adăpostirea populației. Acest lucru a dus la regândirea unităților de locuit, adoptându-se astfel locuințele colective, dezvoltarea pe verticala fiind una din urmările specifice.

Tabel 2.2. Structura fluxurilor migrației interne urbane și rurale determinate de schimbarea domiciliului

Anul	1998	2000	2002	2004	2006	2008
<b>Din rural în urban</b>	60620	47693	71928	77941	75275	78671
<b>Din urban în rural</b>	78618	82631	96624	117495	93924	124828

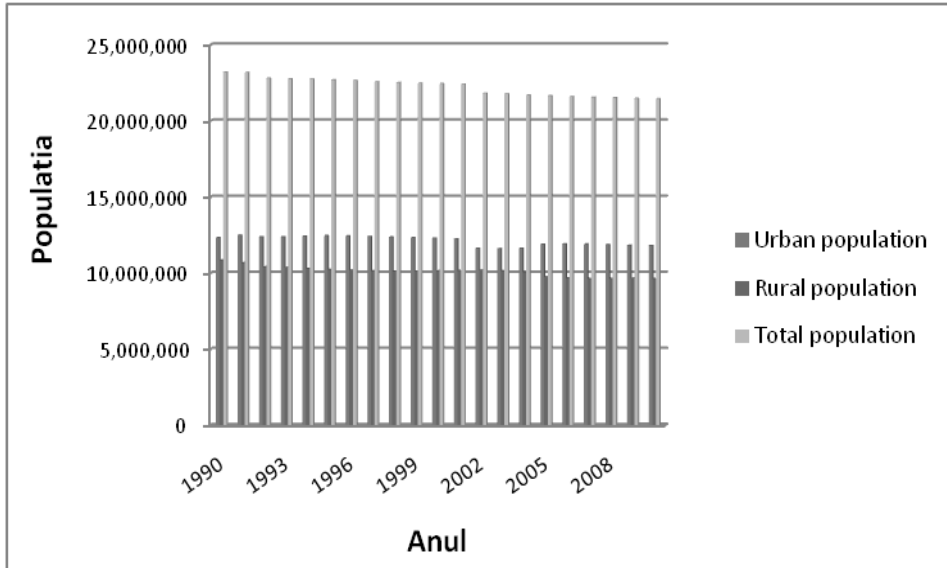
Sursă: Anuarul Statistic al României 2009

Expansiunea orașelor a atras după sine nu doar reorganizarea și creșterea numărului unităților de locuit, ci și schimbări majore în ceea ce privește utilitățile și căile de transport intern. Astfel, suprafața impermeabilă a urbei a fost substanțial influențată și de drumurile modernizate (asfaltarea și lărgirea lor) și noi implantate în țesutul urban.

În întregul proces de expansiune a orașelor se dorește o controlare a suprafeței construite, fiind astfel instaurate procente maxime de ocupare a terenurilor în cazul noilor construcții, tocmai pentru păstrarea unui raport optim între mediul natural și zonele impermeabile noi rezultate.

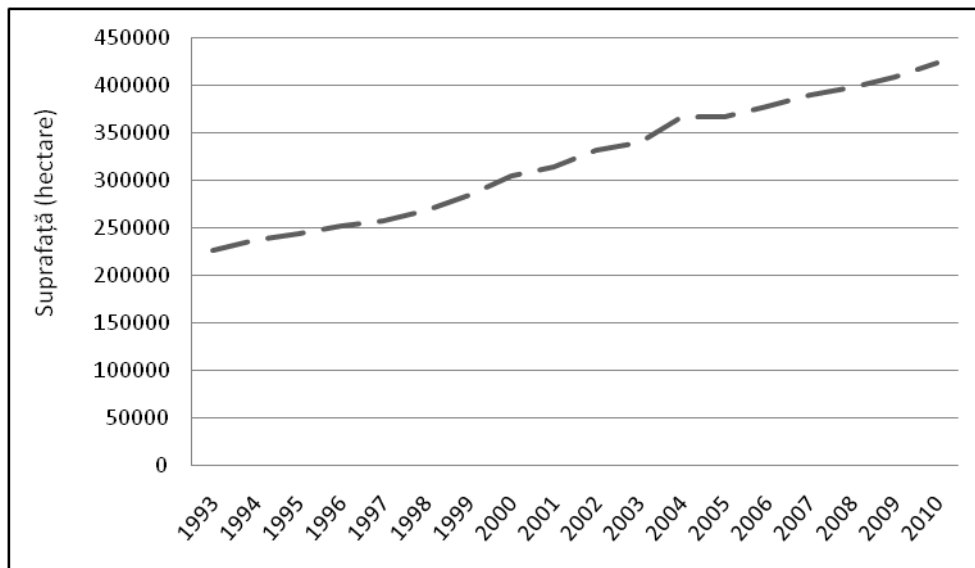
### 2.2.2. Expansiunea zonelor urbane

Conform datelor INS, populația României la 1 ianuarie 2010 era de 21.462.186 locuitori. Datele statistice din perioada 1990 – 2010 indică o tendință continuă de scădere a populației, în acest interval numărul total de locuitori diminuându-se cu 1.749.209 persoane. În 2010 aproximativ 55% din populația țării locuiește în mediul urban, în timp ce 45% locuiește în mediul rural (Fig.2). Acest procent nu s-a schimbat prea mult din 1993, în 1993 53% din populația țării trăind în mediul urban și 47% în mediul rural.



**Figura 2.2.** Creșterea populației rurale și urbane în România între 1990-2010

Deși populația României este în scădere, se observă o extindere a zonei urbane. În 1993 suprafața intravilană era de 226.777 hectare, până în 2010 aceasta ajungând la 424.626, aceasta însemnând o creștere cu aproximativ 87% (Figura 3).



**Figura 2.3.** Suprafața intravilană din România 1993-2010



Tabel 2.3. Suprafața construită ca % din suprafața totală

	<b>Suprafața totală a țării (mii hectare)</b>	<b>Suprafața construită (mii hectare)</b>	<b>Suprafața construită ca % din suprafața totală</b>
<b>2000</b>	23839,1	632,9	2,65
<b>2001</b>	23839,1	628,3	2,64
<b>2002</b>	23839,1	635,9	2,67
<b>2003</b>	23839,1	648,9	2,72
<b>2004</b>	23839,1	652,8	2,74
<b>2005</b>	23839,1	657,1	2,76
<b>2006</b>	23839,1	674,7	2,83
<b>2007</b>	23839,1	685,7	2,88
<b>2008</b>	23839,1	692,1	2,90
<b>2009</b>	23839,1	703,3	2,95
<b>2010</b>	23839,1	728,3	3,05
<b>2011</b>	23839,1	737,0	3,09

Sursă: Institutul Național de Statistică

Cele mai mari creșteri în suprafața intravilană o prezintă județele Ilfov (de 44 de ori), urmat de județul Maramureș (de 4.99 ori), Gorj (de 4.73 ori), Suceava (de 3.65ori), Vâlcea (de 2.72 ori), cea mai mică creștere o are județul Tulcea care și-a cam păstrat suprafața, prezintă o creștere de 1.02 ori. O creștere medie a suprafeței intravilane o are județul Alba, suprafața crescând de 1.87 de ori. Creșterea s-a realizat treptat, în timp, distingându-se județele Vaslui și Gorj care între 1998 și 1999 și-au dublat suprafața, și județul Ilfov a cărei suprafață intravilană a crescut de 7 ori între 1999 și 2000.

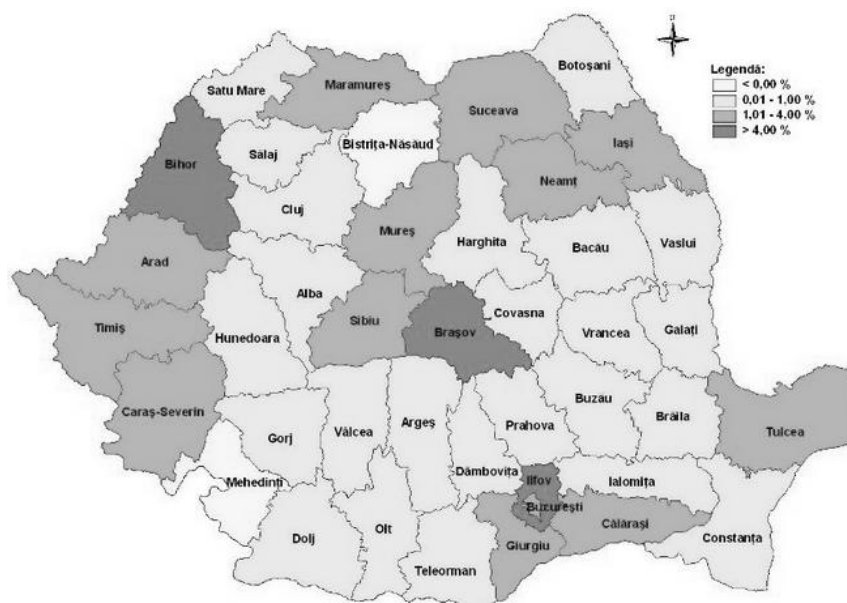


Figura 2.4. Evoluția spațiului artificial pe județe 2005-2010

Se definesc mai multe modalități de extindere a suprafeței intravilanului, cele mai de actualitate fiind: extinderea radiocentrică (pe principalele artere care pornesc din centrul bine definit al unui oraș), prin absorbția satelor din jur, care devin un fel de cartiere rezidențiale, prin construirea efectivă a cartierelor rezidențiale, tip „dormitor”, în imediata apropiere a orașelor (conceptul de suburbie adoptat din occident).

Cele de mai sus demonstrează că factorii demografici reprezintă o componentă esențială a unei dezvoltări durabile a României pe termen mediu și lung și trebuie să-și găsească reflectarea adecvată în toate strategiile naționale tematice și sectoriale [121].

### 2.2.3. Spațiile verzi și zonele de agrement

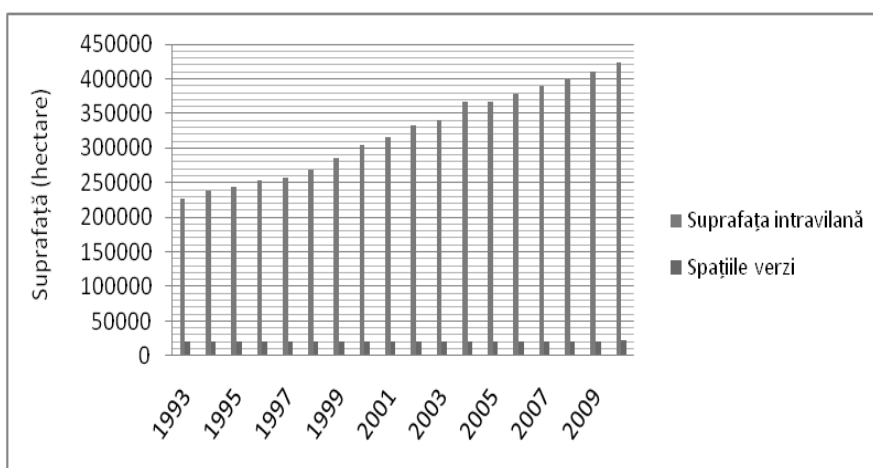
Spațiile verzi reprezintă o categorie funcțională în cadrul localităților sau aferentă acestora caracterizate prin suprafețe, amplasări și folosințe diferite. Spațiile verzi pot fi:

- spații verzi de folosință generală sau publice: parcuri, grădini, scuaruri și fâșiile plantate, păduri de agrement, amenajări sportive publice;
- spații verzi de folosință limitată: aferente locuințelor, dotărilor sociale-culturale, zonelor industriale, grădinilor botanice și zoologice, pădurile și plantațiile forestiere destinate ameliorării climatului, zone de protecție sanitară [125].

Scopul spațiilor verzi îl constituie ameliorarea stării mediului înconjurător și amortizarea peisajelor modificate sau amenajate cu cele naturale, creând un ambient optim desfășurării activității sociale.

Extinderile zonelor urbane nu se fac însă tot timpul în mod controlat, observându-se în multe cazuri neregularități la nivel urban, atât în ceea ce privește trama orașului, cât și în ceea ce privește păstrarea unui anumit raport al spațiului construit/neconstruit, crearea de spații verzi și de agrement în raport cu noile expansiuni.

După cum se poate vedea în figura de mai jos, conform Institutului Național de Statistică din România, creșterea suprafeței intravilane nu atrage după sine creșterea spațiilor verzi [148] (Figura 2.5).



**Figura 2.5.** Suprafața intravilană și zonele verzi în România din 1993 până în 2010

Conform art. 2 (1) din OUG 114/2007 pentru modificarea și completarea Ordonanței de urgență a Guvernului nr. 195/2005 privind protecția mediului, s-a decis ca autoritățile administrației publice să asigure din terenul intravilan o suprafață de spațiu verde de minimum 20 m<sup>2</sup>/locuitor, până la data de 31 decembrie 2010, și de minimum 26 m<sup>2</sup>/locuitor, până la data de 31 decembrie 2013.

Strategiile, programele și planurile de amenajare integrată în teritoriu și localitățile din România vor trebui să încorporeze orientările pentru spațiul amenajat european, cu menținerea unui echilibru rațional între interesul privat și cel public, în condițiile respectării stricte a regimului juridic al proprietății asupra terenurilor. Trebuie să se aibă în vedere evitarea dispersiei zonelor de locuit, asigurarea diversității sociale și culturale intraurbane, controlul jocurilor speculative de ocupare a spațiilor publice și peisajului, mixajul optim între elementele funcționale și cele sociale. În acest fel, dezvoltarea echilibrată a localităților, îmbinată cu respectarea spațiului cultural și natural, va oferi o contribuție esențială la ameliorarea calității vieții în armonie cu mediul ambiant, la folosirea corectă a resurselor și la prevenirea unor evoluții negative ireversibile [121].

### **2.3. Caracteristici ale spațiului urban**

Spațiul urban este un sistem de elemente structurale interconectate între ele, destinat să satisfacă nevoile socio-economice ale vremii. Majoritatea localităților existente în ziua de astăzi sunt rezultatul unui proces îndelungat de dezvoltare, fiecare etapa a acestuia lăsându-și amprenta în structura actuala a orașului. Astfel, în structura urbană, atât de suprafață cât și subterană, găsim influențe din diferite perioade semnificative ale dezvoltării.

Centrele urbane sunt caracterizate prin activitățile non-agricole ale locuitorilor, însă această activitate nu se exclude complet. Structura orașelor este de așa natură încât locuitorii acestora să își exercite cât mai bine activitățile.

Termenul de funcție este împrumutat din fiziologie, orașul având rol de asigurare spațiu și realizare de conexiuni interioare și exterioare.

La început orașele aveau funcții bine definite, cum ar fi funcția culturală, industrială, comercială, funcție de rezidență temporară (stațiuni balneare, sanatoriu, odihnă), funcție administrativă și politică (capitală, rol administrativ al orașelor) [Beaujeu-Garnier and Chabot, 1971]. În timp centrele urbane au ajuns să îndeplinească mai multe funcții.

În oraș se întâlnesc toate activitățile destinate să răspundă cerințelor locuitorilor: activități administrative, educative, culturale, transport, comerciale, meșteșugărești, industria ușoară, industria grea etc.

În general centrele comerciale mici și centrele de servicii se găsesc în centrul orașului, iar la periferii se găsesc centrele comerciale mari (construcții, auto, menaj), depozitele și centrele industriale.

Organizarea spațiului urban se face:

- prin zone concentrice
- prin sectoare
- prin mai multe centre secundare

Clasificarea zonelor urbane se poate face în funcție de mai multe criterii. Unul dintre primele criterii este numărul populației, alte criterii sunt populația activă, densitatea, suprafața, funcțiile orașului, poziția geografică și rangul care îl are.

### **2.3.1. Noțiuni generale privind sistemul de canalizare**

Rolul rețelei de canalizare este acela de a colecta, transporta, epura și evacua în emisar apele din interiorul zonei urbane.

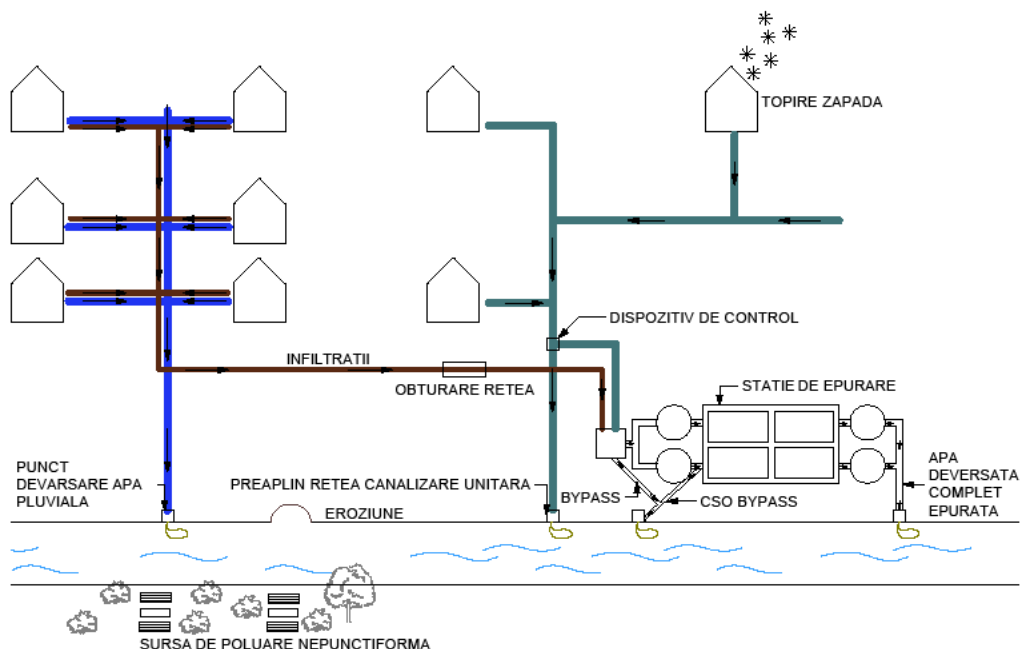
Sistemul de canalizare preia:

- ape uzate menajere (locuințe, clădiri publice și industriale);
- ape uzate industriale (în condiții excepționale);
- ape pluviale provenite din precipitațiile căzute pe suprafața urbană;
- apele scurse de pe suprafețele limitrofe zonei urbane;
- inundațiile provocate de corpurile de apă de suprafață (râu, lac, mare)

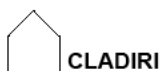
Sistemele de canalizare pot fi unitare, separate sau mixte. Sistemele unitare de canalizare sunt dimensionate pentru a transporta atât apa uzată menajeră cât și cea pluvială din spațiu urban. În cadrul sistemului de canalizare separativ apele uzate și apele pluviale sunt transportate în conducte separate, în unele situații apa pluvială fiind evacuată direct în emisar fără o epurare în prealabil.

În Figura de mai jos găsim o ilustrare a sistemului de canalizare unitar și a sistemului de canalizare separativ.

Conform INSSE, în România, în anul 2008 localitățile cu instalații de canalizare publică au fost într-un număr de 760, din care 309 municipii și orașe.



#### LEGENDA



— SISTEM UNITAR DE CANALIZARE

— SISTEM CANALIZARE PLUVIALA

— SISTEM CANALIZARE MENAJERA

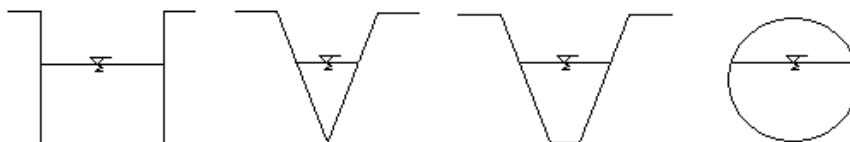
**Figura 2.6.** Sistem de canalizare unitar și separativ

#### Elementele structurale ale unui sistem de canalizare urban

Elementele structurale ale unui sistem de canalizare urban diferă în funcție de natura terenului și de scopul acestuia. Documentație cu privire la rețeaua de canalizare urbana se găsește în SR 1846 – 2006.

Principalele elemente din structura unui sistem de canalizare urban sunt:

- colectoare principale;
- colectoare și/sau canale secundare;
- cămine de vizitare;
- sisteme de pompare;
- conducte sub presiune;
- bazine de retenție;
- sistem de epurare a apelor uzate colectate din mediu urban;
- preaplin pentru reținerea și evacuarea apelor pluviale în exces;
- conducte/canale de deversare.



**Figura 2.7.** Secțiuni transversale prin canale deschise [Bica, 2000].

Sistemele moderne de canalizare ce includ tehnici alternative cuprind elemente precum:

- colectoare subterane cu rol de stocare a apei și restituirea ulterioară în emisar;

### Reabilitarea sistemelor de canalizare

Este necesară reabilitarea sistemelor de canalizare când:

- rețeaua este învechită iar materialul din care este construită este deteriorat;
- există fisuri și spargeri ale conductei în anumite locuri;
- conductele sunt colmatate cu depuneri solide provenite de la locuințe sau din scurgeri de suprafață încărcate cu materiale solide;
- capacitate de transport redusă;
- există greșeli din execuție.

Nefuncționarea optimă a sistemului de drenaj duce la creșterea cheltuielilor de exploatare a acestuia și poate avea ca și consecință tasări sau surpări ale terenurilor și străzilor adiacente.

Este necesar să se desfășoare numeroase intervenții asupra sistemului de canalizare pentru a se asigura funcționarea sistemului în parametri optimi și a se evita poluarea mediului înconjurător:

- activități preventive de întreținere și exploatare: spălări și curățări periodice sau după evenimente de precipitații; vizite sau inspecții cu camera video pentru a se identifica fisuri sau colmatări ale conductelor de canalizare; inspecții vizuale în cazul canalelor deschise pentru a se determina starea acestora (colmatări, surpări, cu vegetație etc.)
- lucrări de reparații și intervenții la stațiile de pompare ape uzate și rețeaua aferentă: desfundare/decolmatare manuală, desfundare/decolmatare mecanică cu jet de apă, vidanșarea apelor menajere și pluviale, reabilitări ale rețelei sau a elementelor componente.

### 2.3.2. Caracteristicile solului în spațiul urban

Solurile din interiorul zonei urbane își pierd caracteristicile datorită proceselor care au loc atât în timpul construcțiilor cât și după finalizarea acestora. Aceste schimbări au loc în textura solului datorită aportului ridicat de nisip, agregate, și moloz rezultat în timpul construcțiilor sau demolărilor, fiind astfel modificați indicii hidrofiziци ai solului (capacitatea capilară, capacitatea de apă în câmp, permeabilitate, sucțiune), regimul hidric al solului, însușirile termice ale

solului și aerul din sol. Deșeurile din construcții și demolări sunt reprezentate de [126]:

- deșeuri de beton, cărămizi, resturi ceramice;
- deșeuri lemnoase, din sticlă, din plastic;
- deșeuri de asfalt, gudroane și produse gudronate;
- resturi metalice; resturi din excavații (pământ, pietre, pietriș);
- deșeuri de materiale izolante;
- amestecuri de deșeuri de construcții și demolări.

În 2010 s-a supus spre dezbatere publică Hotărârea de Guvern privind gestionarea deșeurilor provenite din activități de construire și desființare. Gestionarea deșeurilor provenite din activitățile de construcții trebuie prevăzută, în mod obligatoriu, în documentațiile tehnico-economice care stau la baza autorizării executării lucrărilor de construcții. Gestionarea deșeurilor provenite din activitățile de construcții se realizează fie de către titularul activității de construcții, cu respectarea prevederilor legislative în domeniul gestionării deșeurilor, fie prin contract al titularului activității de construcții sau autorității administrației publice locale cu operatori economici sau cu un operator al serviciilor de salubritate. Operațiunile privind gestionarea deșeurilor provenite din activitățile de construcții, precum sortarea, colectarea, pretratarea, tratarea, pregătirea pentru reutilizare, valorificarea, eliminarea, se efectuează, după caz, la locul producerii acestora, în amplasamente ale operatorilor economici, ale autorităților administrației publice locale după obținerea autorizației de mediu [122].

Un alt proces care se produce în timpul construcțiilor și afectează rata de infiltrare a apei este compactarea solului; se observă o creștere a densității aparente a solului deasupra valorilor normale, și o descreștere accelerată porozității totale a solului. Acest lucru are un impact important asupra procesului ploaie-scurgere [81] [38].

**Compactarea** reprezintă procesul în urma căruia are loc o creștere a densității aparente peste valorile normale și scăderea accentuată a porozității totale a solului. Urbanizarea atrage după sine o compactare artificială a solului. Compactarea poate fi realizată în mod indirect, neintenționat, datorită lucrărilor mecanice care se execută asupra terenului în timpul construcțiilor, sau în mod direct, în situația în care se dorește creșterea capacității portante a acestuia.

**Densitatea de masă a solului** reprezintă masa unității de volum din faza solida și se calculează ca raportul dintre masa particulelor solidului și volumul particulelor solidului.

$$D = \frac{M_s}{V_s} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2.1)$$

unde:

D- densitatea ( $\text{g/cm}^3$ ),

$M_s$  - masa particulelor solidului (g),

$V_s$  – volumul particulelor solidului ( $\text{cm}^3$ ).

**Densitatea aparentă** „este o însușire relativ independentă a cărei cunoaștere oferă elemente de caracterizare fizică a solului de sine stătătoare, care nu poate fi decât în unele cazuri deduse din celelalte însușiri” [45].

$$DA = \frac{M_t}{V_t} = \frac{M_t}{V_s + V_p} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (2.2)$$

unde:

DA – densitatea aparentă (g/cm<sup>3</sup>),

M<sub>t</sub> – masa totală a solului (g),

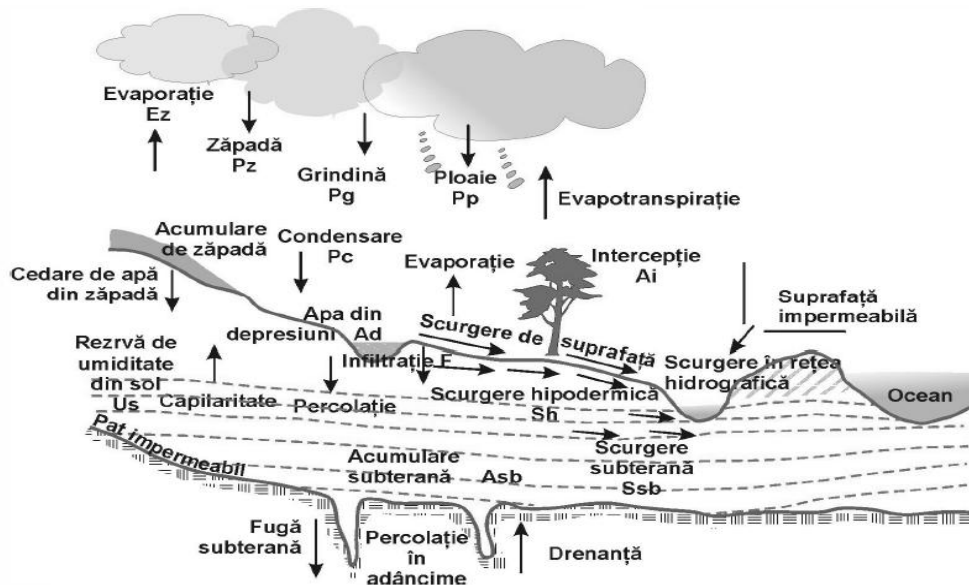
V<sub>t</sub> – volumul total al solului (cm<sup>3</sup>),

V<sub>s</sub> – volumul fazei solide a solului (cm<sup>3</sup>), V<sub>p</sub> – volumul porilor (cm<sup>3</sup>)

Analizând valorile maxime înregistrate în nouă puncte pe o adâncime de 45 de cm la intervale de 2,5 cm în municipiul Cluj-Napoca, a rezultat că primii 5 cm de sol sunt compactați ușor, urmași de o compactare severă în următorii 40 cm de sol analizat [82].

### 2.3.3. Sistemul hidrologic urban

Sistemul hidrologic reprezintă faza terestră a ciclului apei în natură. Volumul total de apă la un moment dat fiind constant, este considerat un sistem închis în care diferența dintre masele de apă intrate și ieșite dintr-un spațiu hidrografic reprezintă volumele de apă acumulate [119].



**Figura 2.8.** Schema interactivă a sistemul hidrologic [119] (aprobare Cătălin Simota)

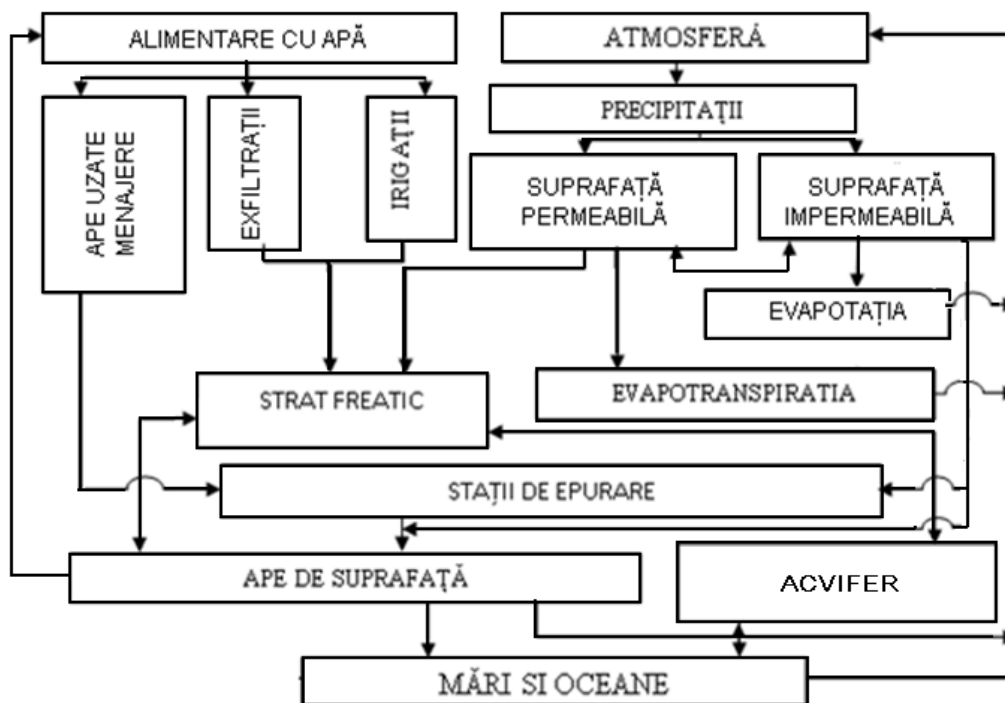
Factorii climatici care influențează circulația apei în natură sunt evaporarea și precipitațiile atmosferice.

Sistemul hidrologic urban diferă datorită elementelor noi antropice apărute. Ca și intrări în sistem, pe lângă apa provenită din precipitații, avem cantitatea de apă introdusă în sistem de către om prin sistemul de alimentare cu apă. În spațiul urban freaticul este alimentat și de apa provenită din pierderile rețelelor de



alimentare cu apă, canalizare și de irigații ale orașului. În ceea ce privește apa provenită din precipitația netă, doar o parte alimentează freaticul, restul transformându-se în scurgere de suprafață ajungând, prin intermediul sistemului de drenaj, în cursurile de apă de suprafață. Zonele impermeabile din interiorul zonei urbane duc la creșterea debitelor scurse de suprafață și la scăderea infiltrației apei în freatic/acvifer.

Sistemul hidrologic urban este total diferit de sistemul hidrologic natural atât prin modificări asupra factorilor hidrologici, cât și prin apariția de noi elemente. Luându-ne după F.H.M. van de Ven (1990), în figura de mai jos găsim o schematizare a sistemului hidrologic urban în care se ilustrează elementele sistemului hidrologic urban împreună cu conexiunile care există între acestea.



**Figura 2.9.** Sistemul hidrologic urban

Zonele impermeabile alături de rețeaua de alimentare cu apă sunt elementele cheie în sistemul hidrologic urban; existența acestora nu duce doar la modificarea proceselor fizice și a raportului dintre ele, cât și la apariția de noi procese fizice în sistemul hidrologic urban.

#### **Bilanțul apei în zona urbană**

Bilanțul apei este bilanțul între cantitatea de apă care intră în sistem, apa stocată, existentă și acumulată (bazine de retenție, sol, etc.) și cantitatea de apă

care iese din sistem într-un anumit interval de timp. Cleugh et al., (2005) a simplificat ecuația de bilanț a apei în zona urbană a lui Grimmond și Oke (1991):

$$P + I = ET + D + \Delta S \quad (1)$$

unde: P – cantitatea de precipitații căzută;  
I – debitul din sistemul de alimentare cu apă;  
ET – evapotranspirația;  
D- debitul din rețeaua de canalizare (menajer și pluvial);  
 $\Delta S$  – apa stocată în sistem.

Infiltrarea apei în sol este un proces fizic important a sistemului hidrologic și influențează bilanțul apei în zona urbană [23].

O zonă urbană, cu o suprafață impermeabilă de 35-50%, duce la generarea unei scurgeri de suprafață de 30% din precipitația căzută, 35% se infiltrază în sol iar 35% se întoarce în atmosfera prin evapotranspirație. O zona urbana în care suprafața impermeabila este de 75-100% din suprafața totală, 55% din precipitația căzută formează scurgerea de suprafață, 15% se infiltrază iar evapotranspirația este de 30% [135].

### **Rolul bilanțului apei în zona urbană**

Rolul realizării unui bilanț al apei în zona urbană în etapa de proiectare și implementare a unui sistem integrat de management al apei urbane a fost subliniat de F.H.M. van de Ven, (1990). Deoarece în acest studiu nu se face referire la efectul care îl are dezvoltarea zonelor urbane asupra calității apei, rolul bilanțului apei urbane este prezentat din punct de vedere al cantității de apă:

- este necesar să se realizeze bilanțul apei în zona urbană pentru a se stabili impactul dezvoltării zonelor urbane asupra mediului;
- bilanțul apei în zona urbană este o metodă pentru proiectarea și implementarea unui sistem de management integrat al apei urbane sau un mod mai simplu de explicare a fezabilității unui sistem integrat de management al apei urbane propus;
- se pot folosi instalații de infiltrare a apei pentru a reduce debitul de apă scurs de pe suprafața urbană provenită din precipitații.

### **2.3.4. Inundațiile urbane**

Cele mai vechi documentații cu privire la creșterea scurgerii de pe suprafață din zona urbană datează din 1800 (Kuichling 1889 citat de Dietz 2007) [26].

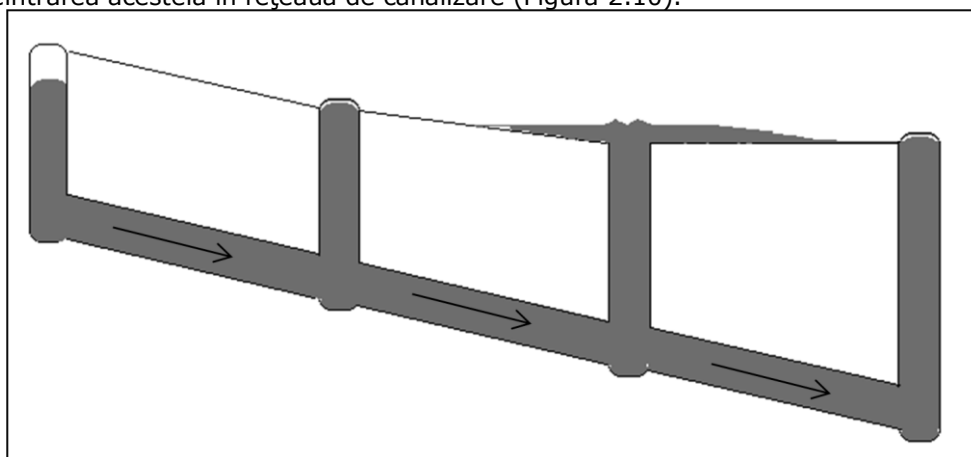
Inundațiile în zona urbană pot fi cauzate de viituri, râuri (ieșirea râurilor din matcă), ape costiere, dar și de așa numitele inundații urbane.

Creșterea semnificativă a apei în râuri se datorează, în general, scurgerii apei de pe versanți (când solul este saturat) și de pe suprafețele impermeabile din zona urbană. Atunci când precipitațiile sunt de lungă durată creșterea apei în cursul principal se face treptat, creșterea bruscă a apei în cursul principal se realizează la precipitații de scurtă durată și intensitate mare. Creșterea suprafețelor impermeabile în zona urbană poate spori problemele legate de inundații.

Probabilitatea apariției inundațiilor crește în momentul în care capacitatea de câmp a solului scade.

Inundațiile urbane apar datorită lipsei sistemului de drenaj într-o zonă urbană, existența unor zone depresionare din care apa nu are acces la sistemul de canalizare și în cazul în care sistemul de canalizare al orașului nu are capacitatea necesară pentru scurgerea apelor provenite din precipitația căzută.

Datorită procesului rapid de concentrare a apelor căzute pe suprafața urbană au loc modificări majore în regimul de curgere din canale și din cursurile de apă de suprafață. Precipitațiile ridicate căzute pe zona urbană pot afecta performanțele sistemelor de canalizare ducând la funcționarea sub presiune a acestora. În aceasta situație apa intră în sistemul de canalizare printr-un loc și iese (uneori artezian) prin căminele de canalizare din zonele aval față de zona de intrare. Are loc, astfel, bătărea apei pe suprafața solului până când condițiile permit reintrarea acesteia în rețeaua de canalizare (Figura 2.10).



**Figura 2.10.** Schematizarea unei inundații urbane survenite în urma supraîncărcării rețelei de canalizare

Inundațiile urbane sunt o perturbare majoră a vieții de zi cu zi din oraș, având deseori ca efect obstrucționarea traficului, întreruperea temporară sau permanentă a activității economice, întâzieri în livrarea produselor, reducerea exportului. Daunele economice pot fi uneori mari, în funcție de activitățile care se desfășoară în zonă, dar de obicei nu există victime omenești sau numărul acestora este foarte limitat, deoarece nivelul apei crește treptat. În cazul în care orașul este pe teren plat, timpul de retenție al apei la suprafața solului este mare, neperturbând însă în totalitate activitățile cotidiene.

În ultimul secol comunitățile umane supuse inundațiilor au depus un efort pentru a se proteja împotriva inundațiilor urbane. Printre măsurile de prevenire și protecție împotriva inundațiilor se numără:

- Reabilitarea sistemului de drenare, în situația în care rețeaua de drenaj este veche, subdimensionată și nu mai face față precipitațiilor căzute;
- Realizarea unor construcții de stocare a apei, amplasate pe rețeaua de canalizare sau înainte de intrare a apei în rețea. Astfel de soluții sunt aplicate în situațiile în care reabilitarea nu se explică din punct de vedere

economic, sau când redimensionarea este greu de realizat din punct de vedere tehnic.

- Refuncționalizarea zonelor abandonate;
- Lucrări de intervenție rapidă cu saci cu nisip, diguri modulare, pompe etc. Aceste soluții sunt adoptate în special în cazul necesității protejării unor obiective social-economice, și nu numai;
- Hidrozolarea fundației clădirii, supraînălțarea intrării în subsol dacă aceasta pornește de la suprafața solului, prevederea cu clapete de sens sau pompe a conductelor de canalizare din clădiri înainte de intrarea în rețeaua orașului pentru protecția construcțiilor, în special a subsolurilor,;
- Verificări periodice la rețeaua de drenaj;
- Monitorizarea permanentă a debitelor din rețeaua de drenaj în mai multe puncte;
- Implementarea unui sistem integrat de evaluare a riscului;
- Realizarea unui plan de acțiune a autorităților în caz de inundații;
- Asigurarea organizării și dotării corespunzătoare a serviciilor de intervenție;
- Accesul populației la informații privind zonele cu risc de producere a inundațiilor urbane;
- Mediatizare a serviciilor de intervenții;
- Dezvoltarea unui sistem de management integrat al deșeurilor din spațiul urban (colectare, transport, curățare străzi etc. );
- Organizarea și susținerea de programe de educare și conștientizare a populației privind încurajarea minimizării ajungerii în rețeaua de canalizare a unor resturi (uleiuri, grăsimi etc.) care pot obtura secțiunea de curgere a canalului și a materialelor care duc la înfundarea acestora;
- Redirecționarea traficului;
- Întreținerea spațiilor verzi din jurul clădirilor;
- Îmbunătățirea drenajului natural al solului din parcuri, zone verzi neamenajate etc.

## 2.4. Precipitațiile urbane - Schimbări climatice locale

Precipitațiile atmosferice sunt forme ale apei din atmosferă care se depun pe suprafața pământului (ploaia, zăpada, grindina, chiciura, roua, bruma) [69].

Un eveniment de ploaie se caracterizează prin intensitatea  $i$  [mm/min], durata  $t$  [min] și frecvența  $1/N$  [1/ani]. Analiza caracteristicilor ploilor se bazează pe existența unor relații statistice între ele, procedeu cunoscut ca ecuații sau curbe IDF. Curbele IDF de pe teritoriul României s-au realizat prin analiza cantităților de precipitații peste anumite praguri selectate pentru diferite durate, și determinarea distribuției spațiale și a variabilității intensității ploilor în timp. Relația dintre intensitatea precipitațiilor pentru anumite durate cu perioada de revenire au fost obținute pe baza analizei de frecvență utilizând funcția de distribuție Gumbel iar variabilitatea temporală a fost analizată cu ajutorul statisticii Mann Kendall.

Există trei mecanisme principale generatoare de precipitații [2]:

- precipitațiile legate de trecerea unei perturbări frontale. Schematic o astfel de tulburare este caracterizată prin trecerea succesivă a două fronturi calde urmate de un front rece; fronturile calde și reci sunt fronturi asociate cu precipitații de naturi diferite; fronturile calde produc ploaie de intensitate redusă dar de lungă durată, în timp ce fronturile reci pot duce la precipitații cu intensități foarte mari pe plan local;

- precipitații orografice generate de prezența unei bariere (muntoase) care împiedică progresul unei mase de aer umed, poate provoca o creștere a fenomenelor de convergență;
- precipitațiile în timpul unei convecții locale. O încălzire a straturilor inferioare ale atmosferei le face instabile, apărând fenomenul de convecție. Aceasta este o cauza majoră de precipitații în zone unde încălzirea atmosferei este favorizată de vânturile slabe și radiațiile solare puternice.

Zonele urbane au condiții climatice speciale, temperatura atmosferică este mai mare decât în zonele periferice sau rurale iar radiația solară este mai puternică și variază în funcție de gradul de poluare, densitatea urbană, orientarea străzilor și umbra clădirilor. Cercetările au evidențiat și convergența aerului din stratul inferior spre zona centrală a orașului. Acest fenomen decurge logic din existența insulei de căldură care are ca efect o stratificație termică instabilă în atmosfera din zona urbană și atragerea aerului din împrejurimi.

Există o interacțiune permanentă între fenomenele la scară sinoptică (macroscară) și cele la scară locală (micro- și mezoscară) însă nu există o diferențiere netă între elementele care definesc condițiile sinoptice și cele ce definesc condițiile locale [98].

Prima documentare asupra faptului că zonele urbane induc modificări în precipitațiile atmosferice a fost documentată de Landsberg (1956) în Tulsa, Oklahoma [62].

Puține studii au examinat în mod explicit impactul expansiunii urbane asupra precipitațiilor atmosferice, rezultatele indicând faptul că intensificarea precipitațiilor în spațiul urban depinde de mărimea orașului, industria locală, insula de căldură [48], [9], [86] și umiditatea scăzută [27].

Suprafețele impermeabilizate, gradul de acoperire al terenului, structura orașului, alături de convecțiile de aer sunt condiții propice generării de nori. Praful și aerosolii fluizi gazoși determină crearea de nuclee de condensare care de asemenea sunt un factor important de formare a precipitațiilor.

Foarte multe nuclee de condensare se găsesc în atmosfera orașelor, mai ales a orașelor mari. Aceștia sunt răspunzători de creșterea nebulozității și cantității de precipitații. Alături de influența insulei de căldură urbană, intensificări ale convecției termice, încălzirea vaporilor de apă, diferența de înălțime a clădirilor creează turbulența mecanică, existența în atmosfera urbană a particulelor și poluanților determină schimbări ale regimului precipitațiilor. Câteva studii despre precipitațiile urbane au arătat că importanța fiecărui dintre acești factori nu a fost bine determinată.

Influența orașului asupra formării norilor se produce pe mai multe căi. Una dintre acestea este supraîncălzirea orașului provocând apariția curenților ascendenți însoțiți de o cantitate apreciabilă de nuclee de condensare. Condensarea începe la nivelul unde, datorită răcirii adiabatică, aerul aflat în mișcare ascendentă atinge temperatura punctului de rouă. Iau astfel naștere nori cumuliformi, de convecție termică.

Un alt mod de manifestare a influenței orașului asupra formării norilor constă în frânarea volumelor de aer care, în deplasarea lor de-a lungul suprafeței terestre sunt obligate să escaladeze cupola urbană de aer staționar. Escaladarea presupune răcirea aerului conform gradientului adiabatic al aerului nesaturat ( $1^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ ) care, fiind mai mare decât cel al aerului din regiunea înconjurătoare, determină o coborâre a nivelului de condensare, formând nori.

Studiul climatului urban, mai ales a celor puternic industrializate, a devenit o problemă importantă pentru soluționarea problemelor ce apar datorită suprapopulării, studii la care își dau concursul meteorologi, climatologi, geografi, fizicieni, inginerii etc.

## **2.5. Efectul dezvoltării zonelor urbane asupra cursurilor de apă de suprafață**

Se cunoaște faptul că apa de precipitații scursă de pe suprafața urbană are un impact serios asupra emisarului prin degradarea calității apei, eroziune și distrugerea habitatului [76] [104] [79] .

Adițional, creșterea suprafețelor impermeabile duce la creșterea temperaturii în cursurile de apă de suprafață [150] , la creșterea scurgerilor de suprafață a apei din precipitații, la reducerea debitelor de bază [69] [11] [53] [10] [44] datorită scăderii reîncărcării hidrice a acviferului [69] [150] și la creșterea frecvenței inundațiilor locale [41].

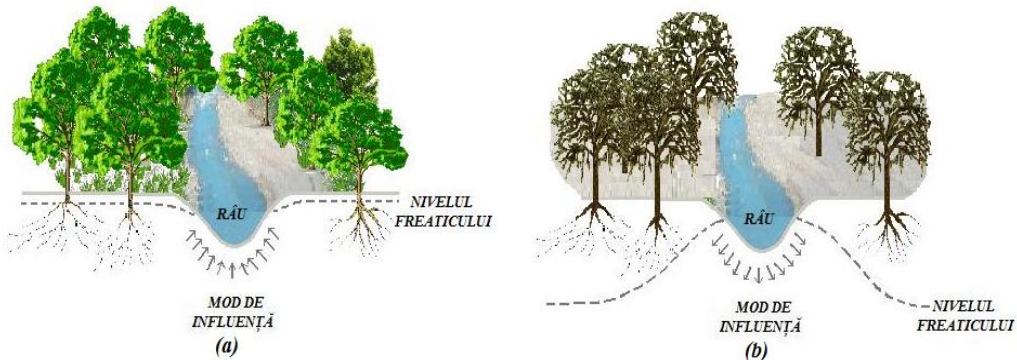
„Consecințele hidrologice a extinderii zonelor urbane au fost de mult timp consemnate pentru evenimente de precipitații izolate, dar consecințele pe termen lung au fost foarte puțin studiate” [8].

Înlocuirea culturilor agricole, câmpurilor și pădurilor cu suprafețe impermeabile duce la intensificarea scurgerilor de suprafață, facilitează eroziunea albiei cursurilor de apă și are loc o variație a debitelor de încărcare a acviferelor [94].

Shin-jen Cheng și Ru-yih Wang (2002) au studiat extinderea zonelor urbane în bazinul hidrografic Taiwan Wu-Tu și au concluzionat că modificările realizate în ultimele trei decenii au dus la creșterea vârfului hidrografului cu 27% iar timpul de concentrare s-a redus cu 4 ore.

Constanta de adâncime a scurgerii de bază (parametru utilizat pentru a caracteriza rata de scădere a scurgerii de bază în timpul verii) a fost de 35 - 40% mai mică în bazinele hidrografice în care se găsesc zone urbane decât în cele în care nu există zone urbane [85].

În urma studierii a zece cursuri de apă de suprafață de pe lângă Austin, Texas, Chan Yong Sung și Ming-Han Li au observat că debitele scurse în cursurile de apă devin tot mai intermitente pe măsură ce gradul de urbanizare a bazinului hidrografic crește. Pe baza rezultatelor obținute au concluzionat că în cazul bazinelor hidrografice din zonele de deal existența zonelor urbane nu a dus la creșterea riscului la inundații provocate de cursurile de apă ci la scăderea nivelului apei în timpul perioadelor secetoase [19]. Aceste variații ale debitelor din cursurile de apă de suprafață se explică datorită interacțiunii care există între cursurile de apă de suprafață și nivelul apei freatice [108].



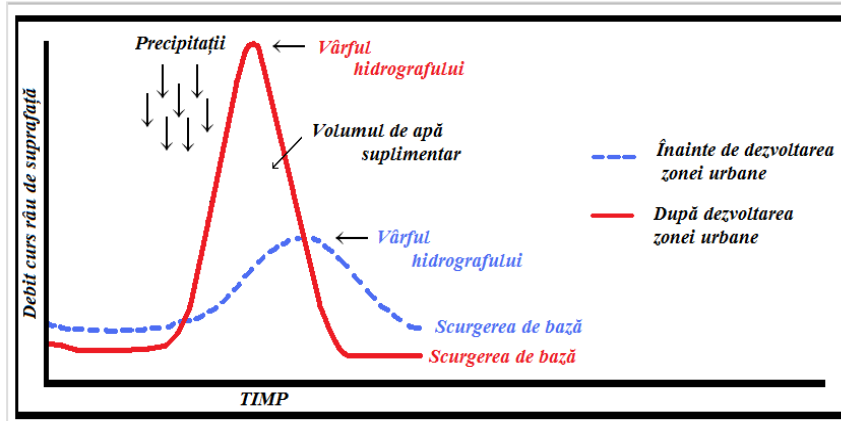
**Figura 2.11.** Interacțiunea dintre cursurile de suprafață și stratul freatic: a - freaticul alimentează cursul de apă de suprafață; b - freaticul este alimentat din cursul de apă de suprafață.

Interacțiunile dintre acvifer și apele de suprafață sunt complexe [92], înțelegerea acestei interacțiuni este importantă pentru managementul și știința apei [109].

Debitele din cursurile de apă permanente, intermitente (periodice), sau efemere depind de regularitatea scurgerii de bază care este determinată de nivelul apei subterane [37]. Mișcarea apei subterane se face de-a lungul unor căi de curgere care sunt organizate în spațiu și formează sistemul de curgere [92].

Larkin și Sharp (1992) (citat de Sophocleous M., 2002) au clasificat sistemul curs de apă de suprafață-acvifer în funcție de direcția de curgere a fluxului de apă a acviferului freatic: (1) componenta dominantă este curentul subteran când fluxul subteran se mișcă paralel și în aceeași direcție cu râul; (2) componenta dominantă este scurgerea de bază când fluxul subteran se mișcă perpendicular pe direcția râului indiferent dacă râul alimentează sau este alimentat de acviferul freatic; (3) mixt [92] [61].

În figura de mai jos se poate observa o comparație între scurgerea de bază a cursului de apă de suprafață într-un bazin hidrografic în care există zone urbane și scurgerea de bază a aceluiași curs de apă în situația în care înlocuim zona urbană cu un cadru natural [21] [89].



**Figura 2.12.** Impactul dezvoltării zonelor urbane asupra regimului de scurgere a cursurilor de apă de suprafață (realizat după Clar et al., 2004)

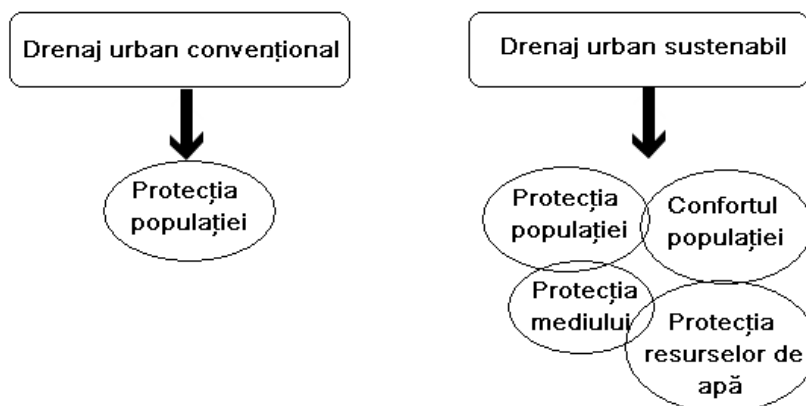
Booth et al. (2004) nu au găsit nici o dovadă asupra faptului că impactul extinderii și dezvoltării zonelor urbane poate fi total redus.



### 3. SISTEMUL DE DRENAJ PLUVIAL SUSTENABIL

„În România, balanța hidrologică este negativă, adică se evaporă mai multă apă decât se poate suplini prin precipitații. Colectarea apei de ploaie s-a făcut foarte puțin și doar cu scopul de a beneficia de o rezervă de apă pentru irigarea grădinii din jurul casei, în sezonul secetos. Dacă ținem seama că apa e tot mai scumpă și sezonul secetos pare mai lung decât în anii trecuți, colectarea, stocarea sau infiltrarea apei pluviale poate fi o soluție mai ales pentru casele construite în afara orașelor, unde poluarea este foarte redusă” [117].

Dacă până în prezent sistemul de drenaj al orașului era proiectat pentru protecția împotriva inundațiilor prin eliminarea cât mai rapidă a apelor pluviale căzute pe suprafața urbană, prin sisteme de canalizare separate sau unitare (până în 1990) sau printr-un sistem de canalizare separativ combinat cu bazine de retenție (după 1990), acum se încearcă crearea unui sistem de drenaj sustenabil care să țină cont atât de protecția și asigurarea unui confort populației cât și de protecția mediului înconjurător și a resurselor de apă (Figura 3.1.). Sistemul de drenaj sustenabil se realizează prin introducerea Metodei de Impact Minim (MIM) în interiorul sistemului, rezultând un sistem interconectat de rețea canalizare pluvială - sisteme de bioretenție - sisteme de infiltrație - bazine de retenție.

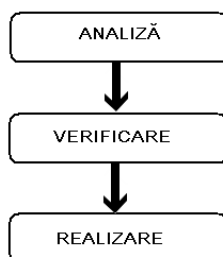


**Figura 3.1.** Scopul celor două tipuri de drenaje, Drenajul urban convențional și Drenajul urban sustenabil

MIM (Metoda Impactului Minim) [97] este un concept nou în managementul integrat al apei urbane fiind una dintre măsurile aplicate pentru menținere condițiilor hidrologice din zona urbană aproape de cele estimate în ipoteza în care zona urbană este zonă naturală. Toate spațiile verzi au funcționalitatea de a menține apa provenită din precipitații în interiorul sistemului

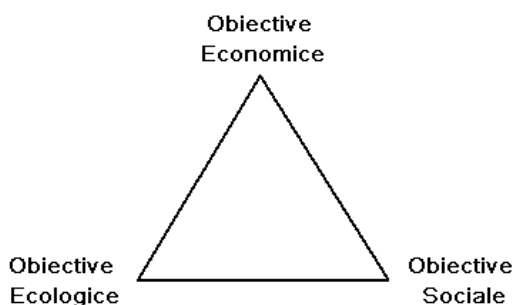
(zonei urbane), prin implicarea proceselor naturale în reducerea scurgerilor de suprafață (intercepția și facilitarea infiltrației).

În proiectarea sistemului de drenaj sustenabil trebuie să se urmeze următorii pași: analiză, verificare, realizare.



**Figura 3.2.** Pașii urmăriți în proiectarea sistemelor de drenaj sustenabil

Obiectivele care se doresc să se atingă sunt sociale, economice și ecologice, Figura 3.3.



**Figura 3.3.** Obiectivele sistemelor de drenaj sustenabil

Prin sistemul de drenaj sustenabil se dorește crearea condițiilor hidrologice naturale, prin gestionarea (gospodărirea) scurgerii de suprafață cât se poate de aproape de sursă, atât prin diferite practici de infiltrație, retenție, evapotranspirație, precum și prin creșterea timpului de concentrare a bazinului. MIM conține un set de strategii care să minimizeze scurgerea de suprafață și distribuția ei, practici structurale la scară mică care să imite condițiile hidrologice naturale. Minimizarea acestora are loc prin procese de infiltrație, evapotranspirație, prin colectarea, filtrarea și stocarea apei de ploaie. Aceste practici pot elimina nutrienții, patogenii și metalele din apa scursă de suprafață și reduc volumul și intensitatea debitului de apă de ploaie scursă [136].

Tipul diferit de acoperire și utilizare a terenurilor generează constrângeri diferite în implementarea practicilor MIM: distanța față de surse de fundații; distanța față de surse de apă; distanța față de acvifer freatic sau primul strat impermeabil; rata de infiltrație a solului nativ de sub unitate; disponibilitatea terenurilor pentru implementare; potențial de utilizare în scop recreativ; cost; întreținere etc.

Instalațiile de colectare și infiltrare a apei provenită din precipitații conține: (1) sistemul de colectare și transport/ghidare a apei format din jgheaburi, burlane, canale/conducte transport; (2) sistemul de epurare a apei, pentru a preveni ajungerea poluanților din apele meteorice în freatic; (3) sistemul de infiltrare/percolare care trebuie să țină cont de caracteristicile locale ale solului și trebuie dimensionat la suprafața impermeabilă pe care o tratează.

Caracteristica principală a unui sistem de infiltrare a apei este capacitatea acesteia de a filtra toată apa provenită dintr-o ploaie de intensitate maximă a unui eveniment statistic cu probabilitate de producere de unu la cinci ani [151].

Conform Standardului DWA-A 117E „Dimensioning of Stormwater Retention Volumes”, dimensionarea unităților de percolare a apei meteorice trebuie să se realizeze fie:

1. Printr-un proces simplu de dimensionare folosind date statistice ale precipitațiilor
2. Verificarea eficienței prin realizarea unei simulări a procesului precipitație-scurgere de suprafață pe termen lung.

### 3.1. Unități de bioretenție

O unitate de Bioretenție este formată dintr-un strat de sol poros acoperit de un strat subțire de „resturi vegetale”, cu sau fără sistem de drenaj. Sistemul de drenaj al apei la sistemele de Bioretenție este recomandat în cazul în care solul existent nu permite percolarea apei, situație care se poate întâlni în interiorul zonelor urbane.

Cunoscută la noi mai mult sub denumirea de „grădină de ploaie”, o unitate de Bioretenție este formată dintr-un strat de sol poros acoperit cu un strat subțire de „resturi vegetale”, cu sau fără sistem de drenaj. Sistemul de drenaj al apei la sistemele de Bioretenție este recomandat în cazul în care solul existent nu permite percolarea apei, situație des întâlnită mai ales în zonele urbane. În mod normal utilitățile de Bioretenție sunt integrate în planurile locale de dezvoltare (de verificat cum se numesc la noi) și sunt amplasate în așa mod încât să intercepteze scurgerea de suprafață lângă sursă.

Sistemele de Bioretenție conțin mai multe straturi: (1) cel de la suprafață, unde se pot planta diferite tipuri de iarbă, arbuști și pomișori pentru a facilita evapotranspirația, a menține porozitatea solului, susține activitatea biologică și a prelua o parte din poluanții care se găsesc în apele de precipitații. Acesta are capacitatea de reținere a apei la suprafața terenului de 15-23 cm; (2) al doilea strat este format din diferite tipuri de amestec (material mixt) astfel încât să se asigure infiltrarea apei în sol și are o grosime de aproximativ 60 cm. Materialul mixt folosit are în general 60% nisip, 25% compost și 15% sol vegetal [123]; (3) strat de nisip spălat de 5 cm grosime; (4) strat drenant din piatră și tub drenaj.

Proiectarea unităților de Bio-retenție se face în funcție de așezarea geografică, relief și tipul suprafeței de pe care se colectează apele meteorice (DWA-A 138E). Dimensionarea și selecția materialului vegetal trebuie să se realizeze astfel încât să asigure absorbția/anihilarea poluanților din apele meteorice și să aibă capacitatea de a prelua și infiltra/percola apele meteorice scurse.

Se cunoaște faptul că apa pluvială scursă de pe suprafața urbană conține nitrogen, fosfor și metale grele [80], [110].

Conform North Carolina's Department of Environment and Natural Resources (DENR), „Prin unitățile de Bio-retenție plantele și solul sunt folosite

pentru îndepărtarea poluanților din apele meteorice scurse de pe suprafață prin absorbție, filtrare, sedimentare, volatizare, schimb de ioni, și prin descompunere biologică. Pe lângă toate acestea, unitățile de Bioretenție asigură și un habitat și peisaj plăcut” [17].

Într-o unitate de bioretenție îndepărtarea poluanților se face de la suprafață de către plante, și în stratul de sol datorită proceselor care au loc.

Unitățile de bioretenție sunt cele mai bune practici LID care pot fi folosite atât datorită capacității de retenție/infiltrare și epurare a apei pluviale, cât și datorită costului scăzut comparativ cu celelalte practici.

Sistemele de bioretenție pot fi grădini de ploaie, acoperișuri verzi, plantații stradale etc.

### Grădinile de ploaie

Grădinile de ploaie sunt sisteme de bioretenție amplasate aval de suprafețele de pe care preiau apa de ploaie pentru a o infiltra în sol. Pe lângă caracteristica de sistem de infiltrare pe care o au [25] [111], grădinile de ploaie au și capacitatea de epurare a apei de ploaie prin reținerea unor poluanți [116] precum azotul total (TN), azot amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) [25] [51], azotul nitrat (NO<sub>3</sub>-N), cupru (Cu), plumb (Pb), zinc (Zn) [51], fosfat și atrazin [111].

În general grădinile de ploaie au un strat de mediu poros de 0.7-1.0 m [24] și unul de pat balast (dacă este necesar). Apa poate bălți la suprafața terenului având o adâncime de până la 15 cm [24] (Figura 3.4.).



**Figura 3.4.** Secțiune printr-o grădină de ploaie rezidențială (imagine Aedificatoria, photoshop arh. Rusu Loredana)

Capacitatea de câmp și permeabilitatea grădinilor de ploaie depinde de tipul de mixtură folosit (% compost, % sol vegetal, % nisip) [17], [18]. Procentul ridicat de nisip asigură o permeabilitate mai mare a mediului poros folosit, iar un procent ridicat de compost duce la creșterea capacității de câmp a mediului [17]. Performanța unei grădini de ploaie este redusă în sezonul rece când temperaturile atmosferice coboară sub 0°C [73]. În timp, datorită acumulării de sedimente, poate avea loc închiderea porilor din mediul de creștere. Jenkins et al. nu au observat schimbări în capacitatea de infiltrare a grădinii de ploaie după șapte ani de măsurători [52].

Conform Iowa Rain Garden - Design and Installation Manual, grădinile de ploaie trebuie amplasate în zonele în care nivelul apei freatice este mai scăzut, trebuie să fie cel puțin 1.2 m de profil de sol între fundul unei grădini de ploaie și freatic sau stratul impermeabil [123].

### Plantații stradale

Plantațiile stradale sunt precum grădinile de ploaie, unități de bioretenție destinate colectării, stocării, infiltrării și tratării apei de precipitații. Pot fi dimensionate pentru a infiltra total sau parțial apa pluvială pe care o colectează. Plantațiile stradale se amplasează pe marginea străzilor, în piațete sau bulevarde, fiind încadrate în arhitectura peisajeră a zonei; au rolul de a colecta apa pluvială de pe străzi, trotuare sau alte tipuri de suprafețe impermeabile (Figura 3.4.).



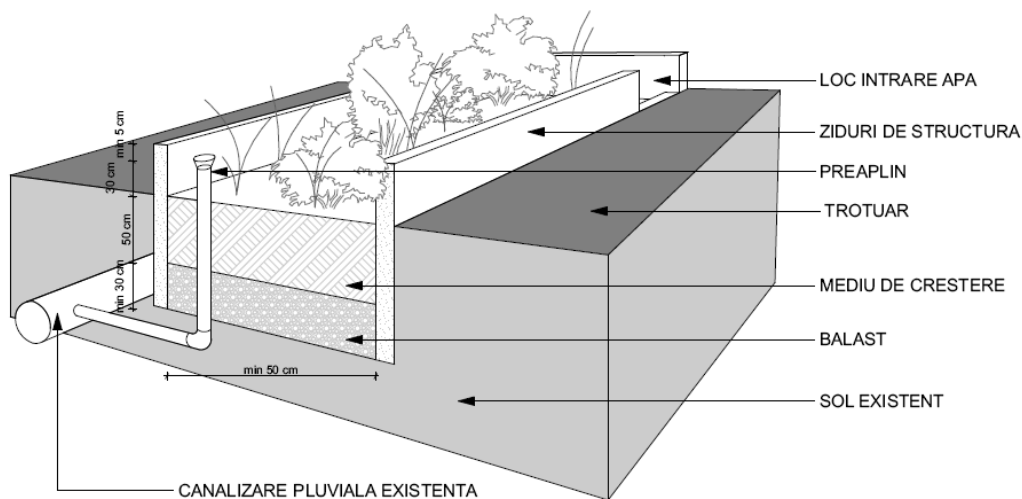
(a)

(b)

**Figura 3.4.** Simulare fotografică a unei plantații stradale (a) înainte de construire, (b) după construirea de plantații stradale (photoshop arh. Rusu Loredana)

Elementele componente ale unei plantații stradale sunt: loc intrare apă meteorică de pe străzi, preaplin, zid beton care împrejmuește unitatea; staturile componente: strat vegetal, mediu de creștere, strat balast (Figura 3.5.).

Trebuie să existe cel puțin 3 m între o plantație stradală și fundația clădirilor.



**Figura 3.6.** Profil transversal unitate de plantație stradală (adaptat după Manualul de Management al apei Pluviale emis de Portland)

Apa de pe suprafața impermeabilă este direcționată spre unitate și intră în acesta prin partea din amonte. Mediul de creștere trebuie să aibă o grosime de aproximativ 50 cm, iar stratul de balast de sub acesta o grosime de minim 30 cm. Plantațiile stradale sunt astfel concepute încât să asigure bălțirea apei într-un strat de aproximativ de 30 cm.

Panta trebuie să asigure atât bălțirea apei cât și curgerea acesteia de la locul de intrare (cota cea mai mare) la preaplin (amplasat în capătul din aval), pentru a se facilita infiltrarea apei în sol; o unitate nu trebuie să aibă panta mai mare de 0.5% [118]. În situația în care debitul intrat este mai mare decât capacitatea de infiltrare și stocare a unității apa părăsește sistemul prin preaplinul conectat la rețeaua de canalizare.

Rolul zidurilor structurale este să asigure preluarea și transmiterea încărcărilor, fără să periclitizeze siguranța și integritatea unității. Zidurile pot fi realizate din beton, cărămidă, piatră sau alte elemente structurale [118].

### Acoperișuri verzi

În ultimele decenii, în special în țările dezvoltate (Germania, SUA, New Zealand etc.) au început să se folosească tot mai mult acoperișurile verzi ca și metodă de creare a condițiilor naturale în interiorul orașelor.

Prin acoperișuri verzi se înțelege realizarea unui înveliș vegetal pe acoperișurile tip terasă sau pe acoperișurile șarpantă cu pantă mică, cu respectarea regulilor de hidroizolare a clădirilor. Se crede că acoperișurile verzi pot fi soluția a trei dintre cele mai probleme cu care se înfruntă omenirea în următorii 50 de ani, și anume energia, apa și mediu [49].

În figura de mai jos se poate observa o simulare fotografică a unui acoperiș verde extensiv de pe o clădire cu patru etaje prevăzută cu acoperiș tip terasă hidroizolat cu bitum.





(a)

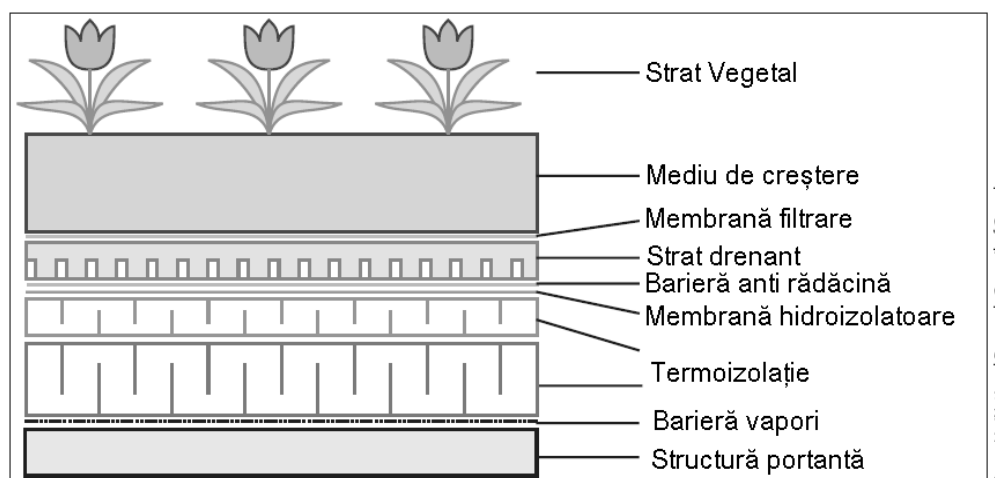


(b)

**Figura 3.7.** (a) acoperiș terasă clădire patru etaje (b) acoperiș verde extensiv (Poză Eduard Schneider, Simulare fotografică Rusu Loredana)

Avantajul acoperișurilor verzi este acela că performanța lor nu depinde de capacitatea de infiltrare a terenului și pot fi folosite în prevenirea inundațiilor urbane și în limitarea impactului apelor pluviale din zona urbană asupra stației de epurare a orașului, datorită: (1) reducerii debitelor de apă meteorică care intră în sistemul de canalizare; (2) atenuarea vârfului hidrografului debitelor scurse și (3) creșterea timpului de concentrare. De asemenea, în perioadele dintre precipitații duce la creșterea evapotranspirației în mediul urban și la scăderea temperaturilor din clădiri vara [63]. Evaporația de la acoperișurile verzi din Germania (cu o grosime de 5 și 12 cm) poate contribui la 60-79% din precipitațiile anuale [60].

Un acoperiș verde poate avea mai multe straturi în funcție de tipul acoperișului. Straturile unui acoperiș verde tipic sunt: strat vegetal, mediu de creștere, membrană filtrare, strat drenant, barieră anti rădăcini, membrană hidroizolatoare, unul sau mai multe straturi termoizolante, barieră de vapori.



**Figura 3.7.** Stratificarea unui acoperiș verde tipic [6] (permisiune EPA)

Stratul vegetal și mediu de creștere (strat sol) depind de tipul acoperișului (intensiv, semi-extensiv sau extensiv). Se preferă utilizarea plantelor locale adaptate condițiilor climatice. Porii mediului de creștere trebuie să asigure reținerea apei necesară plantelor și drenarea surplusului de apă [63]. În cazul acoperișurilor semi-extensive grosimea stratului de sol trebuie să fie de minim 10 cm [120] iar în cazul acoperișurilor intensive între 15-120 cm [59] în funcție de plantele care se doresc a se folosi [29].

Membrana de filtrare are rolul de protecție a stratului drenant împotriva colmatării. În general stratul de drenare are rol și de reținere a apei. Stratul de drenaj poate fi format din agregate, membrane pentru drenare sau plăci drenare. Agregatele pot fi folosite doar în situația în care structura clădirii permite. Plăcile pentru drenarea apei se găsesc în comerț având diferite forme și structuri cu capacitate de stocare a apei până la 29 l/mp. Materialul din care se realizează poate fi polistiren expandat, extrudat, polistirel, PEHD, ABS etc.

Hidroizolațiile pot fi bituminoase sau polimerice, sub formă de membrane (monostrat sau bistrat, cu strat de armare) sau pelicule aplicate în situ [120].

Termoizolația se poate realiza din BCA, sticlă spongioasă, polistiren extrudat, polistiren expandat, poliuretan rigid, plăci super-rigide de vata minerală, plută aglomerată etc.

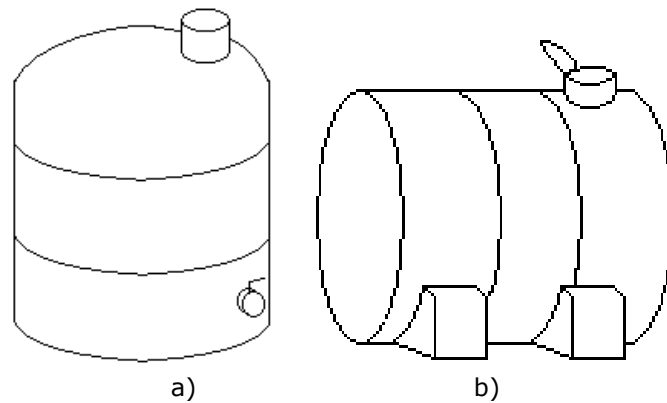
În cazul acoperișurilor înclinate este nevoie să se folosească un sistem antieroziv.

### 3.2. Unități de retenție

O soluție comună este construirea de rezervoare care să rețină apa [12], în timpul perioadelor cu precipitații lichide și temperaturi mai mari de 0°C, de pe acoperiș [40] sau de pe suprafețe mari, situație în care se construiesc pe rețeaua de canalizare pluvială.

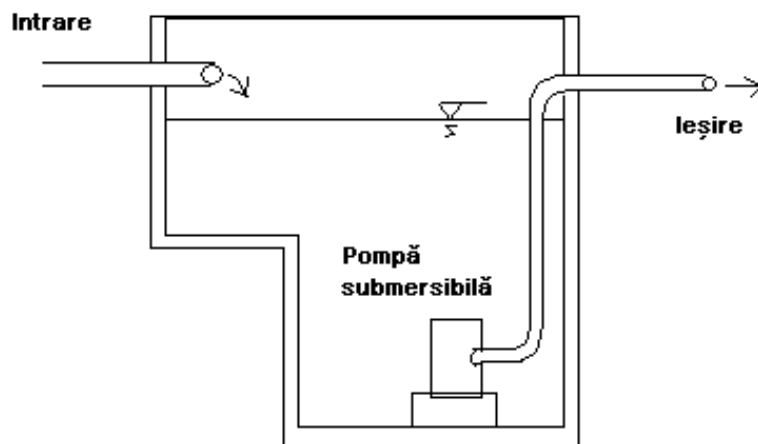
Rezervoarele de apă destinate să colecteze apa de ploaie pentru uz personal pot fi realizate din PVC, polietilenă, fibră de sticlă, beton, lemn etc., - subteran sau suprateran. Folosirea acestora are drept beneficii atât reducerea aprovizionării cu apă a zonei prin sistemul centralizat cât și reducerea scurgerii de suprafață [40].





**Figura 3.8.** Rezervor apă a) vertical, b) orizontal

În situația în care avem de-a face cu inundații urbane, iar redimensionarea rețelei pluviale nu se explică din punct de vedere economic, o soluție este amplasarea de rezervoare subterane pe rețeaua de canalizare. Apa stocată poate fi utilizată la spălarea străzilor, sau reintrodusă în rețea după finalizarea ploii. În general acestea sunt construcții din beton amplasate sub drumuri, trotuare sau spații verzi.



**Figura 3.9.** Rezervor subteran apă amplasat pe rețeaua de canalizare

Există situații în care topografia teritoriului nu permite evacuarea în emisar a apelor meteorice, cota apei din râu fiind mai mare decât cota canalului deversor. În aceste condiții o soluție ar fi construirea de rezervoare subterane de retenție prevăzute cu stăvilari, amplasate înainte de deversarea în râu.

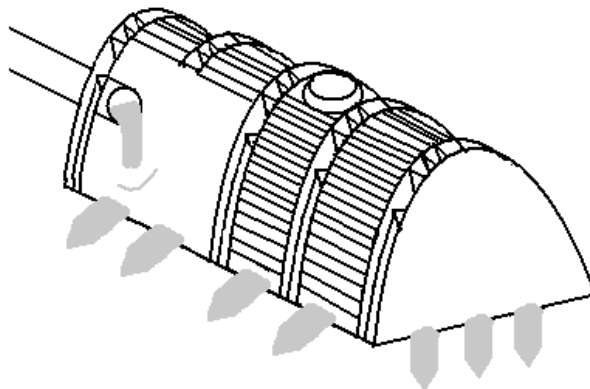
### 3.3. Sisteme subterane pentru infiltrarea apelor în sol

De-a lungul timpului s-au dezvoltat diferite sisteme de infiltrare subterană a apei precum bazine subterane de infiltrare, camere de infiltrare, sistem țevă dren – pietriș de umplutură, tunel de infiltrare, blocuri de infiltrare. Tipul materialului din care sunt executate, cât și forma, structura și dimensiunile acestora diferă de la un producător la altul.

Dimensionarea sistemelor se face în funcție de structura terenului în care urmează să se infiltreze apa, de precipitațiile din zonă și de suprafața impermeabilă de pe care se preia apa, etc. Dacă solul existent are o capacitate de infiltrare scăzută atunci aceste sisteme pot fi folosite mai mult ca și bazine de stocare în scopul utilizării ulterioare a apei (irigații, spălare străzi, antiincendiu etc.).

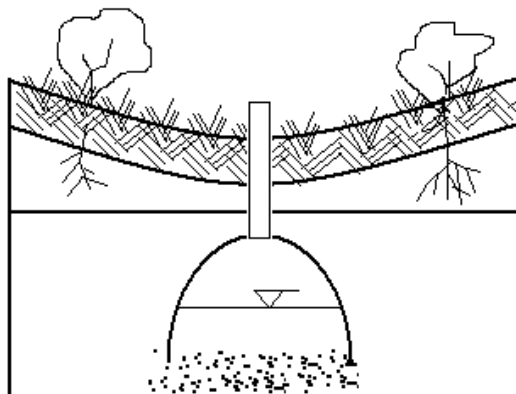
#### Sisteme tip tunel

Sistemele subterane tip tunel înlocuiesc metodele convenționale de retenție și/sau infiltrare a apelor pluviale în sol. Dimensiunea și materialul din care sunt executate diferă de la un producător la altul.

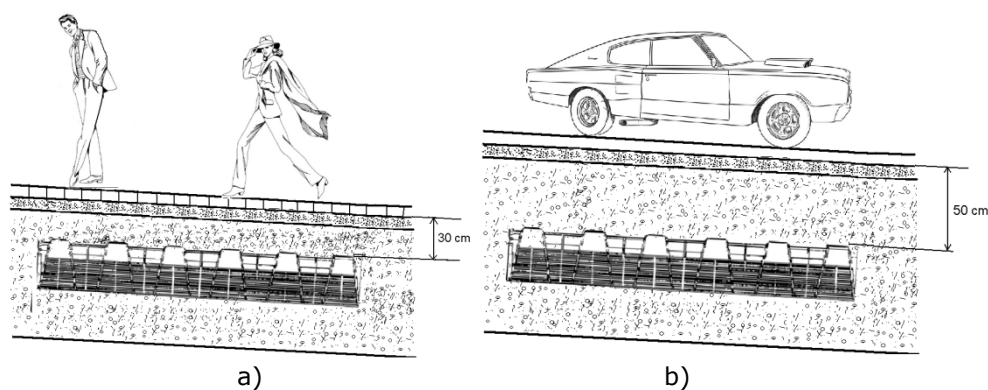


**Figura 3.10.** Sistem de infiltrare tip tunel

Sistemele se pot amplasa sub zonele înverzite, drumuri (au capacitate portanta mare –  $3,5 \text{ t/m}^2$ ) [155], parcări, trotuare, canale de pământ vegetale pentru infiltrarea apei etc..



**Figura 3.11.** Sistem tip tunel amplasat sub un canal de pământ vegetal

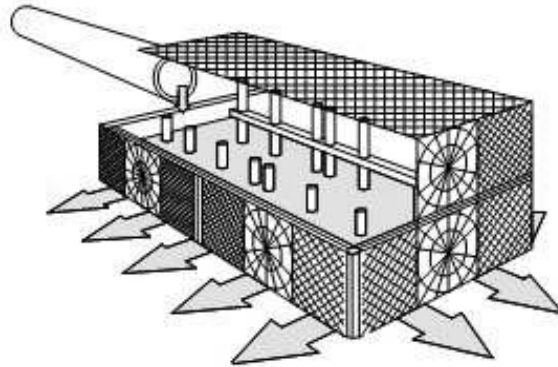


**Figura 3.12.** Sistem tip tunel amplasat sub a) trotuar, b) carosabil

Sistemele tip tunel pot asigura o infiltrare a unei cantități de apă egală cu cantitatea care s-ar fi infiltrat în condițiile în care suprafața ar fi o zonă naturală. Se poate întâmpla să se supraestimeze rata de infiltrare a solului nativ de sub unitate. Acest lucru duce la creșterea timpului de infiltrare a apei de precipitații în sol, având loc, drept urmare, umplerea tunelurilor de infiltrare și ieșirea apei la suprafață. [112].

### Blocuri de infiltrare

Sistemele subterane de infiltrare tip bloc sunt ideale pentru a fi folosite în spațiile publice și zonele industriale. Datorită capacității de încărcare mare a elementelor tip bloc, acestea pot fi aranjate în diferite forme, distribuite atât pe orizontal cât și pe vertical în funcție de limitările existente.



**Figura 3.13.** Sistem de infiltrare tip bloc

Sistemele de infiltrare subterane pot fi dificil de întreținut deoarece de cele mai multe ori se află sub suprafețe pavate, betonate sau asfaltate. Scăderea capacității de infiltrare în timp este indicatorul care ne arată că este nevoie de intervenții asupra sistemului. Sistemul este greu de inspectat, este imposibil să se intre în interior, iar reabilitarea este dificilă [1].

## 4. MODELAREA PROCESULUI PLOAIE-SCURGERE DE SUPRAFAȚĂ

La început fenomenele hidrologice se explicau prin caracterul descriptiv al acestora, erau prelucrate statistic folosindu-se teoria corelațiilor, teoria distribuțiilor și a repartițiilor. De-a lungul timpului s-au dezvoltat modele fizice pentru caracterizarea fenomenelor hidrologice. O dată cu apariția modelelor computaționale interacțiunea dintre elementele sistemului hidrologic este mai ușor de determinat.

În dezvoltarea modelelor alegerea complexității și a ecuațiilor care stau la bază se face în funcție de utilitatea lui. În realizarea planurilor de management integrat al apei sau a prognozelor de lungă durată, este de dorit să se folosească modele fizice cât mai complexe. Modelele simple care au la bază ecuații empirice sau prelucrări statistice se pot folosi pentru prognoze de scurtă durată și preliminară, datorită timpului scurt de care se dispune pentru obținerea rezultatelor.

Modificări ale modului de acoperire a terenului din timpul procesului de urbanizare produc schimbări atât în tipul cât și în magnitudinea proceselor de scurgere a apelor de pe suprafața urbană; precipitațiile căzute pe suprafața urbană ajung în cursurile de apă de suprafață într-un timp mult mai scurt decât cele căzute pe o suprafață de teren neamenajată (mediul natural). Datorită procesului rapid de concentrare a apelor căzute pe suprafața urbană au loc modificări majore în regimurile de curgere în canale, modificări asupra debitelor din canale și modificări din cursurile de apă de suprafață, putând provoca inundații urbane și inundații în zonele aval de suprafața urbană.

Precipitațiile de intensitate mare pot provoca "inundații urbane" în cazul în care sistemele de canalizare și de drenaj a orașului nu au capacitatea necesară pentru a transporta apele pluviale căzute pe zona urbană. Apa poate intra în sistemul de canalizare printr-un loc și poate să iasă prin căminele de canalizare din zonele de aval de zona de intrare, provocând inundații care au deseori ca efect obstrucționarea traficului, întreruperea temporară sau permanentă a activității economice, întârzieri în livrarea produselor, reducerea exportului.

Studiile realizate până în prezent au arătat ca dezvoltarea și expansiunea zonelor urbane duc la creșterea scurgerilor de suprafață, scăderea timpului de concentrare; avem un vârf al hidrografului scurgerii mai mare și care apare mai repede după începutul ploii [106] [20] [50] [64]. Dacă suprafața impermeabilă se dublează, vârful hidrografului scurgerii de suprafață crește cu 20% Ng și Marsalek (1989) [74]; vârfurile mici ale hidrografelor scurgerii de suprafață sunt mai afectate de mărirea suprafețelor impermeabile decât vârfurile mai mari [50]. Se poate observa modificări în hidrograful multianual al scurgerilor de suprafață, a vârfului hidrografelor și a frecvenței inundațiilor atunci când suprafețele impermeabile depășesc 35% [43].

Datorită expansiunii zonelor urbane din Zhujiang Delta din sudul Chinei scurgerea anuală de suprafață a crescut cu 8.0 mm [106].

### 4.1. Modele ploaie-scurgere de suprafață

Prima parte a secolului 20 este considerată a fi începutul unei dezvoltări dinamice a modelării ploaie-scurgere de suprafață. Din 1950 tot acest proces a fost accelerat datorită dezvoltării tehnologiei computaționale. În prezent se găsesc modele având un design complex diferit pentru problemele diferite specifice condițiilor bazinelor hidrografice. O dată cu creșterea diversității modelelor crește necesitatea înțelegerii mai bune a procesului, pentru a putea alege modelul optim pentru fiecare situație particulară [31].

Cea mai simplă metodă de calcul a debitelor scurse de pe suprafață o reprezintă utilizarea curbelor IDF și a metodei raționale.

$$Q = C \cdot i \cdot A \quad (4.1)$$

unde:

- Q – debitul maxim scurs ( $m^3/s$ ),
- C – coeficientul de scurgere (adimensional),
- i – intensitatea medie a ploii (mm/oră.),
- A – aria suprafeței ( $m^2$ ).

De aici s-a ajuns până la cele mai avansate aplicații care folosesc șiruri de date istorice ca și date de intrare pentru cele mai complicate modele computaționale.

Modelarea integrată este încă subiect provocator în cercetare. Aplicarea modelării integrate în practicile ingineresti este încă limitată datorită complexității sistemului global. În ultimii ani s-au realizat eforturi semnificative pentru găsirea unor abordări simplificate adecvate modelării urbane integrate a sistemul de ape reziduale (IUWS), și pentru a îmbunătăți disponibilitatea datelor și identificarea parametrilor modelului [72].

Alegerea modelului se face în funcție de scopul studiului și de acuratețea datelor de intrare.

#### 4.1.1. Definirea modelului ploaie-scurgere de suprafață

În lucrarea realizată de Džubáková (2010) găsim mai multe definiții dezvoltate de-a lungul timpului de mai mulți autori ale modelului ploaie-scurgere.

Modelul este definit de către Huggett (1980) ca un sistem a componentelor inter-conectate și a relațiilor dintre ele. Analiza sistemului implică dezmembrarea sistemului complex în sub-sisteme simple interconectate, scopul analizei sistemului fiind acela de a face ca sistemele complexe să fie mai ușor de înțeles (Huggett, 1980 citat în Džubáková, 2010) [31].

Wainwright și Mulligan (2005), definesc modelul ca o abstractizare a realității în modul cel mai simplu care este adecvat pentru scopul modelării. Cel mai optim model, conform autorilor, este acela care este destul de complex pentru a explica fenomenul, dar nu mai mult [103].

Singh și Frevet (2006) au definit conceptul de model al bazinului hidrografic. Conform acestora, modelele bazinelor hidrografice simulează atât procesele naturale de scurgere a apei, sedimentare, diluție și dispersia poluanților, nutrienților și a organismelor microbiene din interiorul bazinului hidrografic, precum și cuantificarea impactului activității umane asupra acestor procese. Simularea acestor procese

joaca un rol important în a atribui o scară resurselor de apă, mediului înconjurător și problemelor sociale (Singh și Frevet, 2006 citat în Džubáková, 2010) [31].

O definiție mai simplă a modelului: modelul este o reprezentare simplificată a sistemului real [107].

Modelele ploaie-scurgere de suprafață (RRMs) sunt instrumente folosite frecvent în zilele noastre pentru investigațiile hidrologice în inginerie și științele naturii. Modelele au structuri variate, combinații de funcții liniare și neliniare [102].

#### 4.1.2. Clasificarea modelelor de ploaie-scurgere

Nu există o clasificare universală a modelelor ploaie-scurgere de suprafață, în literatură găsindu-se mai multe clasificări realizate de-a lungul timpului. H. Vernon Knapp et al., 1991 au împărțit modelele ploaie-scurgere de suprafață în patru categorii ținând cont de clasificările realizate de autorii mai sus menționați: 1) modele de simulare a unui singur eveniment și modele de simulare continuă; 2) modele conceptuale și hidrodinamice; 3) modele parametrice concentrate și distribuite; și 4) modele cu parametri atribuiți, determinați fizic, sau derivați empiric.

Beven (2001) a diferențiat trei tipuri de modele ale procesului de modelare ploaie-scurgere de suprafață, și anume model perceptual, conceptual și procedural (Beven, 20016 citat în Džubáková, 2010) [31]. Modelul perceptual este sumarea percepțiilor modelărilor asupra modului în care bazinul hidrografic răspunde precipitației în diferite condiții. Un model perceptual este subiectiv. Oricum o descriere matematică este primul pas în crearea modelului care va face predicții cantitative. Descrierea matematică este modelul conceptual al procesului. Folosind tehnici de analiză numerică este definit un model procedural sub forma unui cod care va rula pe calculator.

Cea mai des folosită clasificare împarte modelele procesului de modelare ploaie-scurgere în trei clase: metrice (denumite modele care au la baza serii de date, deterministe, empirice sau "cutie neagră"), tip para-metrică (numite și conceptuale, explicit evidentă umidității terenului sau "cutie verde"), și mecanice (numite și modele fizice sau "cutie albă") [102].

Simularea unui singur eveniment, în mod normal, estimează scurgerea de suprafață pentru un singur eveniment de precipitație și are un interval de timp constant. În cadrul simulării unui singur eveniment, de obicei, nu se determină și evapotranspirația, care are o valoare nesemnificativă, doar debitele scurse de pe suprafață, infiltrația, scurgerea în conducte și canale, în unele cazuri și interceptia și apa stocată la suprafață și în canale.

Simularea continuă cuprinde atât procesele din timpul precipitațiilor cât și procesele hidrologice ce au loc între evenimentele de precipitații.

Modelele deterministe sunt modele empirice care derivă atât din structura modelului cât și din valoarea parametrilor din înregistrările/seriile de date disponibile pe o anumită perioadă de timp. Prin urmare sunt pur și simplu bazate pe informațiile extrase din serii de date și nu include vreo cunoaștere în prealabil a răspunsului bazinului hidrografic și a proceselor de scurgere, deținând numele de "cutie neagră". Modelele deterministe tratează bazinul hidrografic ca o singură unitate. Mulligan și Wainwright (2005) au argumentat faptul că modelele deterministe au precizie de predicție mai ridicată. Dar nu pot argumenta în mod explicit, de aceea sunt folosite pentru estimare doar pentru sectorul de pe care s-a

colectat data fără a se putea aplica în alte părți (ex. alte bazine hidrografice, alte păduri, alte latitudini).

Abordarea parametrică în modelarea bazinelor hidrografice este undeva între abordarea stohastică și abordarea deterministică [93]. În general acestea se bazează pe ideea că sistemul hidrologic se comportă ca un sistem de rezervoare de apă, fiecare rezervor umplându-se după o lege condiționată de partea de sistem situată la niveluri superioare, și se golește după o lege ce depinde de propria constituție, gradul de umplere și, uneori, de starea rezervoarelor situate la nivelurile inferioare. Rezervoarele se așează în serie pentru a simula acumularea și pătrunderea apei pe verticală; uneori o serie de rezervoare se leagă în paralel cu o altă serie, pentru a ține seama de variația spațială a precipitațiilor și a caracteristicilor bazinului hidrografic [72].

Modelele mecanistice sunt modele fizice bazate pe legile de conservare a masei, momentului și energiei.

#### 4.1.3. Modele dezvoltate de-a lungul timpului

**WEAP** (sistem de "Evaluare și Planificare a Resurselor de Apă") este un instrument software ușor de utilizat care duce la o abordare integrată a planificării resurselor de apă. Calculează cererea și oferta de apă, scurgerile de suprafață, infiltrația, necesarul culturilor agricole, debitele scurse și stocate, poluarea, tratarea apei, calitatea apei evacuate și calitatea apei din cursul de apă pentru diferite scenarii hidrologice și politice. WEAP evaluează o gamă largă de sisteme de gestionare durabilă a resurselor de apă și activități de management, luând în considerare folosințele multiple și concurente de apă.

WEAP a fost creat în 1988, în scopul de a fi un instrument de planificare flexibil, integrat și transparent pentru a evalua dezvoltarea durabilă a cererii curente de apă și surselor de alimentare, și obținerea unor scenarii alternative de-a lungul unei perioade de timp.

Prima aplicație WEAP s-a realizat în Marea Aral în 1989 cu sponsorizarea din noul format Stockholm Environment Institute (SEI). SEI a continuat să susțină dezvoltarea programului WEAP prin Centru din Statele Unite (SEI-US), care s-a instalat în 1989 și găzduit de către Tellus Institute până în 2006. De-a lungul timpului s-a aplicat WEAP pe bazine hidrografice al țărilor și râurilor. Programul a fost distribuit în întreaga lume planificatorilor resurselor de apă [157].

**ISIS** este un software pentru analiza și managementul riscului la inundații. Este o suită de soluții modulare software ideale pentru simularea curgerii apei, proceselor hidrologice, schimbărilor în calitate a apei și transportul sedimentelor în râuri, lunci, canale, estuare, bazinelor hidrografice și zonele urbane. ISIS este potrivit pentru o gamă largă de aplicații de inginerie și de mediu, de la calculul profile până la modelarea întregului bazin hidrografic pentru crearea de hărți de risc la inundații pentru întregul bazin sau pe toată țara. ISIS include următoarele pachete: ISIS FREE (1D și 2D), ISIS 1D, ISIS 2D, ISIS MAPPER, ISIS VIEWER, ISIS FAST, TUFLOW.

ISIS aparține CH2M HILL care se ocupa de dezvoltarea software-ului, mentenanță și suport de mai bine de 30 de ani [158].

**SWMM 5.0** (Modelul de management al apei pluviale dezvoltat de EPA) este un model de simulare dinamică a procesului ploaie-scurgere, model care simulează calitatea și cantitatea apei scurse de pe suprafața zonei urbane și are la bază rezolvarea numerică a ecuațiilor Saint Venant. Este un model exact care necesită un



volum important de date de bază: date hidrologice, diametre conducte, profile transversale, canale naturale, date cu privire la suprafața terenului etc. Scurgerea în SWMM este operată ca o colecție de sub-arii care primesc precipitații și generează scurgere și încălzire cu poluanți. Drenajul apei scurse de pe suprafață este realizat printr-un sistem de conducte, canale, sisteme de stocare/epurare, pompe și regulatori. SWMM determină calitatea și cantitatea apei scurse pentru fiecare sub-arie, debitele, adâncimea scurgerii, și calitatea apei în fiecare conductă și canal, în perioada de timp considerată.

SWMM a fost pentru prima dată dezvoltat în 1971 iar de atunci programul a suferit câteva schimbări majore. Continuă să fie folosit în întreaga lume pentru planificare, analiză, și dimensionări legate de scurgerile de suprafață a apei provenită din precipitații, sistemele de canalizare unitare, sistemele de canalizare a apei menajere, și ale altor sisteme de drenaj a apei realizate în zona urbană; a fost de asemenea folosit pentru modelarea zonelor care nu sunt zone urbane [137].

**MIKE URBAN** este un model software de modelare a apei dezvoltat de DHI, care are integrat Sistemul Internațional Geografic (SIG) și acoperă toată apa din oraș. Acesta conține următoarele elemente: (1) sistem de canalizare menajeră separat sau combinat; (2) sistem de drenaj al apei de ploaie, incluzând scurgere 2D de suprafață; (3) sistem de alimentare cu apă.

Pachetul Mike Urban permite editarea rețelei în SIG și rulează simulări a sistemelor de colectare precum și a celor de distribuție a apei [159].

**HSPF** – este un program de modelare creat de U.S. EPA destinat simulării proceselor hidrologice și estimării calității apei dintr-un bazin hidrografic. Modelul HSPF folosește informații precum serii de timp de precipitații, temperatura și radiația solară, caracteristici ale suprafeței terenului (tipare ale modului de utilizare a terenului) și practici de management. Rezultatul obținut este o istorie a cantității și calității scurgerilor de pe suprafață dintr-o zonă urbană sau agricolă. Sunt determinate debitele, încărcarea cu sedimente, concentrația de nutrienți și pesticide [160].

**StormCAD** este o unealtă ușoară pentru dimensionarea și analiza sistemelor de canalizare pluvială. Cu ajutorul StormCAD se pot calcula scurgerea de suprafață a apei provenită din precipitații, căminele, conductele, rețelele de conducte și ieșirile din sistem. Având interfață ușoară, datele introduse se pot gestiona facil, realizându-se scenarii pe baza cărora se reportează rezultatele obținute [161].

## 4.2. Ecuții care stau la baza modelelor

### 4.2.1. Infiltrarea apei în sol

Infiltrarea, reprezintă cantitativ, acea parte din precipitațiile atmosferice care traversează suprafața solului, sub acțiunea gravitației și atracției către granulele sale, umplând golurile dintre particulele solide ale acestuia.

Infiltrarea apei în sol este un proces fizic important a sistemului hidrologic și influențează bilanțul apei în zona urbană [23].

Rata de infiltrare a apei provenită din precipitații și capacitatea de transport a solului se schimbă datorită modificării texturii solului în urma procesului de urbanizare, modificării compactității solului, și datorită modificării modului de utilizare și modului de acoperire al terenului.

Solurile cu pomi cresc rata de infiltrare a apei cu o medie de 63%, stejarul negru facilitând cel mai mult drenarea suprafeței în studiu realizat de J. Bartens et al., 2008 [3]. Tot mai mulți cercetători susțin crearea de noi zone verzi pentru a avea condiții mai ecologice în interiorul spațiului urban [77] [28], acestea fiind pentru mulți oameni primul contact cu mediul natural [55].

Modelele pentru calculul infiltrației apei în sol pot fi modelele empirice sau modelele care au la bază procesele fizice.

**Modelele empirice** sunt modele deterministe care au la bază serii de timp, date colectate din teren, și nu țin cont de natura fizică a procesului. De-a lungul timpului s-au dezvoltat mai multe modele empirice de diferiți autori.

O ecuație empirică des folosită este ecuația lui Horton (1940) [139] [13]:

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)e^{-k_2 t} \quad (4.2)$$

respectiv

$$I(t) = \int_0^t f_t dt = f_c \cdot t + \frac{(f_0 - f_c)}{k_2} (1 - e^{-k_2 t}) \quad (4.3)$$

unde:

$f_t$  – rata de infiltrare la timpul  $t$  (mm/oră),  
 $f_c$  – rata de infiltrare la saturație (mm/oră),  
 $f_0$  – rata de infiltrare inițială (mm/oră),  
 $k_2$  – constantă empirică ( $h^{-1}$ ).

În Tabelul 4.1. sunt reprezentate valorile care s-au găsit pentru parametrii  $f_c$ ,  $f_0$  și  $k_2$  [1].

**Tabel 4.1.** Parametrilor lui Horton pentru diferite tipuri de suprafață

Tipul suprafeței	$f_0$ (mm/oră)	$f_c$ (mm/oră)	$k_2$ ( $h^{-1}$ )
Sol cu textură grosieră	250	25	2
Sol cu textură medie	200	12	2
Sol cu textură fină	125	6	2
Sol argilos/ suprafață pavată	75	3	2

Spre deosebire de ecuația lui Kostiakov, în cazul ecuației lui Horton  $f_t$  nu este zero când  $t$  tinde la infinit.

În cazul ecuației dezvoltată de USDA Soil Conservation Service și a ecuației lui Boughton, infiltrația se calculează ca diferență între precipitație și scurgerea de suprafață.

$$I = Q - P \quad (4.4)$$

Indexul CN (Curve Number) se determina folosind capacitatea maxima a solului de retenție a apei:

$$CN = \frac{1000}{S + 10} \quad (4.5)$$

Green-Ampt (1911) este prima **ecuație care are la bază procesele fizice** descriind infiltrarea apei în sol. Green-Ampt și-a găsit de-a lungul timpului aplicabilitatea în fizica solului și în rezolvarea multor probleme hidrologice, stând la baza multor modele hidrologice fizice din ziua de azi [137].

$$f(t) = K \left[ 1 + \frac{\Psi \Delta \theta}{F(t)} \right] \quad (4.6)$$

$$\Delta \theta = \theta_s - \theta_i \quad (4.7)$$

sau

$$\Delta \theta = (1 - s_e) \theta_e \quad (4.8)$$

$$s_e = \theta_e - \theta_i \quad (4.9)$$

$$\theta_e = h - \theta_r \quad (4.10)$$

unde:

f(t) – rata de infiltrare la timpul t (mm/oră),

K – conductivitatea hidraulică la saturație,

 $\Psi$  – gradientul hidraulic,

F(t) – infiltrația cumulată la timpul t,

 $\theta_i$  – umiditatea inițială a solului, $\theta_s$  – umiditatea solului la saturație, $s_e$  – saturația efectivă, $\theta_e$  – porozitatea efectivă a solului,

h – indicele porilor.

#### 4.2.2. Evapotranspirația

Evapotranspirația (ETP) este o componentă importantă a ciclului hidrologic al apei în natură. Evapotranspirația este suma fluxurilor vaporilor de apă rezultați din transpirația plantelor și evaporarea apei din sol și de pe frunzele ude [88].

Evaporația totală E (mm) este dată de relația:

$$E = E_a + E_t + E_s + E_i + E_d + E_z \quad (4.11)$$

unde:  $E_a$  - evaporația de la luciul apei; $E_t$  - transpirația produsă de procesul biologic al vegetației; $E_s$  - evaporarea apei din sol; $E_i$  - evaporarea cantității de precipitații interceptată de vegetație sau de suprafața construcțiilor; $E_d$  - evaporarea cantității de precipitații acumulate în depresiunile terenului care nu are posibilitatea de infiltrare; $E_z$  - evaporarea de la suprafața zăpezii.

ETP se calculează, plecând de la date meteorologice, după formule diferite, cele mai folosite fiind Turc (1961), Penman-Monteith, Penman, FAO Modified Penman [88].

Turc (1961) a dezvoltat o formulă pentru evapotranspirație care depinde doar de media temperaturii aerului și de radiația solară globală, estimată prin durata de strălucire a soarelui [54].

- Pentru soluri cu umiditate relativă RH mai mare sau egală cu 50%

$$PET = 0.013 \left( \frac{T}{T + 15} \right) (R_s + 50) \quad (4.12)$$

- Pentru soluri cu umiditatea relativă mai mică de 50%

$$PET = 0.013 \left( \frac{T}{T + 15} \right) (R_s + 50) \left( 1 + \frac{50 - RH}{70} \right) \quad (4.13)$$

unde:

PET – evapotranspirația zilnică potențială (mm/zi)  
 T – temperatura medie zilnică a aerului (°C)  
 R<sub>s</sub> – radiația solară zilnică (cal/cm<sup>2</sup>/zi)  
 RH – umiditatea relativă medie zilnică (%)

Evapotranspirația reală ETR este cantitatea de apă efectivă pierdută prin evaporare și prin transpirația plantelor într-un interval de timp. Diferența dintre ETP și ETR crește odată cu creșterea forței de evaporare a atmosferei (deficit de umiditate) și scăderea cantității de apă disponibilă plantelor. Există diferențe foarte mari când starea fiziologică a vegetației, implicit a ecosistemului, se înrăutățește.

#### 4.2.3. Scurgerea apei de pe suprafața solului. Timpul de concentrare

Timpul de concentrare este timpul pe care îl realizează particula de apă din cel mai îndepărtat punct, din punct de vedere hidraulic al bazinului hidrografic, până în secțiunea studiată.

Timpul de concentrare este însumarea timpilor de concentrare pe versanți și prin albie.

$$t_c = t_u + t_a \quad (4.14)$$

unde:

t<sub>c</sub> = timpul de concentrare (minute)  
 t<sub>u</sub> = timpul de concentrare pe versanți (minute)  
 t<sub>a</sub> = timpul curgerii în albie/canal (minute)

Pentru calculul timpului de propagare a unei particule de apă trebuie să calculăm:

- timpul de concentrare (propagare) pe uscat t<sub>u</sub>;
- timpul de concentrare (propagare) prin sistemul de drenaj t<sub>a</sub>.

Pentru calculul timpului de concentrare pe uscat se pot folosi: relația lui Izzard (Linsley, Kohler și Paulhus, 1982), ecuația lui Kerby (1959), ecuația lui Kirpich (1940), metoda realizată de National Resources Conservation Service (NCRS), ecuația lui Brandsby Williams (Martin Wanielista, Robert Kersten și Ron Eaglin, 1997), ecuația cinematică a lui Manning și ecuații aplicabile în funcție de lungimea căii de scurgere și de suprafața de calcul a scurgerii apelor pluviale.

#### Ecuația lui Kerby (sau Hathaway)

$$t_c = \left( \frac{2nL}{3I} \right)^{1/2.14} \quad (4.15)$$

unde:

n – coeficientul lui Kerby  
 L – lungimea traseului parcurs de particula de apă (picioare)

I – panta terenului

Tabel 4.2. Coeficientul lui Kerby

Natura terenului	n
Teren neted, impermeabil	0,02
Sol neted băătorit	0,10
Sol puțin ierbos, cultivat pe rânduri, soluri moderat goale	0,20
Pășune	0,40
Păduri de foioase	0,60
Păduri de conifere, cu litiera sau iarbă	0,80

**Ecuația lui Manning**

$$t_c = \frac{1.49}{n} \cdot S^{1/2} \cdot d \quad (4.16)$$

unde:

- $d$  = distanța parcursă, m.  
 $n$  = coeficientul de rugozitate Manning  
 $S$  = pantă teren, m/m

**Coeficientului de scurgere**

Coeficientul de scurgere este acea parte din precipitația căzută pe bazinul hidrografic care devine scurgere de suprafață.

Fie  $Q(t)$  debitul scurs înregistrat la ieșirea din sistem și  $T$  intervalul de timp.

$$V_s = \int_0^T Q(t) dt \quad (4.17)$$

$$h_s = \frac{V_s}{A} \quad (4.18)$$

$$\alpha = \frac{h_s}{h_p} \quad (4.19)$$

sau

$$V_p = h_p * A \quad (4.20)$$

$$\alpha = \frac{V_s}{V_p} \quad (4.21)$$

unde:

- $V_s$  – volumul total scurs ( $m^3$ )  
 $A$  – suprafața de captare ( $m^2$ )  
 $h_s$  – stratul scurs (mm)  
 $h_p$  – stratul de precipitații (mm)  
 $\alpha$  – coeficientul de scurgere

Coeficientul de scurgere are valori între 0 și 1. Are valoarea 0 în situația în care nu există scurgeri de suprafață iar când are valoare 1 înseamnă că toată apa căzută pe suprafață a devenit scurgere de suprafață (nu se atinge valoarea 1). Valori ridicate ale coeficientului de scurgere se întâlnesc în zona urbană datorită suprafețelor mari existente. Valorile coeficientului de scurgere se găsesc tabelar în funcție de modul de acoperire și de utilizare a terenului. O listă detaliată cu valorile coeficienților de scurgere se găsește în McCuen, 2005 [65].

#### 4.2.4. Curgerea în canale deschise

##### 4.2.4.1. Hidrodinamica fluidelor

Cinematica studiază mișcarea fluidelor fără să considere forțele care o determină și transformările energetice produse, efectuând un studiu geometric al acesteia. Studiile cinematicii fluidelor sunt valabile atât pentru fluide ideale cât și pentru cele reale.

Hidrodinamica se ocupă cu studiul mișcării fluidelor, fie în masa indefinită, fie prin conducte, canale, râuri și diferite instalații tehnice. Hidrodinamica tratează atât aspectul cinematic, cât și cel dinamic al problemelor, determinând atât câmpul vitezelor și al presiunilor precum și energia, respectiv puterea curentului de apă, sau energia pierdută prin diferite sisteme ce se opun mișcării. Fluidele pot să prezinte diferite moduri de existență: lichidă și gazoasă.

Lichidele sunt, prin definiție, substanțe care pot curge și care sunt mărginite de suprafețe proprii care le delimitează volumul. Lichidele care respectă legea lui Newton se numesc lichide newtoniene. Lichidele ne-newtoniene se studiază în cadrul reologiei [84].

Ipoteza generală a continuității impune pentru mărimile fizice următoarele: densitatea, viteza, presiunea, temperatura, funcții care depind de coordonatele punctului și de timp, fiind continue cu excepția unor linii, puncte, suprafețe de discontinuitate [32].

Există două metode de cercetare în hidrodinamica: metoda Lagrange și metoda Euler. Abordarea Lagrangeană prezice traiectoria unei particule ca rezultanta forțelor care acționează asupra particulei [30], identificându-i poziția la momentul  $t=0$  prin coordonatele  $z_0, y_0, x_0$ . Mișcarea ei este cunoscută dacă se stabilește legea de variație în timp a coordonatelor ce caracterizează poziția particulei.

$$\begin{aligned}x &= x(x_0, y_0, z_0, t); \\y &= y(x_0, y_0, z_0, t); \\z &= z(x_0, y_0, z_0, t);\end{aligned}\quad (4.22)$$

$X, y, z$  – coordonatele din spațiu

Din ecuația (4.22) a rezultă traiectoria particulei. Proiecțiile vitezei și accelerației după cele trei direcții se determină cu relațiile:

$$u = \frac{\partial x}{\partial t}; \quad v = \frac{\partial y}{\partial t}; \quad w = \frac{\partial z}{\partial t}; \quad (4.23)$$

$$a_x = \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}; \quad (4.24)$$

$$a_y = \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial t^2}; \quad (4.25)$$

$$a_z = \frac{\partial w}{\partial t} = \frac{\partial^2 z}{\partial t^2}; \quad (4.26)$$

Pentru a descrie mișcarea unei mase de fluid formată din  $n$  particule, sunt necesare  $n$  sisteme de ecuații conducând la soluții complicate, dificil de aplicat în practică.

Metoda Euler examinează câmpul vitezelor în diferite puncte ale spațiului ocupat de fluidul în mișcare și variația în timp a acestor viteze, fiind mai simplă în aplicații practice. Câmpul vitezelor este dat sub forma :

$$\begin{aligned} v_x &= v_x(x, y, z, t); \\ v_y &= v_y(x, y, z, t); \\ v_z &= v_z(x, y, z, t); \end{aligned} \quad (4.27)$$

Componentele accelerației după cele trei direcții:

$$a_x = \frac{dv_x}{dt} = \frac{\partial v_x}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_x}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_x}{\partial z} v_z + \frac{\partial v_x}{\partial t}; \quad (4.28)$$

$$a_y = \frac{dv_y}{dt} = \frac{\partial v_y}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_y}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_y}{\partial z} v_z + \frac{\partial v_y}{\partial t}; \quad (4.29)$$

$$a_z = \frac{dv_z}{dt} = \frac{\partial v_z}{\partial x} v_x + \frac{\partial v_z}{\partial y} v_y + \frac{\partial v_z}{\partial z} v_z + \frac{\partial v_z}{\partial t}; \quad (4.30)$$

Metoda Euler este mai simplă și utilizează teoria câmpurilor ca aparat matematic de studiu [4].

Componentele vitezelor se determină prin derivarea totală a funcțiilor  $x = x(t)$ ,  $y = y(t)$ ,  $z = z(t)$ :

$$u = \frac{dx}{dt}; \quad v = \frac{dy}{dt}; \quad w = \frac{dz}{dt}; \quad (4.31)$$

Traectoria particulelor se obține din integrarea ecuațiilor precedente (vezi ecuațiile 4.22). Pentru determinarea câmpului accelerațiilor se derivatează pe  $u$ ,  $v$ ,  $w$ , utilizând regula de diferențiere totală și ținând cont de funcțiile  $x$ ,  $y$ ,  $z$  și de timp:

$$du = \frac{\partial u}{\partial x} dx + \frac{\partial u}{\partial y} dy + \frac{\partial u}{\partial z} dz + \frac{\partial u}{\partial t} dt \quad (4.32)$$

Pentru componentele accelerației se obțin expresiile:

$$a_x = \frac{du}{dt} = u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial u}{\partial t} \quad (4.33)$$

$$a_y = \frac{dv}{dt} = u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial t} \quad (4.34)$$

$$a_z = \frac{dw}{dt} = u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial t} \quad (4.35)$$

### Ecuțiile Navier-Stokes

În general, curgerea în canale deschise este tridimensională, dependentă de timp. Ecuțiile Navier-Stokes, împreună cu ecuația de continuitate, descriu dinamica unei porțiuni din orice fluid [96] și pot fi folosite pentru modelarea curgerii apei în multe aplicații practice.

Ecuțiile de curgere tridimensionale ale hidrodinamicii au fost dezvoltate de Claude-Louis Navier și George Gabriel Stokes prin aplicarea principiului II al mecanicii mișcării fluidelor. În mecanica newtoniană se consideră masa ca fiind constantă (independentă de viteză) atâta timp cât se păstrează integritatea corpului.

Deși ecuațiile Navier-Stokes fac referire doar la ecuațiile de mișcare (de conservare a momentului), se acceptă și faptul că acestea includ și ecuația de conservare a masei.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} \nabla \cdot (\rho \vec{v}) = 0 \quad (4.36) \quad \text{Ecuția de continuitate}$$

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla \cdot \vec{\sigma} + \vec{f} \quad (4.37) \quad \text{Ecuția de moment}$$

unde:

- $\rho$  – densitatea
- $\vec{v}$  – vector de viteză
- $\nabla$  – este operatorul nabra
- $\vec{\sigma}$  – torsor tensiune
- $\vec{f}$  – forțe exterioare

Starea de tensiune a unui fluid real în mișcare este dată de tensorul de ordinul al doilea simetric al tensiunilor unitare exprimat cu ajutorul matricei:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.38)$$

unde:

- $\sigma$  – tensiuni normale
- $\tau$  – tensiuni tangențiale

$$\tau_{xx} = 2\mu \frac{\partial u}{\partial x}; \quad \tau_{yy} = 2\mu \frac{\partial v}{\partial y}; \quad \tau_{zz} = 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (4.39)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (4.40)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \quad (4.41)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (4.42)$$



$$\sigma_{xx} = -P + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3}\mu \nabla \vec{v} \quad (4.43)$$

$$\sigma_{yy} = -P + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}\mu \nabla \vec{v} \quad (4.44)$$

$$\sigma_{zz} = -P + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3}\mu \nabla \vec{v} \quad (4.45)$$

Presiunea într-un punct se definește cu ajutorul sumei tensiunilor unitare normale:

$$p = -\frac{1}{3}(\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}) \quad (4.46)$$

În cazurile particulare ale unui fluid real în repaus sau un fluid ideal în mișcare, componentele tangențiale ale tensiunii sunt nule și starea de presiune este dată doar de presiune.

$$\begin{vmatrix} -p & 0 & 0 \\ 0 & -p & 0 \\ 0 & 0 & -p \end{vmatrix} \quad (4.47)$$

Forma ecuației de conservare a masei:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (4.48)$$

Pentru fluide incompresibile ecuația devine ( $\rho$  constant):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.49)$$

unde:

- $\rho$  – densitatea fluidului
- $t$  – timpul
- $u, v$  și  $w$  – componente ale vectorului viteză
- $x, z$  și  $y$  – coordonate

Estimarea debitului sau a nivelului apei într-un anumit punct în sistemul de canalizare se poate obține folosind un set de ecuații care definesc conservarea masei și a momentului de-a lungul canalului. Acest tip de model are la bază un set de ecuații diferențiale care permite debitului și nivelului de apă să fie calculate ca o funcție de spațiu și timp.

Ecuațiile **Navier-Stokes** pentru fluide newtoniene incompresibile conțin patru funcții necunoscute  $u, v, w$  și respectiv  $p$ , în trei ecuații.

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_x + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \quad (4.50)$$

$$\rho \left( \frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_y + \mu \left( \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \quad (4.51)$$

$$\rho \left( \frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_z + \mu \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \quad (4.52)$$

unde:

$g_x, g_y$  și  $g_z$  – accelerația gravitațională  
 $x, y, z$  – axe

Cea de-a patra ecuație este suplimentară dacă ecuația de continuitate  $\nabla = 0$ :

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (4.53)$$

Sau în formă invariantă:

$$\operatorname{div} v = 0 \quad (4.54)$$

Ecuațiile de continuitate și de moment pentru fluide newtoniene incompresibile:

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0 \quad (4.55) \quad \text{Ecuația de continuitate}$$

$$\rho \left( \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} \right) = -\nabla \cdot p + \rho \vec{g} + \mu \nabla^2 \vec{v} \quad (4.56) \quad \text{Ecuația de moment}$$

unde:

$\rho$  – densitatea  
 $\vec{v}$  – vector de viteză  
 $\nabla$  – este operatorul nabra  
 $\vec{g}$  – accelerația gravitațională

### Ecuațiile Saint-Venant

Pentru aplicații practice variația spațială laterală și transversală a fluidului poate fi neglijată. Ecuațiile Navier-Stokes pot fi simplificate pentru curgerea unidimensională.

Ipotezele ecuațiilor Saint-Venant sunt: curgerea este unidimensională; fluidul este incompresibil și are densitate constantă pe lungime; debitul variază în mod progresiv de-a lungul canalului astfel încât se realizează distribuția presiunii hidrostactice iar accelerațiile verticale pot fi neglijabile; ecuațiile lui Manning și Chezy sunt folosite pentru a descrie rezistența la curgere în aplicații unde curgerea este nestaționară și neuniformă; forma canalului se consideră fixă, prin urmare nu este predispusă eroziunii sau colmatării; panta fundului canalului este mică.

În cadrul modelului curentului de fluid unidimensional, pentru mișcarea nepermanentă a fluidelor incompresibile, sistemul clasic de ecuații cu derivate

parțiale **Saint-Venant** sunt alcătuite din ecuația de continuitate (4.57) și de mișcare (4.58):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (4.57) \quad \text{Ecuația de continuitate}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left( \alpha \frac{Q}{A} Q \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 RA} - gAi = 0 \quad (4.58) \quad \text{Ecuația de mișcare}$$

unde:

Q - debitul volumic;  
 A - aria secțiunii transversale;  
 q - aport lateral;  
 x - spațiu;  
 t - timp;  
 h - adâncimea apei;  
 C - coeficientul Chezy;  
 R - raza hidraulică;  
 α - coeficientul Coriolis;  
 g - accelerația gravitațională;  
 i - panta patului albiei.

În cazul scurgerii uniforme, ecuațiile Saint Venant au forma:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (4.59) \quad \text{Ecuația de continuitate}$$

$$\frac{\partial \left( \alpha \frac{Q}{A} Q \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 RA} - gAi = 0 \quad (4.60) \quad \text{Ecuația de mișcare}$$

unde:

Q - debitul volumic;  
 A - aria secțiunii transversale;  
 q - aport lateral;  
 x - spațiu;  
 t - timp;  
 h - adâncimea apei;  
 C - coeficientul Chezy;  
 R - raza hidraulică;  
 α - coeficientul Coriolis;  
 g - accelerația gravitațională;  
 i - panta patului albiei.

Aplicațiile ale diferitelor forme ale ecuației de moment sunt: **Unda Cinematică, Unda de Difuzie, Unda Dinamică.**

Metoda iterativă **Unda Cinematică** - se aplică atunci când canalele au pantă abruptă și nu apare efectul de remuu; forța gravitațională și forța de frecare

sunt egale. Se presupune că avem o curgere uniformă. În această situație ecuația de moment devine ecuația valului:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4.61)$$

unde:

- c - viteza de deplasare sau de propagare a undei de val
- Q - debitul
- t - timpul
- x - distanța parcursă

O undă cinematică nu experimentează vreo atenuare sau schimbare în formă, nu avem difuzie.

Metoda iterativă **Unda de Difuzie** – se aplică când forțele de presiune sunt importante pentru a le adăuga forțelor gravitaționale și de frecare.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (4.62)$$

Metoda iterativă **Unda Dinamică** – canale cu pantă lină și cu sistem de control în aval, situație în care ambele forțe, inerțiale și de presiune, sunt importante iar efectul de remuu nu se poate neglija.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V \partial V}{g \partial x} \quad (4.63)$$

#### 4.2.4.2. Curgerea prin orificii

Debitul se determina din formula generală pentru toate ajutajele și conductele scurte.

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH} \quad (4.64)$$

unde:

- $\omega$  - secțiunea de ieșire a orificiului
- $\mu$  - coeficientul de debit corespunzător secțiunii de ieșire
- H- sarcina hidrolică în dreptul centrului de greutate al orificiului de ieșire sau diferența dintre nivelurile amonte și aval al apei în cazul ajutajului înecat

#### 4.2.4.3. Curgerea peste deversor

- Deversoarele se împart în trei tipuri:
- deversoare cu muchie ascuțită

- deversoare cu profil practic (pereți deversori) cu secțiuni transversale de diferite forme
- deversor cu prag lat

Formula de bază pentru calculul debitelor pentru toate tipurile de deversoare este următoarea:

$$Q = mb\sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (4.65)$$

Sau

$$Q = mb\sqrt{2g} H^{3/2} \quad (4.66)$$

unde:

m – coeficientul de debit adimensional  
b – lățimea deversorului, lungimea pragului (m)  
H- sarcina hidrolică

Valoarea debitului Q este influențată de viteza de acces, contracția laterală și înecarea din bieful aval.

Deversorul se numește neîneecat dacă nivelul apei din bieful aval nu influențează curgerea.

$$H_0 = H + \frac{v_0^2}{2g} \quad (4.67)$$

$$z_0 = z + \frac{v_0^2}{2g} \quad (4.68)$$

unde:

H și z- sarcina hidrolică și căderea la deversor  
H<sub>0</sub> și z<sub>0</sub>- sarcina hidrolică și căderea la deversor cu considerarea vitezei de acces

$$v_0 = \frac{Q}{\omega} \quad (4.69)$$

unde:

v<sub>0</sub> – viteza de acces  
ω – aria secțiunii de curgere a întregului curent

Valorile coeficientului m, în funcție de tipul deversorului:

- m=0,35 – deversor cu prag lat
- m=0,42 – deversor cu muchie ascuțită
- m=0,45 – deversor de profil practic fără vacuum
- m=0,50 – deversor de profil practic cu vacuum

Valoarea debitului specific, care revine pentru 1 m din lungimea pragului deversor, pentru diferite valori ale lui m, se calculează cu formula:

$$q = \frac{Q}{b} = m\sqrt{2g}H^{3/2} \quad (4.70)$$

unde:

- m – coeficientul de debit adimensional
- Q – debitul ( $m^3/s$ )
- b – lățimea deversorului, lungimea pragului (m)
- H- sarcina hidrolică

#### 4.2.4.4. Elemente de Hidraulică. Mișcarea uniformă cu suprafața liberă

Mișcarea unui fluid poate fi privit ca mișcarea unei mase compacte formate dintr-o infinitate de particule de forme și mărimi diferite care ocupă complet și compact domeniul mișcării.

Prin *linie de curgere* se înțelege *traietoria* unei particule de fluid. Vectorul viteză al particulei fluide este în permanență tangent la traietorie.

*Linia de curent* este curba imaginară desenată în interiorul unui fluid în mișcare care urmărește direcția de curgere astfel încât în fiecare punct ea are tangent câte un vector viteză al particulelor de fluid. Forma liniilor de curent poate varia de la un moment de timp la altul în cazul în care curgerea este nestaționară.

*Secțiunea vie (A)* este suprafața transversală, ortogonală pe liniile de curent.

*Perimetrul udat (P)* este lungimea perimetrului secțiunii vii aflată în contact cu un contur rigid care limitează domeniul mișcării.

*Raza hidrolică (R)* reprezintă raportul dintre aria A corespunzătoare secțiunii normale la direcția principală de curgere și perimetrul P udat de fluid în secțiunea.

$$R = \frac{A}{P} \quad (4.71)$$

*Debitul* volumic este volumul de fluid care trece printr-o secțiune dată în unitatea de timp.

$$Q_v = \frac{V}{t} \quad (m^3/s) \quad (4.72)$$

*Viteza medie (v)* este o mărime caracteristică modelului curentului de fluid unidimensional și se exprimă în funcție de debitul volumic.

$$Q_v = S \cdot v \rightarrow v = \frac{Q_v}{S} \quad (m/s) \quad (4.73)$$

Când secțiunea de curgere se îngustează viteza crește și invers.

*Mișcarea uniformă* a unui fluid este *mișcarea permanentă* cu viteză și adâncime constantă, liniile de curent fiind rectilinii și paralele.

Relația de calcul a vitezei medii este relația lui Chezy:

$$v = C\sqrt{RI} \quad (4.74)$$

unde:

- C – coeficientul lui Chezy
- I - panta (%)
- R – raza hidrolică (ft, m)

Dacă pentru coeficientul lui Chezy se folosește formula lui Manning:

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (4.75)$$

ecuația debitului ia forma:

$$Q = \frac{k}{n} AR^{2/3} I^{1/2} \quad (4.76)$$

ecuație cunoscută drept ecuația lui Manning.

unde:

- Q - debitul (ft/s, m/s)
- k - este un factor de transformare lungime<sup>1/3</sup>/timp (1 m<sup>1/3</sup>/s pentru SI, sau 1.4859 ft<sup>1/3</sup>/s pentru U.S.)
- n - coeficientul de rugozitate al lui Manning
- I - panta (%)
- A - aria secțiunii de curgere (ft<sup>2</sup>, m<sup>2</sup>)
- R - raza hidraulică (ft, m)

### 4.3. Analiza de senzitivitate. Metoda lui Morris

Analiza de senzitivitate este strâns legată de analiza incertitudinii modelului Gujer (2008) [39].

„Țelul analizei de senzitivitate este acela de a explora schimbările în datele de ieșire ale modelului în urma schimbării parametrilor sistemului” [83]. Este un instrument important în definirea modelului și în stabilirea parametrilor permițând clasificarea parametrilor în funcție de impactul pe care îl au asupra datelor de ieșire din model [16].

Analiza de senzitivitate poate fi folosită pentru determinarea modului de simplificare a unui model după construcția și verificarea acestuia. Indicii de senzitivitate locali, combinați cu tehnici precum analiza corelațiilor și diagrame prin puncte, pot fi folosiți pentru a determina senzitivitatea diferitelor date de intrare, valorile sensitive din intervalul de variație al paramentului, și de a identifica relațiile neliniare și incoerențele din model [105].

**Analiza de senzitivitate locală** arată modul în care un model reacționează la schimbări mici ale valorilor parametrilor, senzitivitatea modelului la parametri de intrare depinzând de intervalul de variație și de valorile specifice identificate [33].

O altă metodă este **analiza de senzitivitate globală (GSA)** care permite înțelegerea comportamentului modelului și este foarte aproape de analiza incertitudinii modelului [83]. S-au propus mai multe abordări în literatură pentru a evalua sensibilitatea modelului [91] [42], cu toate acestea analiza de senzitivitate globală (GSA) este rareori utilizată în modelarea proceselor care au loc în mediul înconjurător [15].

Cea mai intuitivă metodă de efectuare a analizei de senzitivitate este aceea de a varia pe rând câte un factor, în timp ce ceilalți păstrează aceleași valori.

Analiza de sensibilitate prin metoda lui Morris (1991) poate fi obținută prin calculul sensibilității locale pentru diferite scenarii ale datelor de intrare. Metoda a fost propusă de Morris (1991) la care s-au realizat modificări de către Campolongo și alții. (2007) [15].

Scopul metodei Morris este acela de a determina care factori se consideră a avea efecte precum: (1) neglijabile, (2) liniare și aditive, (3) neliniare sau care se află în interacțiune cu alți factori [90].

Se presupune că fiecare parametru  $\theta_{i(i=1..k)}$  variază de-a lungul a  $p$  nivele selectate din spațiul definit al parametrilor de intrare. Pentru fiecare parametru se determină:  $\mu$ , care este deviația medie, și  $\sigma$ , care reprezintă deviația standard a distribuției.

Metoda se bazează pe construirea de traiectorii ( $r$ ), în general de la 10 la 50. Se generează în mod aleatoriu un punct de pornire pentru fiecare traiectorie și apoi traiectoria se continuă prin modificarea a câte unui parametru pe rând. Pentru fiecare parametru sunt calculate  $r$  efecte elementare. Numărul de operațiuni ( $n$ ), rezultat:

$$n = r(k + 1) \quad (4.77)$$

Tabel 4.2. Exemplu de traiectorii pentru ecranul lui Morris [35]

Nr. operațiuni	$\theta_1$	$\theta_2$	$\theta_3$	$\theta_4$	
<b>1</b>	0,33	0,00	0,33	0,67	Punctul de pornire generat aleator pentru traiectoria 1
<b>2</b>	<b>1,00</b>	0,00	0,33	0,67	Traiectoria 1
<b>3</b>	1,00	<b>0,67</b>	0,33	0,67	
<b>4</b>	1,00	0,67	<b>1,00</b>	0,67	
<b>5</b>	1,00	0,67	1,00	<b>0,00</b>	
<b>6</b>	0,00	0,67	0,33	1,00	Punctul de pornire generat aleator pentru Traiectoria 2
<b>7</b>	<b>0,67</b>	0,67	0,33	1,00	Traiectoria 2
<b>8</b>	0,67	<b>0,00</b>	0,33	1,00	
<b>9</b>	0,67	0,00	<b>1,00</b>	1,00	
<b>10</b>	0,67	0,00	1,00	<b>0,33</b>	

Ieșirile modelului trebuie să fie o valoare scalată:

$$d_i(\theta) = \frac{y(\theta_1, \dots, \theta_{i-1}, \theta_i + \Delta, \theta_{i+1}, \dots, \theta_k) - y(\theta)}{\Delta} \quad (4.78)$$

unde:

$d_i(\theta)$  – valoarea scalată a datelor de ieșire

$\Delta$  – o valoare din intervalul  $\{1/(p-1), \dots, 1-1/(p-1)\}$

$P$  – numărul de nivele

$\theta_i$  – parametrul  $i$  al modelului

$y$  – valoare de ieșire a modelului.



$$\mu = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r d_i \quad (4.79)$$

$$\mu^* = \frac{1}{r} \sum_{i=1}^r |d_i| \quad (4.80)$$

$$\sigma = \frac{1}{r-1} \sum_{i=1}^r (d_i - \mu^{(*)})^2 \quad (4.81)$$

Valori ridicate ale lui  $\mu^*$  indică faptul că parametrul  $\theta_i$  are efect ridicat asupra datelor de ieșire din model, drept urmare modelul este sensibil la acest parametru. Valori ridicate ale  $\sigma$  pentru parametru  $\theta_i$  arată faptul că efectele elementare asociate acestuia diferă între ele în mod semnificativ, iar o valoare scăzută indică efecte elementare similare.

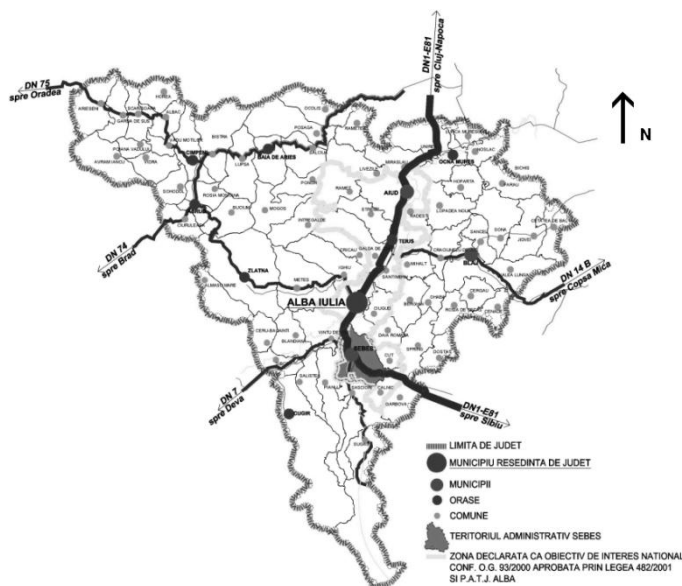


Pentru zona localității Sebeș sunt caracteristice : temperatura medie anuală în domeniul 6-10° C, temperatura medie a lunii ianuarie se înscrie în intervalul -3 la -6° C, temperatura medie a lunii iulie cuprinsă în intervalul 20-23° C (valorile temperaturii maxime absolute au fost 39,7°C în 11.08.1994), precipitații medii 500-600 mm/an.

### Considerații istorico-geografice

Municipiul Sebeș este așezat în partea de sud a Transilvaniei, în județul Alba, în bazinul inferior al văii cu același nume, la întâlnirea culoarului Mureșului cu cel al Secașului. Se află în zona de întâlnire a două depresiuni, Depresiunea Apoldului și Depresiunea Mureșului, porțiune de culoar cunoscută sub numele de Sebeș-Alba-Iulia. Este încadrat de Podișul Secașelor și dealurile piemontane ale Sebeșului, între care se desfășoară o luncă largă terasată. Teritoriul este drenat de văile Sebeșului și Secașelor care se unesc în aval, râul Sebeș străbătând orașul de la sud la nord.

Depresiunea Sebeș-Alba Iulia este netedă, cu o înclinare extrem de redusă, grefată în formațiuni pliocene caracterizate prin pietrișuri, nisipuri, gresii și argile [114].



**Figura 5.2.** Localizare Sebeș [130]

Din punct de vedere litologic formațiunile sedimentare din zona sunt alcătuite din depozite aluviale cu o stratificație încrucișată și o granoclasare pe verticală: în suprafață sedimente fine (argiloase - prăfoase - nisipoase) cu grosimi cuprinse între 1,50 -:- 3,00 m, sub care se interceptează pachetul aluvionar grosier (pietrișuri, nisipuri de diferite granulații) de asemenea de grosimi variabile (2,00 ÷ 4,00 m).

Săpăturile arheologice indică locuirea continuă a teritoriului încă din paleolitic, documentar fiind atestat din secolul al XII-lea (1245 cu numele de Mallenbak, iar din anul 1301 cu numele de Sebus, până în anul 1876 fiind sediul scaunului sășesc). Încă din perioada feudalismului s-a bucurat de renumele unui important centru meșteșugăresc și industrial, însă începuturile industriale datează din 1924 (întreprinderea de tricotaj). Adevărata dezvoltare industrială începe în anii construcției socialiste, atât prin modernizarea vechilor „întreprinderi” cât și prin crearea de noi întreprinderi [Morariu et al., 1980].

În fizionomia orașului se conturează zona centrală - centru administrativ și comercial, care prezintă caracteristici specifice vechilor orașe medievale, cinci cartiere de blocuri, platforma industrială din partea de nord-est, vechea zonă industrială de pe drumul Dăii și zona industrială din sud (Elis Pavaje). În interiorul orașului sunt distribuite clădiri industriale și comerciale, existând o piață agro-alimentară, trei parcuri și o autogară/gară. În partea de sud a orașului se găsește Parcul Arin cu o suprafață de aproximativ 23 ha, care este centrul de agrement al orașului.

## Hidrologie

Bazinul hidrografic al râului Sebeș are o lungime de 96 km și o suprafață  $S = 1304 \text{ km}^2$ . Pe parcursul său râul Sebeș străbate o diferență de nivel de circa 2000 m, ceea ce înseamnă o pantă medie de circa 30-35 m/km. Această diferență de nivel alături de particularitățile morfologice ale zonei, rezistența rocilor și particularitățile hidrologice ale regimului său, fac ca râul Sebeș să se caracterizeze printr-un potențial hidroenergetic dintre cele mai mari din țară. Astfel se explică faptul că întregul curs este prevăzut cu numeroase baraje și lacuri de acumulare.

Ploile ce cad pe versanți sunt preluate de râurile Sebeș și Secaș și nu ajung pe suprafața orașului, astfel orașul fiind protejat de inundații provocate de viituri rapide.

### 5.1.2. Descrierea sistemului de canalizare a orașului Sebeș

În general, în România modul de gestionare a apei de ploaie este prin colectarea și direcționarea către rețeaua de canalizare pluvială sau mixtă existentă. Sebeșul deține sistem de canalizare mixt, deținând astfel atât sistem de canalizare separativ (pe majoritatea zonelor), cât și sistem de canalizare unitar (doar pe câteva dintre străzile sale). O parte din apa pluvială căzută pe suprafața orașului ajunge în râul Sebeș iar alta parte în râul Secaș, prin mai multe puncte de deversare; apa din canalizarea menajeră este dirijată spre stația de epurare a orașului. Stația de epurare este veche cu o capacitate de 90 l/s; eficiența stației de epurare este nesatisfăcătoare, limita fiind depășită pentru detergenții sintetici. (0,59 mg/l) [114].

Canalizarea pluvială este formată o parte din rigole deschise, acoperite sau nu cu grătare de beton sau metalice, și din canale naturale din pământ sau înierbate, iar în cartierele de blocuri canalizarea pluvială este subterană formată din conducte de PVC. Apele provenite din precipitații, care cad pe acoperișul clădirilor, pot ajunge în rețeaua pluvială într-un mod direct (prin sisteme de jgheaburi și burlane conectate direct la rețea), sau indirect - prin scurgerea de suprafață (situație în care apa de pe acoperiș ajunge din sistemul de colectare -

igheaburi și burlane - direct pe trotuar sau pe teren neamenajat, realizându-si propriul traseu către rețea).

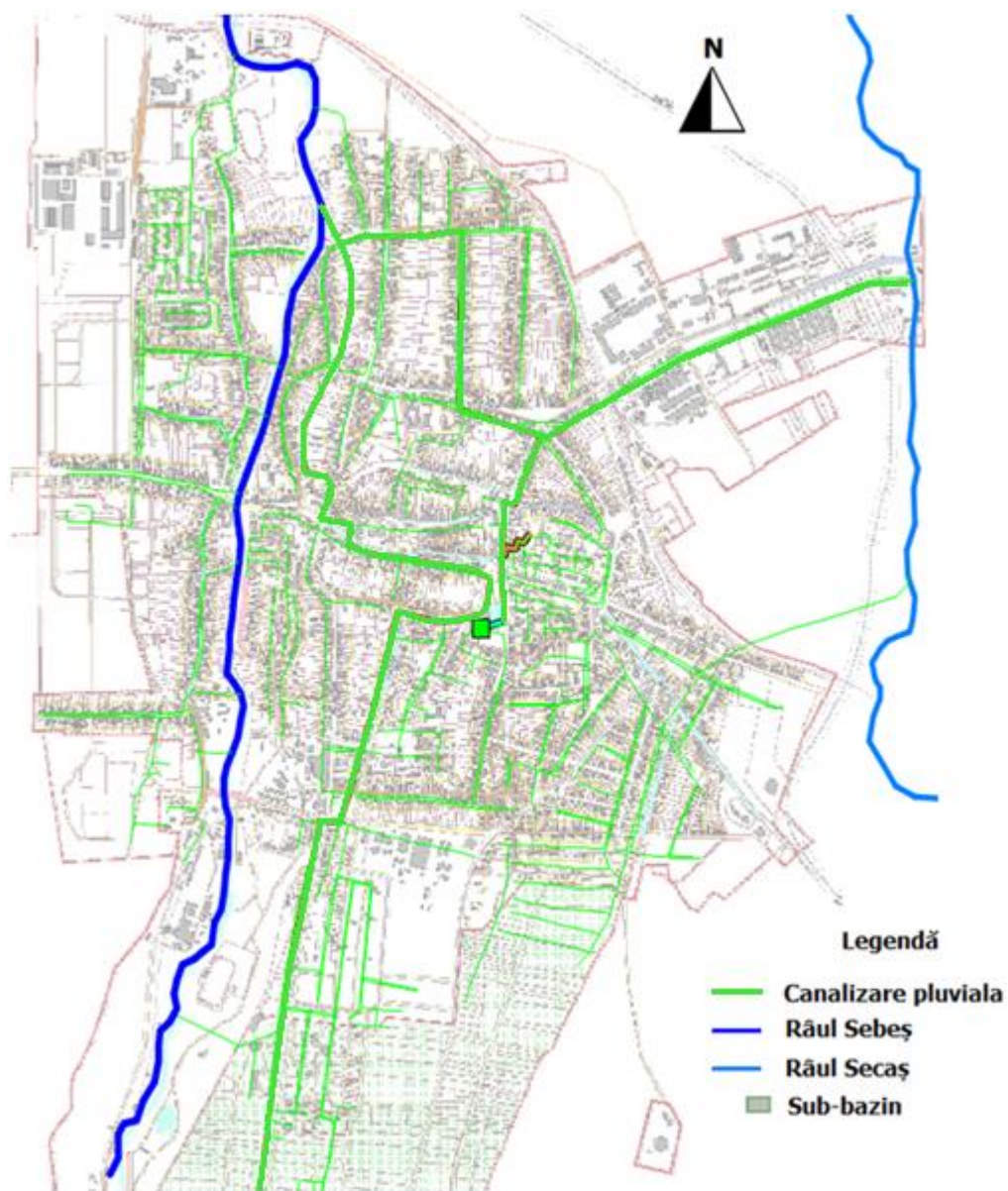




**Figura 5.3.** Canalizare pluvială Sebeș

Sistemul central de canalizare era un sistem interconectat. Apa intră în sistem din zona amonte a orașului din Lacul de acumulare de la Petrești, iar în zona parcului se împărțea în două, o parte mergea în lac iar restul continuă prin canalul de beton deschis pe zona centrală, ajungând într-un final în râurile Sebeș și Secaș (Figura 2).





**Figura 5.4.** Sistem de canalizare pluvial Sebeș

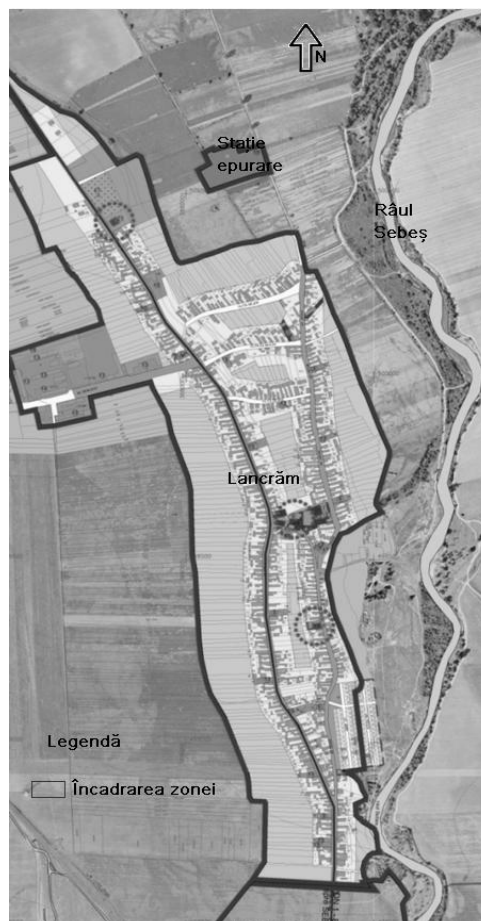
### 5.1.3. Descrierea problemelor existente

Sistemul de canalizare al orașului Sebeș este vechi, subdimensionat, canalele sunt astupate pe unele străzi, nemaifăcând astfel față debitelor de apă meteorice scurse de pe suprafața orașului la o ploaie cu frecvența de 1 la 2 ani.

Apa meteorică ajunge în sistemul de canalizare menajer iar în zona Lanocrăm a orașului iasă la suprafață provocând inundații (Figura 5.5).

Stația de epurare a orașului este dimensionată pentru un debit mediu de 90 l/s, debit depășit în timpul precipitațiilor iar apa ajunge direct în râul Sebeș din căminul de preaplin amplasat la intrare în stație.

**Figura 5.5.** Plan Urbanistic General 2011, Sebeș, zona Lanocrăm



### 5.2. Descrierea modelării cu SWMM 5.0.

Studiul a fost realizat cu ajutorul software-ului de modelare hidraulică SWMM 5.0, model dezvoltat de EPA (United States Environmental Protection Agency) [137] .

Modelul de management al apei dezvoltat de EPA (SWMM) este un model de simulare dinamică a procesului ploaie-scurgere, model care simulează calitatea și cantitatea apei scurse de pe suprafața zonei urbane; are la bază rezolvarea numerică a ecuațiilor Saint Venant. Este un model exact care necesită un volum important de date de bază: date hidrologice, diametre conducte, profile transversale de canale naturale, date cu privire la suprafața terenului etc. Scurgerea în SWMM este operată ca o colecție de sub-arii care primesc precipitații și generează scurgere



și încărnare cu poluanți. Drenajul apei scurse de pe suprafață este realizat printr-un sistem de conducte, canale, sisteme de stocare/epurare, pompe și regulatori. SWMM determină procesele care au loc la suprafața terenului (calitatea și cantitatea apei scurse pentru fiecare sub-arie) și procesele care au loc în rețeaua de canalizare (debitul, adâncimea scurgerii, calitatea apei în fiecare conductă și canal) în perioada de timp considerată.

SWMM a fost pentru prima dată dezvoltat în 1971 iar de atunci programul a suferit câteva schimbări majore. Continuă să fie folosit în întreaga lume pentru planificarea, analiza, și dimensionarea sistemelor de canalizare unitare, sistemele de canalizare a apei menajere, și ale altor sisteme de drenaj a apei realizate în zona urbană, având capacitatea de calcul a scurgerilor de suprafață a apei provenită din precipitații. A fost de asemenea folosit pentru modelarea zonelor care nu sunt zone urbane. Versiunea cea mai actuală a modelului este 5.0, versiune care a fost lansată în 2005. Are atât structură cât și interfață modernă, făcând din SWMM un program ușor de utilizat și mai accesibil noii generații de hidrologiști, ingineri, și specialiști în managementul resurselor de apă.

SWMM 5.0. are următoarele aplicații practice:

- Modelarea scurgerii de suprafață atât din zona urbană cât și din zonele peri-urbane, rurale sau cadru natural;
- Reducerea impactului creat de dezvoltarea zonei urbane prin propunerea de metode tipice de control a scurgerii de suprafață: zone tampon de stocare și epurare ecologică a apei (filter strips), bazine de infiltrare, suprafețe de bioretenție, pavaj și asfalt permeabil, tranșee de infiltrare etc. Se poate analiza performanța unităților retenție/infiltrare la diferite evenimente de precipitații;
- Calitatea apei scurse - modelarea încărcărilor și rutei suspensiilor solide totale (TSS) ;
- Epurarea apei scurse - este modelată îndepărtarea suspensiilor solide (TSS) ;
- Permite dimensionarea și simularea scurgerii apei în sistemul de drenaj dublu (separativ) ; Sistemul de drenaj dublu nu trebuie să fie paralel, apa poate curge în direcții diferite;
- Proiectarea și dimensionarea sistemelor de canalizare menajeră cu conducte sub presiune;
- Dimensionarea unităților de retenție a apei și determinarea capacității de control al inundațiilor și de protecție a calității apei;
- Obținerea hărților de risc la inundații prin modelarea integrată 1D-2D. Se poate realiza o modelare dinamică a sistemelor majore/minore, modelarea mai multor podețe și/sau poduri cu o albie majoră 2D, o modelare completă 1D-2D a bazinului hidrografic;
- Simularea continuă - se folosesc uneltele statistice pentru a analiza performanța unităților de retenție/infiltrare, a sistemului de drenaj dublu etc. dimensionate pe o perioadă de timp continuă introducându-se ploile istorice înregistrate.

Modelarea unidimensională are la bază trei componente fundamentale:

1. ecuațiile diferențiale;
2. exprimarea acestor ecuații în diferențe finite sau elemente finite, rezultând un sistem de ecuații algebrice;
3. schema numerică pentru rezolvarea acestor ecuații.

### 5.2.1. Modelare hidrologică

În SWMM sunt incluse o serie de procese hidrologice care duc la producerea scurgerilor de suprafață din zonele rurale și urbane precum:

- Serii de timp de precipitații;
- Evaporația apei de la suprafața solului;
- Acumularea zăpezii în straturi și topirea ei;
- Intercepția ploii de către zonele depresionare;
- Infiltrarea apei în solul nesaturat;
- Percolarea apei infiltrate din stratul superior în apele subterane;
- Infiltrații/exfiltrații sistem canalizare;
- Model iterativ de rezervor neliniar;
- Retenția și infiltrarea apei prin practici LID/unități de Infrastructura Verde.

#### Reprezentarea sistemului

SWMM este un model distributiv, ceea ce înseamnă că o zonă de studiu poate fi subdivizată într-un număr mare de sub-arii neregulate, pentru a capta cât mai bine efectul pe care îl au variabilitatea topografică spațială, căile de drenaj, modul de acoperire al terenului și caracteristicile solului asupra generării scurgerilor de suprafață. O sub-arie ideală este concepută ca o suprafață rectangulară care are pantă uniformă și o lungime de  $L$  care drenează într-un singur canal de evacuare, așa cum se vede în Figura 5.6. Fiecare sub-arie poate fi divizată în continuare în trei suprafețe: o suprafață impermeabilă cu retenția apei în depresiune (retenție), o zona impermeabilă care nu prezintă depresiuni, și o zona permeabilă cu capacitate de stocare a apei (în zone depresionare și prin intercepție). Doar ultima suprafață permite pierderea apei prin infiltrații în sol.

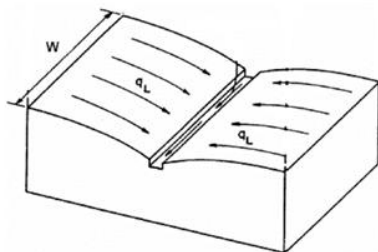


Figura 5.6. Reprezentarea ideală a unei sub-arii

Caracterizarea din punct de vedere hidrologic a unei suprafețe de studiu se face urmărind setul de parametri introduși.

- **Suprafața**

Aceasta este aria clar delimitată caracterizată de anumiți parametri. Valoarea ei poate fi determinată automat din hărți, măsurători pe teren, sau folosind instrumente de măsurare ale programului (în cazul în care avem o imagine de fundal scalată).

- **Lățimea**

Lățimea sub-arii poate fi definită ca și aria suprafeței împărțită la lungimea celei mai lungi căi de scurgere de suprafață pe care apa poate să fie transportată. Dacă avem mai multe căi de aceasta natură atunci se va folosi media lungimilor pentru a realiza calculul.

Trebuie avut grijă să nu se includă sistemul de canalizare în calculul lungimii căii de scurgere. În cadrul natural, scurgerea de suprafață există pe distanțe până la 150 m, la lungimi mai mari încep să se formeze șiroaie. În bazinele urbane, scurgerea de suprafață poate fi foarte scurtă până la colectarea ei în canale sau conducte. O lungime maximă de 150 m se cuvine scurgerii de suprafață pentru suprafețe cu cadru natural, în timp ce scurgerea de suprafață în bazine urbanizate este de la capătul parcelei reprezentative până la centrul străzii. Dacă avem variații mari a lungimii căii de scurgere, în cazul sub-ariilor, atunci trebuie folosită media ponderată a ariilor (area-weighted).

Pentru că nu este mereu ușor să identifiți exact toate căile de scurgere de suprafață dintr-o sub-arie, este deseori necesar să se folosească un parametru general (aproximativ) ca și parametru de calibrare, a cărui valoare poate fi ajustată pentru a produce o bună asemănare între hidrograful scurgerii observat și cel estimat.

- **Panta**

Aceasta este panta suprafeței terenului pe care se scurge apa, și este aceeași atât pentru suprafețe permeabile cât și pentru suprafețele impermeabile.

- **Zonele impermeabile**

Acestea reprezintă procentul din suprafața sub-ariei care este acoperit de o suprafață impermeabilă, precum acoperișuri și drumuri, prin care ploaia nu se poate infiltra. Zonele impermeabile tind să fie parametrul cel mai important în caracterizarea din punct de vedere hidrologic a unui bazin urbanizat.

- **Coeficientul de rugozitate**

Coeficientul de rugozitate reflectă rezistența, efectul suprafeței terenului asupra vitezei de scurgere a apei. Deoarece se folosește ecuația lui Manning pentru simularea ratei de scurgere, coeficientul folosit este la fel ca și coeficientul de rugozitate al lui Manning,  $n$ . Sunt necesare valori separate ale coeficientului de rugozitate pentru suprafețele permeabile și cele impermeabile ale sub-ariilor, coeficientul de rugozitate al zonelor permeabile fiind ca și valoare mai mare decât cel specific zonelor impermeabile.

- **Stocarea apei în depresiuni**

Stocarea apei în depresiuni corespunde unui volum care trebuie să fie plin înainte de începerea scurgerii de suprafață. Se pot folosi valori diferite pentru suprafețele permeabile și impermeabile ale unei sub-arii. Reprezintă partea din precipitații reținută la suprafața solului (depresiuni, acoperișuri plate și vegetație. În general valorile se situează între 0.05 (pentru suprafețe impermeabile) și 0.3 (pentru suprafețe acoperite cu păduri).

- **Procent din zona impermeabilă care nu prezintă depresiuni**

Acest parametru se înregistrează pentru calculul scurgerii de suprafață care apare odată cu începerea ploii, înainte ca zonele depresionare să fie pline. Sunt reprezentate de pavaje, care sunt aproape de canal și care nu au suprafețe de reținere a apei, de acoperișuri cu panta de pe care apa se drenează direct în canal, etc. O valoare automată dată acestei variabile este de 25%, dar acesta se poate schimba pentru fiecare sub-arie. În cazul în care nu se cunosc circumstanțe speciale, se recomandă să se păstreze procentul de 25% al suprafețelor impermeabile.

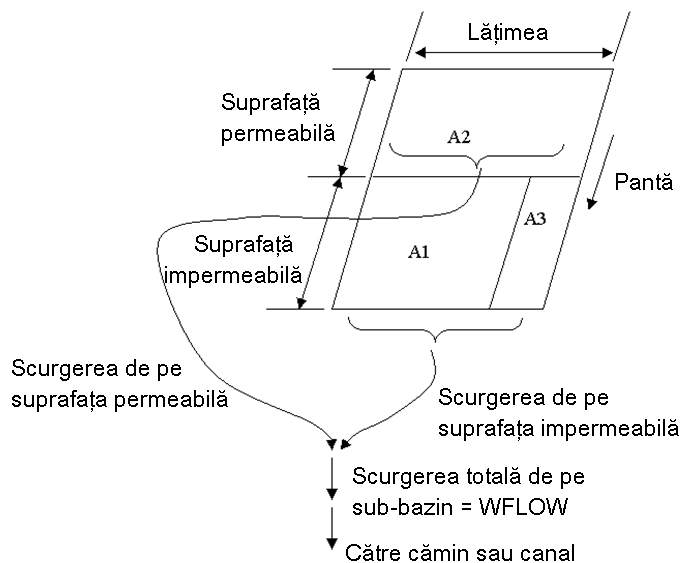
- **Model de infiltrare**

În program sunt disponibile trei modele diferite pentru estimarea pierderilor prin infiltrarea apei în zonele permeabile a unei sub-arii. Regăsim ecuațiile lui Horton, Green-Ampt și Curve Number (vezi Capitolul IV). Nu există o convenție generală privind modelul de calcul cel mai adecvat. Modelul Horton a fost folosit de mult timp în simularea dinamică, modelul Green-Ampt are o bază fizică mai bună, și modelul Curve Number s-a născut din (dar nu este la fel) bine cunoscutul model SCS Curve Number folosit pentru modele de scurgere simplificate.

- **Precipitațiile atmosferice**

Precipitațiile sunt principala variabilă în procesul ploaie-scurgere-simularea debitelor. Volumul și rata scurgerii apei din precipitații depinde direct de mărimea precipitațiilor și de distribuția spațială și temporară a acestora pe bazinul hidrografic. Fiecărui sub-arie  $i$  se atribuie opțiunea de "Rain Gage" de unde se poate alege seria de timp de precipitație specifică sub-arii. Seriile de timp de precipitații pot fi de intensitate sau de volum iar pasul de timp trebuie să fie egal cu pasul de timp la care se realizează raportarea rezultatelor simulării.

Suprafața terenului este reprezentată de o rețea dendritică formată din sub-arii rectangulare, fiecare sub-arie cu parametri specifici stabiliți în funcție de modul de utilizare și acoperire a terenului. O schematizare a modului de calcul a scurgerii de suprafață dintr-o sub-arie se găsește în Figura 5.7.



**Figura 5.7.** Schematizarea scurgerii de pe sub-arie

Calculul debitului scurs de pe suprafața unei sub-arii se realizează prin cuplarea ecuației de continuitate cu ecuația lui Manning.

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A \cdot i^* - Q \quad (5.1)$$

unde:

$V$  = volumul de apă de pe un sub-arie,  $m^3$

$d$  = adâncimea apei, m

$t$  = timp, sec

$A$  = suprafața sub-ariei,  $m^2$

$i^*$  = excesul de precipitații

$Q$  = debitul de ieșire,  $m^3/s$

$i^*$  - precipitația/intensitatea de topire a zăpezii - evaporația/rata de infiltrare

$$Q = W \cdot \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (5.2)$$

unde:

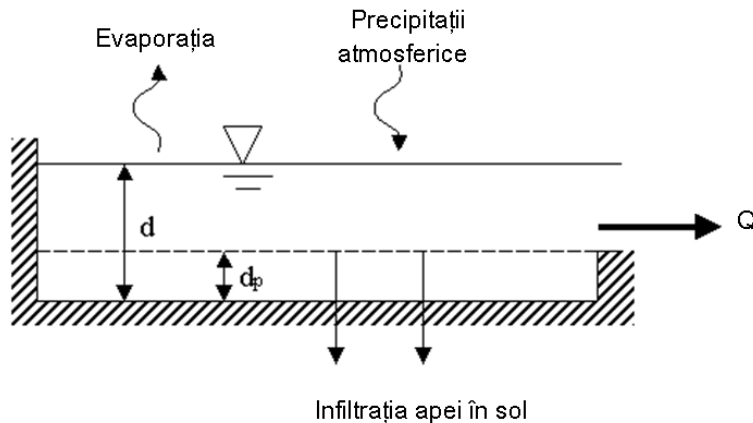
$W$  = lățimea sub-ariei, m.

$n$  = coeficientul de rugozitate Manning

$d$  = adâncimea apei, m

$d_p$  = adâncimea zonei depresionare, m

$S$  = pantă sub-ariei, m/m



**Figura 5.8.** Diagrama unei secțiuni transversale a scurgerii de suprafață de pe o sub-arie

Lățimea unei sub-arii este importantă deoarece este direct proporțională cu debitul scurs, cu cât sub-aria este mai lată cu atât apa se scurge într-un timp mai scurt de pe suprafață.

### 5.2.2. Modelare hidraulică

Cu SWMM 5.0 se poate modela scurgerea de suprafață, apa subterană, infiltrațiile/afluxul în sistemul de canalizare, scurgerea apei uzate prin rețeaua de canalizare. Programul are capacitatea să:

- Facă față rețelelor de canalizare de diferite mărimi, neexistând o limită a mărimii acestora;
- Folosească conducte/canale deschise sau închise standardizate de diferite forme și mărimi, precum și canale naturale de scurgere a apei;
- Modeleze o serie de elemente speciale precum unități de stocare/epurare a apei, divizoare de debit, pompe, deversoare și orificii;
- Aplice date de intrare referitoare la debite externe și date de calitate a apei din scurgerea de suprafață și din scurgerea hipodermică;
- Utilizeze iterația ca metodă de determinare a debitelor în rețeaua de canalizare;
- Introducă serii de date pentru controlul debitelor de intrare în cămine ;
- Aplice reguli de control dinamic pentru operarea pompelor, deschiderea orificiilor și coborârea/ridicarea deversorului.

Ecuatiile care stau la bază sunt ecuațiile Saint Venant de conservare a masei și de moment. Opțiunea Routing Method permite alegerea metodei care se dorește a se folosi pentru calculul propagării undeii în sistemul de drenaj. Se poate alege dintre: Curgerea Uniformă, Unda Cinematică și Unda Dinamică.

Unda Dinamică este cea mai bună metodă de calcul a propagării undeii deoarece rezolvă ecuația de curgere unidimensională Saint Venant pentru întreaga rețea de drenaj. Această metodă poate simula toate tipurile de condiții de curgere observate într-un sistem de drenaj, precum refulare, curgerea sub presiune și inundarea.

Modelul SWMM este o rețea de elemente conectate între ele. Hidrografele debitelor se calculează în noduri (debit de intrare din amonte, debit de intrare din scurgerea de suprafață și debit de ieșire). Elementele sistemului sunt: canale, conducte, pompe, unități de control debit, orificii, cămine, punct ieșiri sistem, unități de stocare a apei, divizoare de debit, regulatoare, stăvilare etc.

În SWMM căminele, divizoarele de debit, punctul de ieșire din sistem (outfalls) și unitățile de stocare sunt reprezentate ca și noduri cu anumite funcții; conductele, unitățile de control debit, pompele, orificiile și stăvilarele sunt elemente de legătură a nodurilor.

Ecuatia de continuitate în nod:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \sum Q_t \Delta t / A_{s_t} \quad (5.3)$$

unde:

$H(t+\Delta t)$  = înălțimea piezometrică  
 $H_t$  = înălțimea piezometrică la începutul simulării  
 $Q_t$  = debitul  
 $\Delta t$  = pasul de timp  
 $A_{s_t}$  = suprafața nodului

Ecuatia de moment:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = gA \frac{\partial H}{\partial x} + gASf + \frac{\partial Q^2}{\partial x} \quad (5.4)$$

unde:

$\frac{\partial Q}{\partial t}$  = variația debitului în timp  
 $g$  = constantă gravitațională  
 $A$  = aria secțiunii transversale  
 $H$  = înălțimea piezometrică

$x$  = distanța de-a lungul canalului/conductei  
 $S_f$  = pantă de frecare  
 $Q$  = debitul din conductă

Panta de frecare este exprimată în termenii ecuației lui Manning:

$$S_f = \frac{n^2 V |V|}{k^2 R^{4/3}} \quad (5.5)$$

unde:

$n$  – coeficientul lui Manning  
 $R$  – raza hidraulică  
 $V$  – viteza curentului  
 $k$  – coeficient de transformare (1,49 pentru US, 1,0 în metri)

Pierderile locale sunt exprimate prin relația:

$$h_L = \frac{KV^2}{2gL} \quad (5.6)$$

unde:

$h_L$  - pierderile locale  
 $L$  – lungimea conductei  
 $K$  – coeficientul de pierdere locală

Curgere prin orificii (theoremă lui Torricelli):

$$Q = CA\sqrt{2gh} \quad (5.7)$$

unde:

$Q$  = debitul curs prin orificiu  
 $C$  = coeficientul de descărcare  
 $A$  = aria de curgere a orificiului  
 $g$  = constant gravitațională  
 $h$  = înălțimea piezometrică

### Stabilitatea numerică.

Modelul este stabil numeric în momentul în care se îndeplinește următoarea inegalitate:

$$\Delta t \leq \frac{L}{\sqrt{gD}} \quad (5.8)$$

unde:

$\Delta t$  = pasul de timp (s)  
 $L$  = lungimea conductei  
 $g$  = constantă gravitațională  
 $D$  = adâncimea maximă în conductă

Inegalitatea este o formă a condițiilor Courant în care pasul de timp este limitat timpului necesar de propagare pe toată lungimea conductei din ecuația unei dinamice. Este o metodă Euler modificată.

În editorul datelor climatologice pot fi introduse valori zilnice printr-o serie de timp, medii lunare (mm/zi) sau valori zilnice constante (mm/zi) ale evaporației.

Frecvența de depășire și perioada de revenire afișate pentru un anumit eveniment sunt calculate folosind formula lui Weibull:

$$F = \frac{m}{n_R + 1} \quad (5.9)$$

$$T = \frac{n + 1}{m} \quad (5.10)$$

unde:

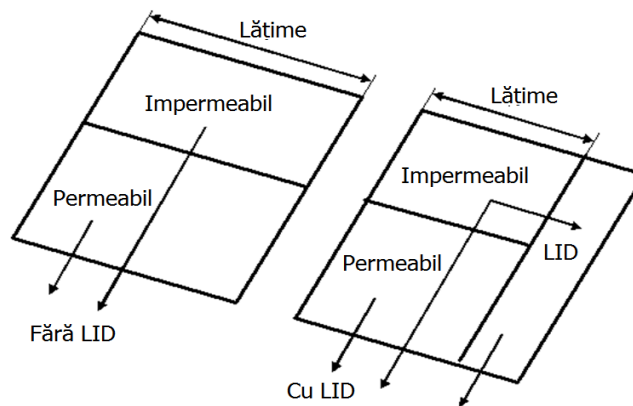
- m - rangul evenimentului
- $n_R$  - numărul total de evenimente
- F - frecvența de depășire
- T - perioada de revenire

### 5.2.3 Modelare LID

SWMM (v.5.0.022) [137] încorporează instrumente ale managementului apei pluviale (LID, SUD, BMP) permițând simulări cantitative, modelarea explicită și distribuită a diferitelor practici de management.

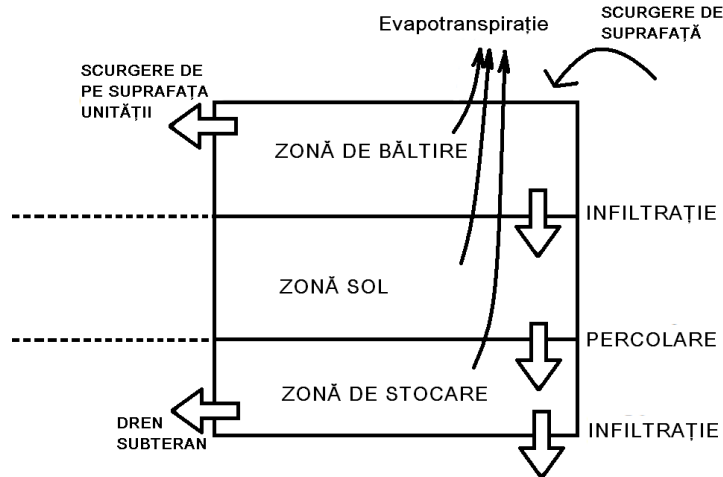
Cinci tipuri de unități LID pot fi modelate cu SWMM:

1. unități de bioretenție (acoperișurile verzi, grădinile de ploaie sau plantațiile stradale);
2. tranșee de infiltrare;
3. pavaj permeabil;
4. bazine de retenție;
5. canal pământ vegetal.

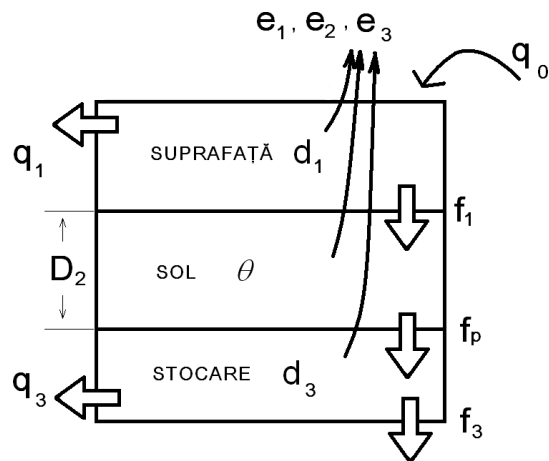


**Figura 5.9.** Reprezentarea schematică a modelării unităților LID





**Figura 5.10.** Model conceptual al proceselor din interiorul unităților de bioretenție  
 Calculul debitelor dintr-o unitate de bioretenție se face folosind ecuația de bilanț.



**Figura 5.11.** Ecuația de bilanț într-o unitate de bioretenție

$$D_2 \frac{\partial \theta}{\partial t} = f_1 - e_2 - f_p \quad (5.11)$$

$$\frac{\partial d_1}{\partial t} = q_0 - e_1 - f_1 - q_1 \quad (5.12)$$

$$\emptyset \frac{\partial d_3}{\partial t} = f_p - e_3 - f_3 - q_3 \quad (5.13)$$

### **5.3. Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice**

#### **5.3.1. Modul de acoperire și utilizare a terenului în Sebeș**

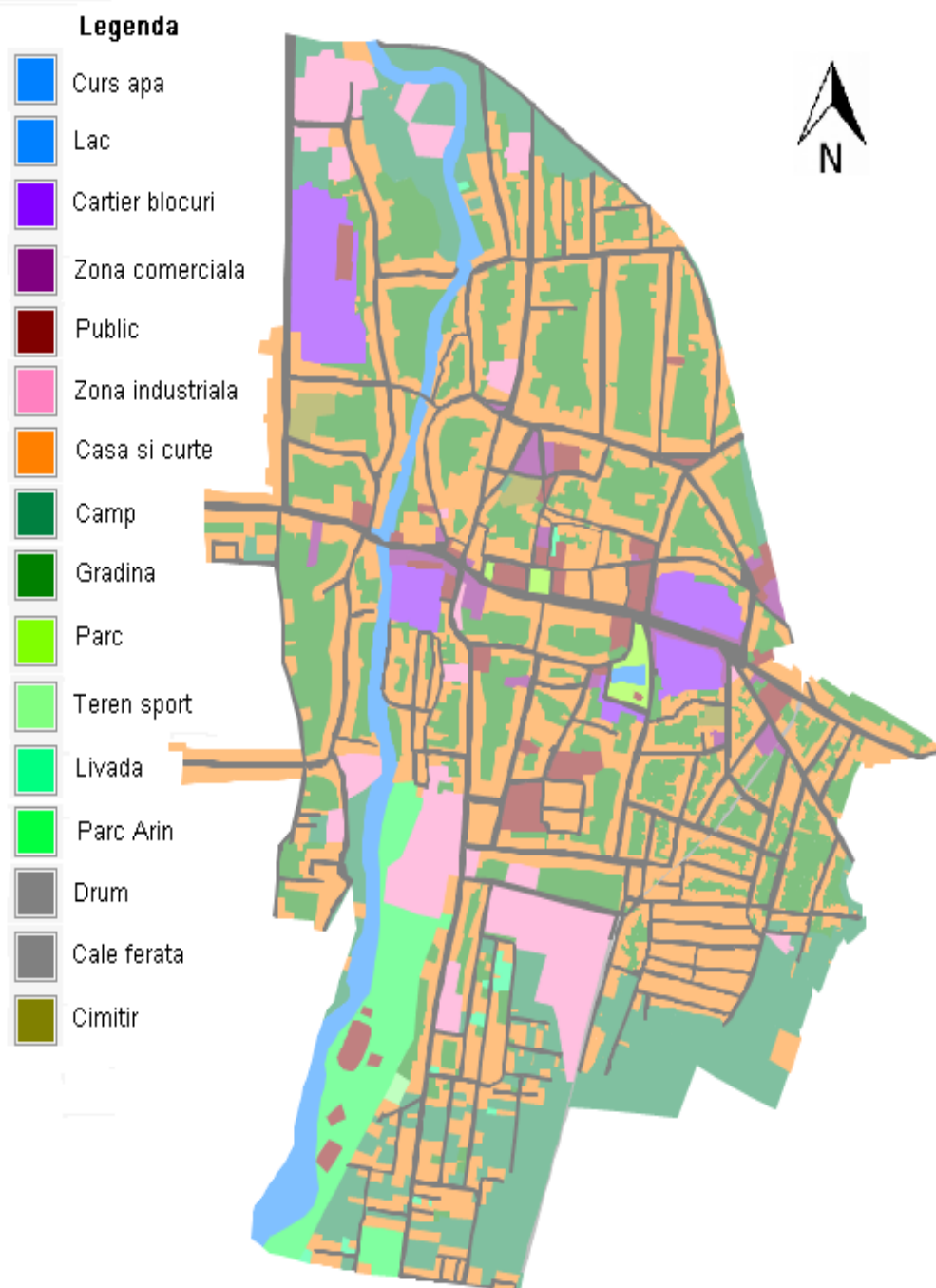
Orașul este construit în jurul fostei cetăți, zonă care reprezintă centru istoric. Clădirile cele mai vechi ale actualului centru istoric al Sebeșului au fost construite în secolul al XV-lea. Fiind un centru meșteșugăresc, în secolul XX are loc o expansiune necontrolată și haotică a orașului prin construirea de noi case.

Sub regimul comunism, datorită industrializării intense, apar zonele industriale periferice ducând la necesitatea construirii cartierelor muncitorești. Astfel apar cartierele de blocuri: Mihail Kogălniceanu, Aleea Lac, Aleea Parc, Lucian Blaga și Valea Frumoasei. După 2000 Sebeșul începe să se extindă către localitatea Petrești, localitate care în prezent aparține din punct de vedere administrativ Sebeșului, aproape unindu-se cu aceasta.

Din punct de vedere a funcțiunilor orașului, 46,48% din suprafața orașului este ocupată de locuințe și funcțiuni complementare, 14,88% de instituții publice, 18,56% de unități industriale și spații de depozitare, 7,8% de spații verzi, destinații sportive, agrement, protecție plus ape, 7,47% de căi de comunicații rutieră și amenajări aferente, iar restul de până la 100% de cimitire, lucrări tehnico-edilitare etc. [130].

În Figura 5.12 se poate observa distribuția haotică a funcțiunilor orașului.

Suprafața impermeabilă a ariei de studiu este de 47%. Zonele industriale, comerciale și cartierul Aleea Parc au suprafața impermeabilă între 80-100%. Cartierele de blocuri, mai puțin Aleea Parc, au suprafața impermeabilă între 70-90%, zonele de case au suprafața impermeabilă între 55-95%, majoritatea caselor fiind prevazute cu curți pavate sau asfaltate (Figura 5.13).



**Figura 5.12.** Hartă utilizare teren Sebeș



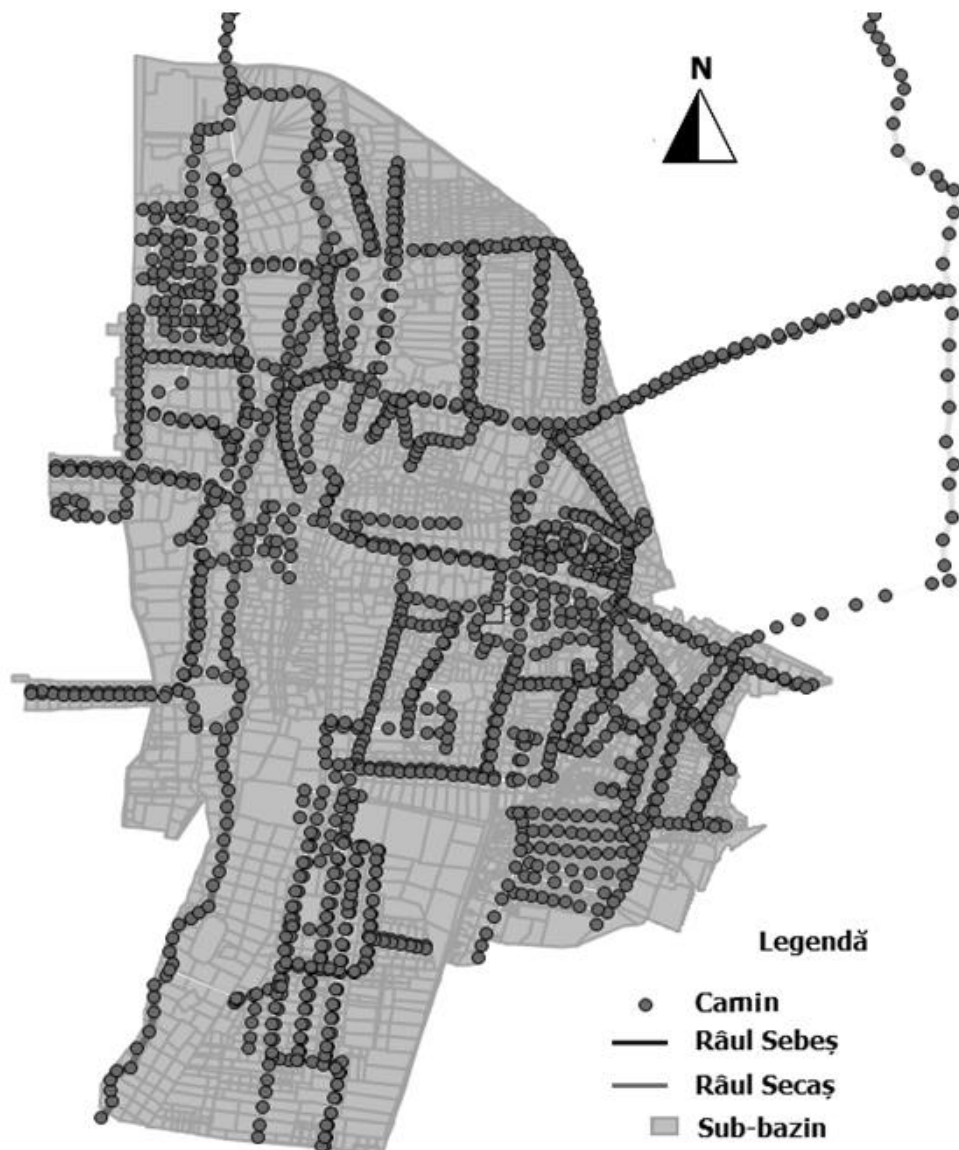
**Figura 5.13.** Hartă impermeabilitate Sebeș

### 5.3.2. Pregătirea datelor și construirea modelului

Modelul a fost construit în programul de modelare SWMM 5.0 pe imaginea de fundal scalată PUG SEBEȘ 2011.

Aria de studiu se extinde pe 577 ha având o suprafață impermeabilă estimată de 47.9%.

Modelul cuprinde: 1876 link-uri, 4886 sub-arii, 1866 noduri.



**Figura 5.14.** Modelul cuplat al rețelei de canalizare cu rețeaua de la suprafața terenului

### Alegerea ecuațiilor și setarea modelului

Pentru calculul infiltrațiilor s-a ales modelul Curve Number. Curve Number derivă din (dar nu este la fel) cunoscuta metoda SCS Curve Number, folosită pentru a simplifica modelele de scurgere a apei pe suprafața terenului. Avantajul acestui model este faptul că rata de infiltrare se calculează în funcție de modul de utilizare a terenului. Astfel în SWMM suprafața studiată se împarte în mai multe sub-arii și fiecărei sub-arii i se atribuie un indice Curve Number.

Pentru calculul propagării undei prin sistemul de canalizare pluvial s-a ales Dynamic Wave. Dynamic Wave rezolvă complet ecuația Saint Venant pentru cazul unidimensional.

Deoarece precipitația este la un interval de timp de 5 minute, atât pasul de timp pentru calculul scurgerii apei provenite din precipitații, cât și raportarea, s-au ales să se realizeze la 5 minute.

### Construirea sistemului de canalizare pluvială existentă

Sistemul de canalizare al orașului Sebeș a fost construit în SWMM 5.0 după cum urmează:

1. pe baza proiectelor de canalizare existente (Mihail Kogălniceanu, Lucian Blaga, Șureanu, Nicolae Iorga, Radu Stanca și Tudor Vladimirescu) [131] [132] [133] [134];
2. pe baza datelor obținute de la SC APA CTTA SA Sebeș verbal și pe format hârtie, observațiilor și măsurătorilor realizate la fața locului.

### Discretizarea suprafeței

După ce s-a construit sistemul de canalizare pluvială în SWMM s-a realizat discretizarea suprafeței în funcție de modul căii de scurgere a apei, unindu-se suprafețele de pe care apa intră în sistemul de canalizare în același punct [87].

Pentru simplificarea sub-ariile s-au împărțit în grupe, fiecare cu caracteristicile proprii. În tabelul de mai jos se găsesc grupele de sub-arii.

**Tabel 5.1.** Grupe teren

Grupă	N supraf. perm.	N supraf. imperm.	Stocare apă supraf. permeabilă (mm)	Stocare apă supraf. imperm.(mm)	% Impermeabil	CN
Drum piatră	0.03	-	2	-	0	85
Câmp	0.13	-	4	-	0	70
Zonă industrială	0.13	0.011	3	1.5	80-98	81
Drum	-	0.011	3	1.5	80-100	81
Parcare	-	0.011	-	1.5	100	98
Piață	-	0.011	-	1.5	100	98
Grădină	0.06	-	3	-	0	81
Teren sport artificial	-	0.13	-	2	100	98

### 5.3-Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice 87

Teren sport	0.13	0.011	2	1.5	5	79
Livadă	0.15		7		0	58
Parc	0.15	0.011	4	1.5	15-50	61
Arin	0.4	0.011	7	1.5	3	55
Casă	-	0.011	-	0	100	98
Casă 1	0.06	0.011	4	1	95 (93-98)	85
Casă 2	0.06	0.011	4	1	90 (87-92)	85
Casă 3	0.06	0.011	4	1	84 (81-86)	85
Casă 4	0.06	0.011	4	1	78 (75-80)	85
Casă 5	0.06	0.011	4	1	72 (69-74)	85
Casă 6	0.06	0.011	4	1	66 (63-68)	85
Casă 7	0.06	0.011	4	1	50 (45-62)	85
Cimitir	0.03	0.011	2.5	1.5	90	85
Cale Ferată	0.02	0.011	2	1.0	0.5	85
Albie Râu	0.04	-	2	-	0	55
Kogălniceanu	0.13	0.011	4.5	1.5	72.71	66
Aleea Lac	0.13	0.011	3	1.5	83.6	71
Lucian Blaga	0.13	0.011	4.5	1.5	78	66
Valea Frumoasei	0.13	0.011	3	1.5	88.62	71
Aleea Parc	0.13	0.011	3	1.5	55-100	66

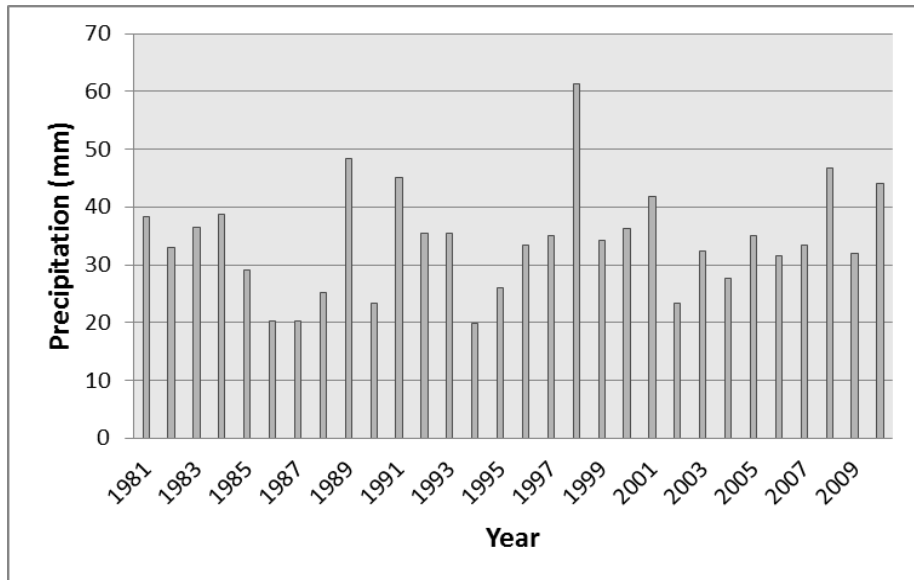
Terenurile de sport artificiale s-au considerat suprafețe impermeabile cu capacitate de stocare și coeficient de rugozitate specifice terenurilor de sport cu gazon natural.

Zona de case s-a discretizat în sub-arii care reprezintă grădinile și sub-arii care cuprind casa și curtea interioară.

#### 5.3.3. Obținerea ploii de calcul

Ploaia de calcul este ploaia la care se dimensionează rețeaua de canalizare și unitățile de retenție/infiltrare, și se caracterizează prin intensitate, durată, frecvență.

Cu ajutorul instrumentelor statistice se poate determina intensitatea ploii pentru o anumită frecvență de apariție. În calculele realizate s-au folosit date extrase dintr-un set gridat de date (10x10 km) (ANM) pentru 30 de ani, 1980-2010. Metoda de calcul folosită este distribuția Gumbel.



**Figura 5.15.** Precipitațiile maxime zilnice anuale (ANM)

### Distribuția Gumbel

Legea Gumbel este o lege de distribuție statistică folosită în hidrologie și climatologie pentru estimarea valorilor extreme ale unor fenomene [1]. Distribuția Gumbel are doi parametri de distribuție ( $\alpha$ ,  $u$ ), deoarece parametrul  $K$  este setat la 0. Estimarea parametrilor distribuției Gumbel se realizează prin metoda momentelor.

$$F(x) = \exp \left[ - \exp \left( - \frac{x - u}{\alpha} \right) \right] \quad (5.14)$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6}s}{\pi} \quad (5.15)$$

$$u = \bar{x} - \gamma * \alpha \quad (5.16)$$

$\bar{x}$  = media aritmetică

$s$  = Deviațevstandard

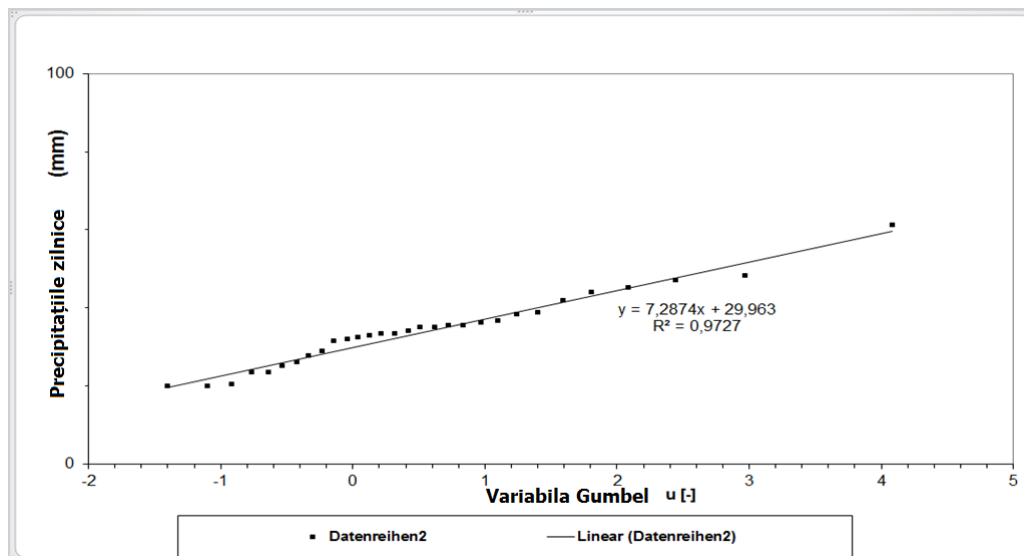
$\gamma = 0.5772$  (constanta lui Euler)

Rangul reprezintă ordinea mărimii evenimentelor istorice înregistrate, fiind o scalare a evenimentelor din care se va deduce frecvența și probabilitatea de producere a unor mărimi specifice fenomenului analizat. Există mai multe ecuații pentru rang: Weibull, Hazen, Cunanne, Grigorten, Blom, Honking și Mediane.



### 5.3–Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice 89

Folosind precipitațiile zilnice maxime anuale și presupunând că distribuția rămâne constantă de-a lungul timpului au fost calculate precipitațiile cu durată de 24 de ore corespunzătoare diferitelor perioade de revenire.



**Figura 5.16.** Precipitațiile zilnice maxime anuale pentru Sebeș (1981-2010) folosind formula lui Hazen

Din analiza modelului se poate observa că distribuția Gumbel constituie o estimare satisfăcătoare a repartiției precipitațiilor zilnice maxime anuale. Datorită bunei potriviri a distribuției Gumbel, se presupune că aceasta este adecvată modelării frecvenței evenimentelor de precipitații de 24 de ore din Sebeș.

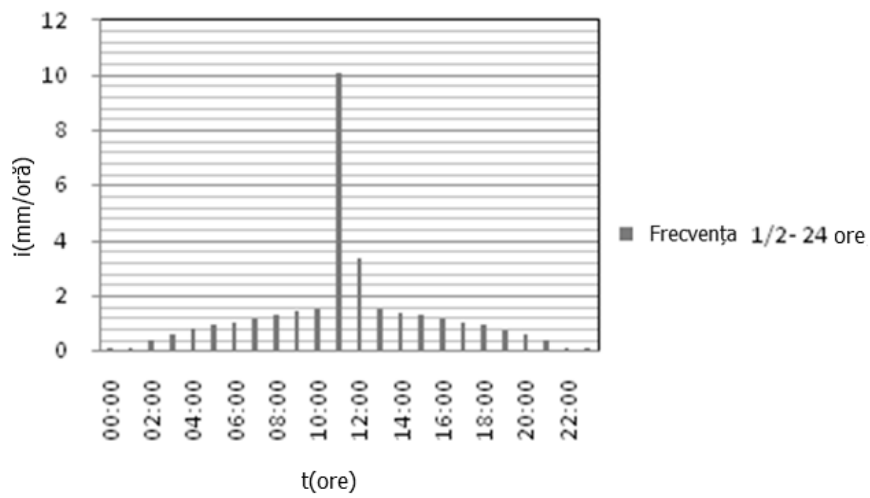
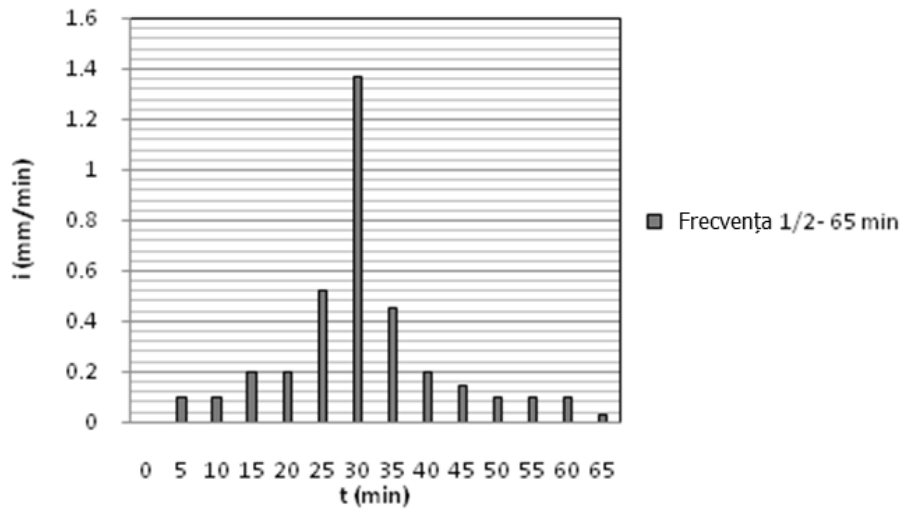
Din analiza Gumbel s-a obținut intensitatea precipitațiilor cu durată de 24 de ore pentru diferite frecvențe ale ploii (Tabel 1).

**Tabel 5.2.** Intensitatea precipitațiilor cu durată de 24 de ore pentru Sebeș, Alba la diferite frecvențe

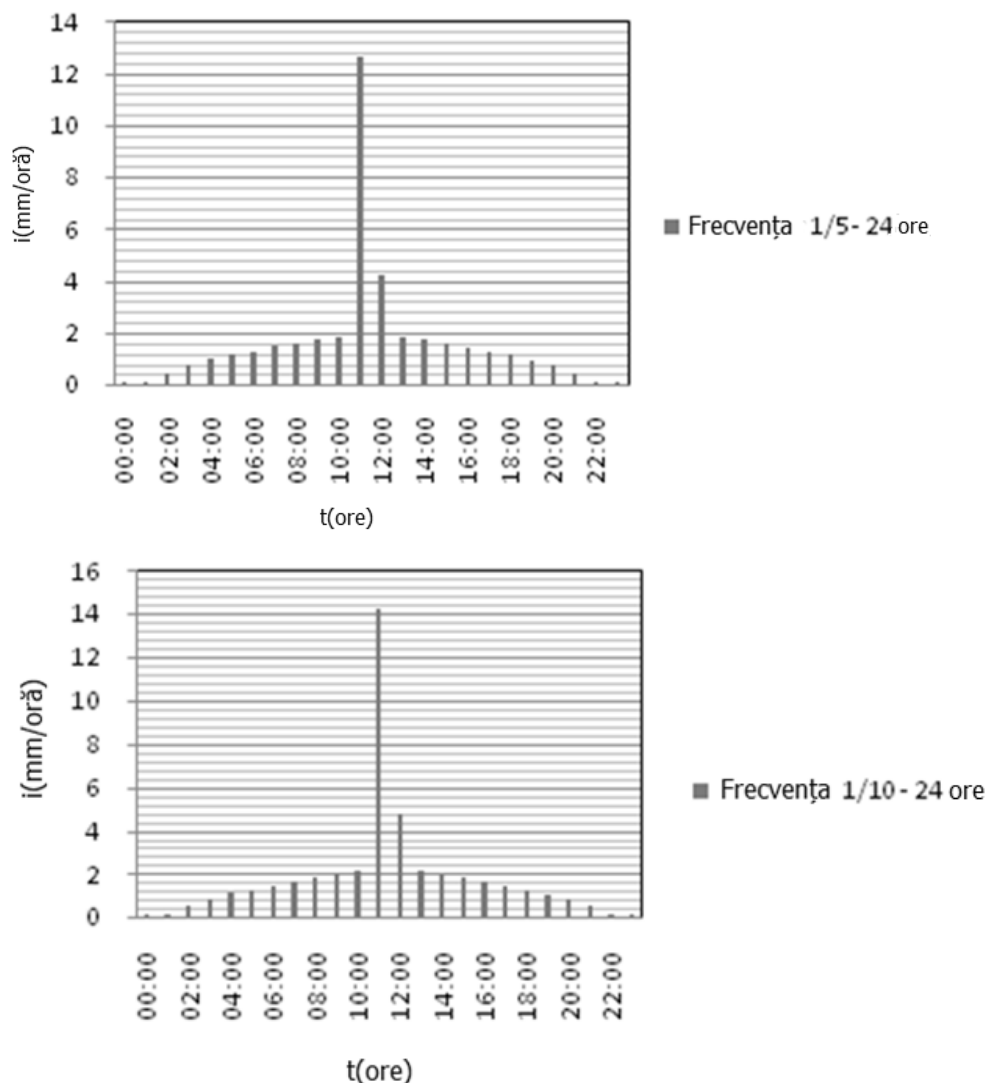
Frecvența	Precipitație 24 h (mm)
<b>Frecvența 1 la 2</b>	32.58
<b>Frecvența 1 la 5</b>	40.76
<b>Frecvența 1 la 10</b>	46.18
<b>Frecvența 1 la 20</b>	51.38

#### Construirea hietogramelor ploilor de calcul

După ce s-au calculat valorile pentru diferite frecvențe ale ploii, hietograma ploii s-a construit conform STAS 9470-73 folosindu-se valorile paramentului K pentru specifice zonei B (Figura 9).



### 5.3-Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice 91



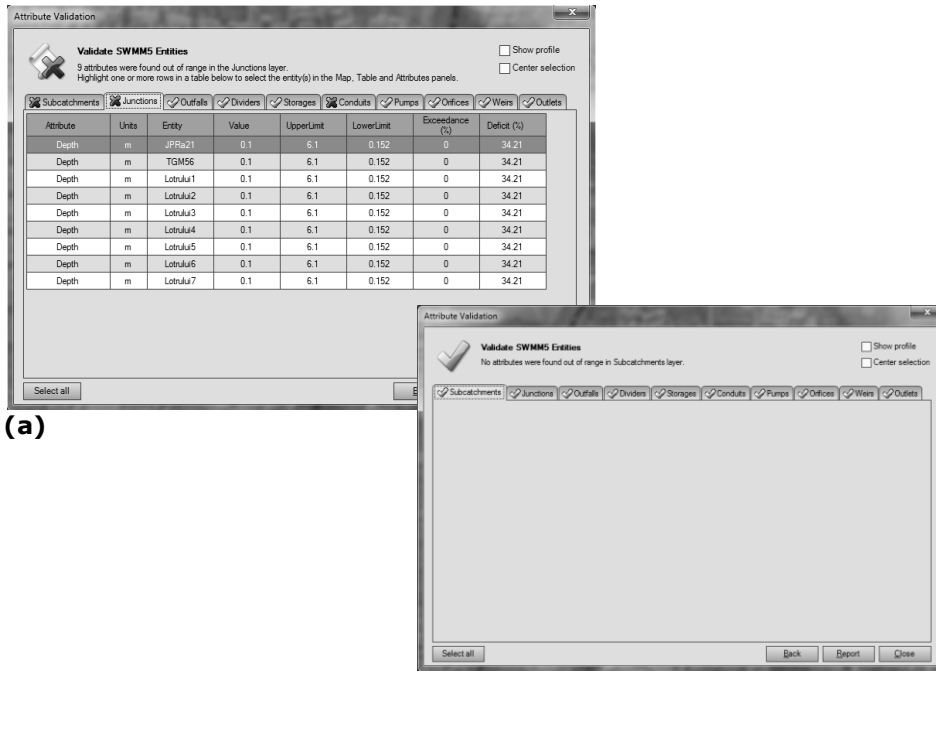
**Figura 5.17.** Hietograma evenimentelor de precipitatii la anumite frecvențe

#### 5.3.4. Verificarea și Validarea modelului

În primă instanță s-a realizat o verificare vizuală, toate datele introduse fiind verificate manual. După verificarea vizuală și realizarea corecturilor s-a realizat o verificare și validare utilizând opțiunea – Attribute Validation.

Opțiunea "Attribute Validation" verifică ca fiecare parametru a sub-ariilor (panta, lățime, coeficientul de rugozitate etc.) , nodurilor (adâncime etc.), conductelor (lungime, coeficient de rugozitate, etc.), unităților de stocare (adâncime etc.) etc., să se încadreze în valorile propuse în documentația modelului SWMM. În

situația în care utilizatorul folosește alte valori, de preferat din documentația de specialitate, acestea se pot modifica manual (Figura 10).



**Figura 5.18.** Validarea datelor folosind opțiunea "Attribute Validation" (a) situația în care programul a identificat erori în datele introduse (b) situația în care toate datele introduse se încadrează în limitele acceptate

S-au corectat manual toate erorile identificate de program (Figura 10 (a)) și apoi s-a repetat verificarea datelor până când valorile introduse se încadrează în limitele admise (Figura 10 (b)).

După rularea programului în situația în care fiecărei sub-arii i s-a atribuit o precipitație de 65 min cu frecvența de 1/2, s-a verificat ca valorile erorilor de continuitate în volumul scurs de pe suprafață și valorile erorilor de continuitate în curgerea în rețeaua de canalizare, să nu depășească valorile admise, în cazul nostru s-a ales o valoare limită de 1%.

	Volume	Depth
Runoff Quantity Continuity	hectare-m	mm
Total Precipitation .....	10.188	18.000
Evaporation Loss .....	0.000	0.000
Infiltration Loss .....	4.849	8.567
Surface Runoff .....	4.931	8.712
Final Surface Storage ....	0.496	0.876
Continuity Error (%) .....	-0.857	

**Figura 5.19.** Captura de ecran Runoff Quantity Continuity Error

### 5.3–Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice 93

*****	Volume	Volume
Flow Routing Continuity	hectare-m	10^6 ltr
*****	-----	-----
Dry Weather Inflow .....	0.000	0.000
Wet Weather Inflow .....	4.927	49.272
Groundwater Inflow .....	0.000	0.000
RDII Inflow .....	0.000	0.000
External Inflow .....	0.000	0.000
External Outflow .....	4.343	43.427
Internal Outflow .....	0.000	0.000
Storage Losses .....	0.000	0.000
Initial Stored Volume ....	0.000	0.004
Final Stored Volume .....	0.606	6.065
Continuity Error (%) .....	-0.439	

**Figura 5.20.** Captura de ecran Flow Routing Continuity Error

S-au analizat scurgerile de suprafață rezultate. Pentru fiecare sub-arie s-a verificat coeficientul de scurgere și s-a comparat cu valorile coeficientului de scurgere specifice diferitelor tipuri de acoperire a solului din SR 1842-2:2007. S-a observat că pentru fiecare tip de acoperire a solului coeficientul de scurgere rezultat se încadrează în limitele din Tabelul 2 - SR 1842-2:2007. De exemplu pentru grădini s-a obținut un coeficient de scurgere de 0.082, limitele din Tabelul 2 - SR 1842-2:2007, fiind între 0.05-0.15 diferind în funcție de panta terenului; în cazul drumurilor de piatră s-a obținut un coeficient de scurgere de 0.254 iar în Tabelul 2 - SR 1842-2:2007, valorile variind între 0.25-0.5 în funcție de panta terenului; în cazul parcului Arin s-a obținut un coeficient de scurgere de 0.029, limitele din Tabelul 2 - SR 1842-2:2007, fiind între 0.01-0.10, în funcție de panta terenului.

Tag	Gradina	Tag	Arin	Tag	DrumPiatra
Rain Gage	PP1/2-65min	Rain Gage	PP1/2-65min	Rain Gage	PP1/2-65min
Outlet	Sebes1_368	Outlet	Sebes1_1905	Outlet	JZ99
Area (ha)	0.167	Area (ha)	0.514	Area (ha)	0.054
Width (m)	81.5	Width (m)	72	Width (m)	59
Flow Length (m)	20.491	Flow Length (m)	71.389	Flow Length (m)	9.153
Slope (%)	0.35	Slope (%)	0.6	Slope (%)	0.8
Imperv (%)	0	Imperv (%)	3	Imperv (%)	10
N Imperv	0.01	N Imperv	0.01	N Imperv	0.01
N Perv	0.06	N Perv	0.4	N Perv	0.03
Dstore Imperv (mm)	1.5	Dstore Imperv (mm)	1.5	Dstore Imperv (mm)	1.5
Dstore Perv (mm)	3	Dstore Perv (mm)	7	Dstore Perv (mm)	2
Zero Imperv (%)	0	Zero Imperv (%)	0	Zero Imperv (%)	0
Subarea Routing	OUTLET	Subarea Routing	OUTLET	Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed (%)	100	Percent Routed (%)	100	Percent Routed (%)	100
Curb Length	0	Curb Length	0	Curb Length	0
Snow Pack		Snow Pack		Snow Pack	
LID Controls	0	LID Controls	0	LID Controls	0
Groundwater	NO	Groundwater	NO	Groundwater	NO
<b>Infiltration : Curve_number</b>		<b>Infiltration : Curve_number</b>		<b>Infiltration : Curve_number</b>	
Drying Time (days)	4	Drying Time (days)	4	Drying Time (days)	4
Conductivity (mm/hr)	0.5	Conductivity (mm/hr)	0.5	Conductivity (mm/hr)	0.5
Curve Number	85	Curve Number	55	Curve Number	85
<b>Results</b>		<b>Results</b>		<b>Results</b>	
Precipitation (mm)	18	Precipitation (mm)	18	Precipitation (mm)	18
Runon (mm)	0	Runon (mm)	0	Runon (mm)	0
Evaporation (mm)	0	Evaporation (mm)	0	Evaporation (mm)	0
Infiltration (mm)	15.34	Infiltration (mm)	16.34	Infiltration (mm)	12.46
Runoff Depth (mm)	1.47	Runoff Depth (mm)	0.51	Runoff Depth (mm)	4.58
Runoff Volume (ML)	0	Runoff Volume (ML)	0	Runoff Volume (ML)	0
Peak Runoff (m <sup>3</sup> /s)	0	Peak Runoff (m <sup>3</sup> /s)	0	Peak Runoff (m <sup>3</sup> /s)	0
Runoff Coefficient	0.082	Runoff Coefficient	0.028	Runoff Coefficient	0.254

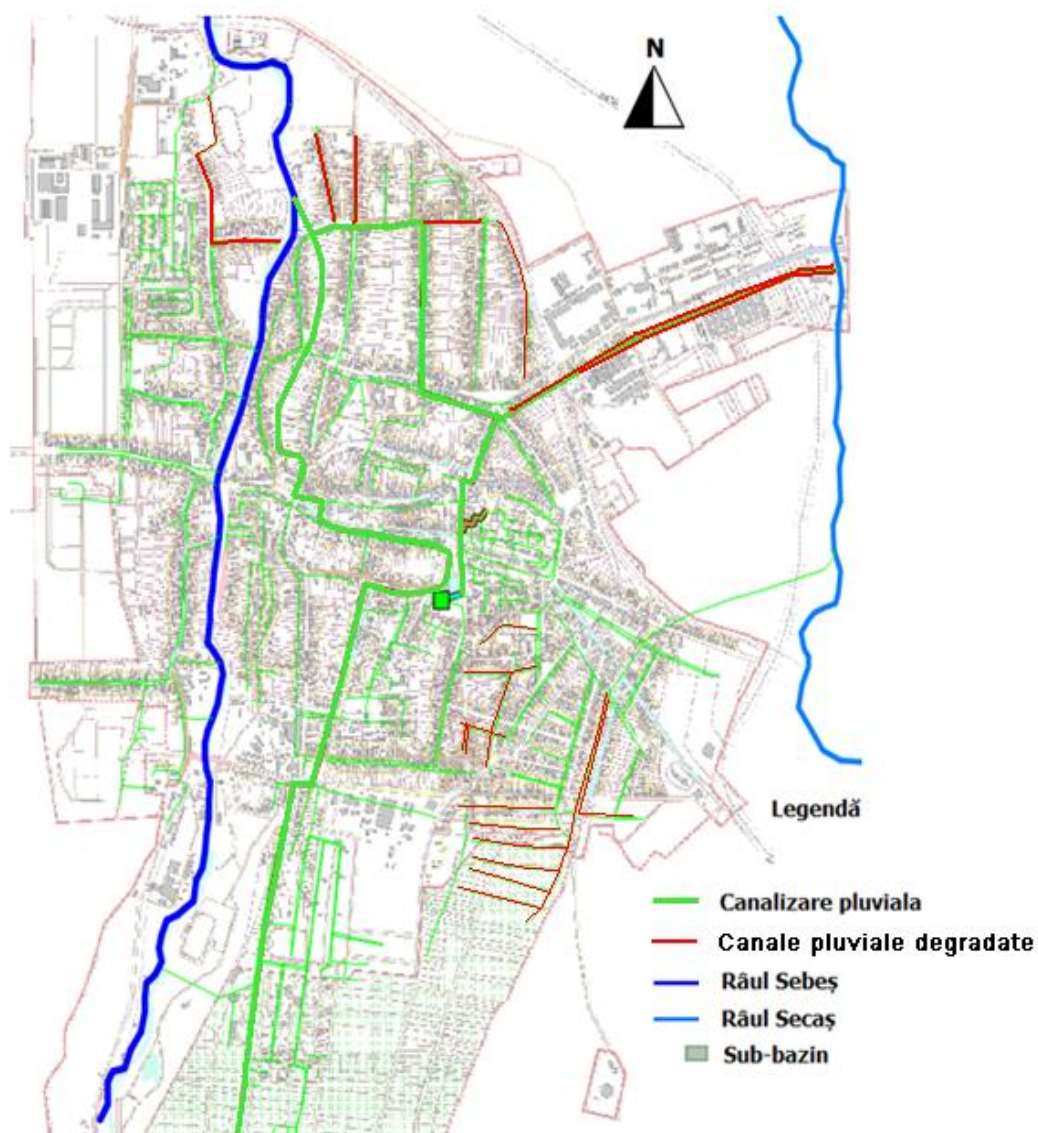
**Figura 5.21.** Coeficientul de scurgere obținut pentru grădini, Arin și drumuri de piatră.

### **5.3.5. Identificarea problemelor existente**

În prima instanță s-a realizat o verificare a rețelei existente, identificându-se zonele cu probleme și străzile fără rețea de canalizare pluvială. Pentru acestea precipitația de calcul folosită este precipitația cu frecvența 1 la 2 ani și o durată de 65 minute (timpul de concentrare a bazinului).

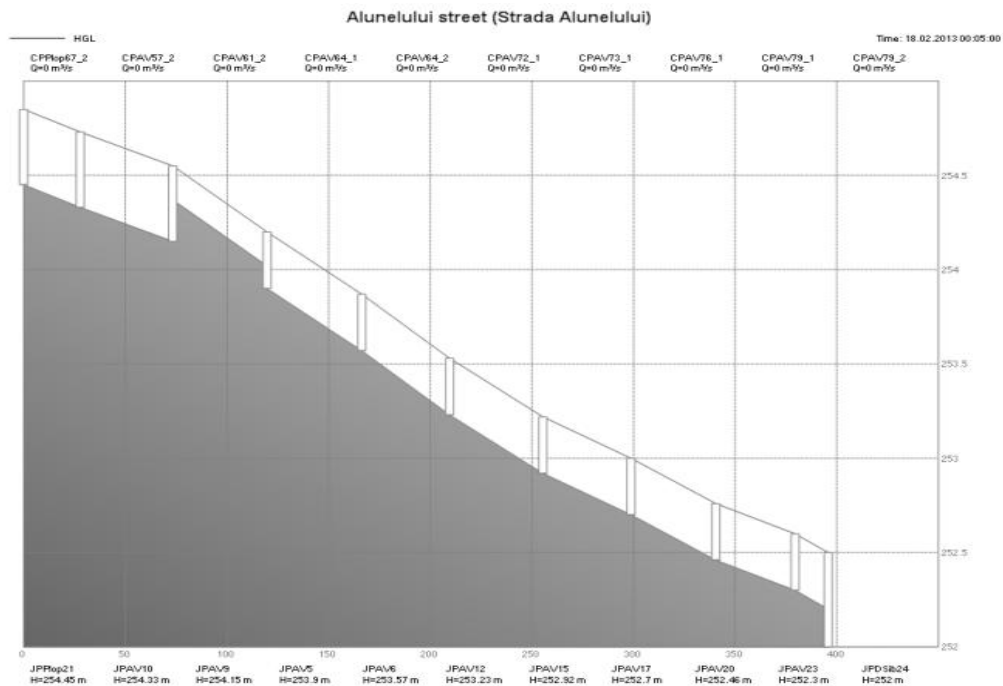
Punctul de ieșire din sistem este considerat confluența celor două râuri, Sebeșului cu Secașul. Pentru a vedea clar schimbările în debitul de ieșire din sistem nu s-a atribuit un debit de intrare pe cele două râuri. Râurile sunt reprezentate cu albastru.

Printr-o analiza vizuală la fața locului și după interpretarea rezultatelor obținute s-au identificat străzile unde sistemul de canalizare pluvială existent este degradat parțial sau colmatat cu vegetație: Strada Motelului, Nicolae Iorga, Radu Stanca, Tudor Vladimirescu, Câmpului, Aurel Vlaicu, Doinei, Alunelului, Călărași, Nicolae Bălcescu, Progresul, Abatorului, Cânepiști, Florilor, Crișan, Stefan ce Mare, Spicului (Figura 5.22).



**Figura 5.22.** Reprezentarea străzilor cu canale degradate

În Figura 5.23. se poate observa modul de construire a canalelor astupate parțial în SWMM5.



**Figura 5.23.** Exemplu de reprezentare a unui canal astupat parțial (strada Alunelului)

Pe străzile cu canale astupate parțial, sau aflate într-o stare avansată de degradare, apa pluvială curge pe drum intrând fie în sistemul de canalizare menajer, fie în aval în sistemul de canalizare pluvial.

Pe străzile unde nu există sistem de canalizare pluvială apa intră în sistemul de canalizare menajer, sau în unele zone aceasta își face propriul traseu și se varsă direct în râul Sebeș.

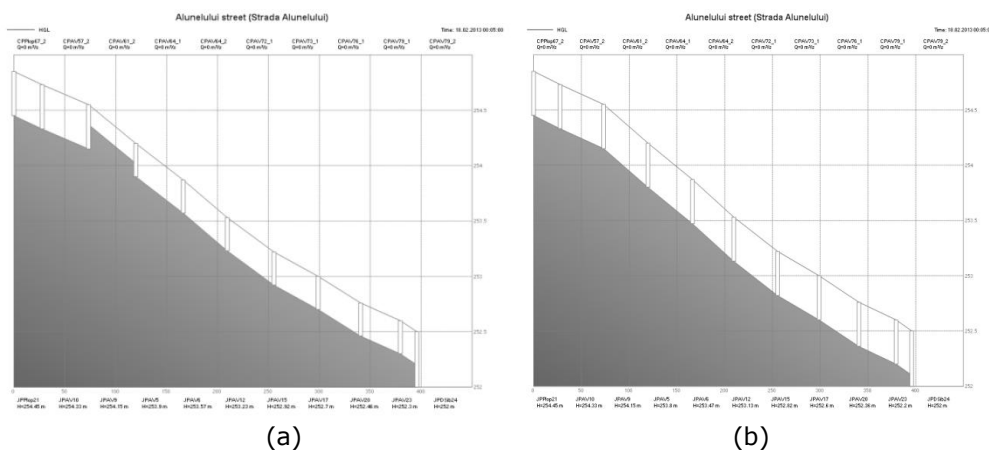
### 5.3.6. Soluții propuse

Se propune reabilitarea rețelei de canalizare pluvială existentă pe străzile cu probleme și realizarea de canale pluviale pe străzile unde nu există sistem pluvial. Pe străzile secundare (unde în canalul pluvial nu avem intrări și de pe alte străzi) se propun canale modulare din PVC cu o lățime și adâncime variabilă în funcție de capacitatea de transport necesară, cu grilaj galvanizat pietonal sau trafic auto.

În cazul reabilitării canalelor în SWMM5 se modifică adâncimea conductei atât la capătul superior cât și la capătul inferior (Figura 5.24).



### 5.3–Determinarea răspunsului suprafeței orașului la precipitațiile atmosferice 97



**Figura 5.24.** Reprezentare reabilitare canal (a) inițial (b) canal reabilitat

După construirea soluțiilor propuse s-a realizat analiza de sensibilitate a sistemului.

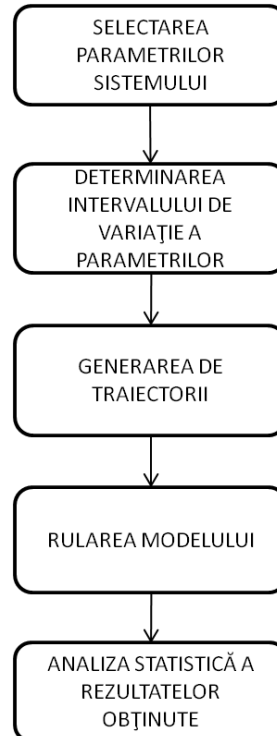
#### 5.3.7. Analiza de sensibilitate

În cadrul analizei de sensibilitate s-a urmărit determinarea influenței pe care o au diferiți parametri asupra ieșirilor din sistem și identificarea parametrilor critici, cei a căror influență au impactul cel mai mare.

Analiza de sensibilitate s-a realizat cu metoda lui Morris.

Pentru realizarea analizei de sensibilitate se determină intervalul de variație a valorilor fiecărui parametru și se presupune o distribuție uniformă a valorilor din interval (Figura 5.25).

**Figura 5.25.** Diagrama de lucru la realizarea analizei de sensibilitate



Parametrii aleși sunt: indicele Curve Number, % suprafață impermeabilă, coeficientul de rugozitate ( $n$ ) pentru suprafețe impermeabile, permeabile și conducte, apa reținută de suprafețele permeabile și impermeabile (Dstore) (Tabel 2).

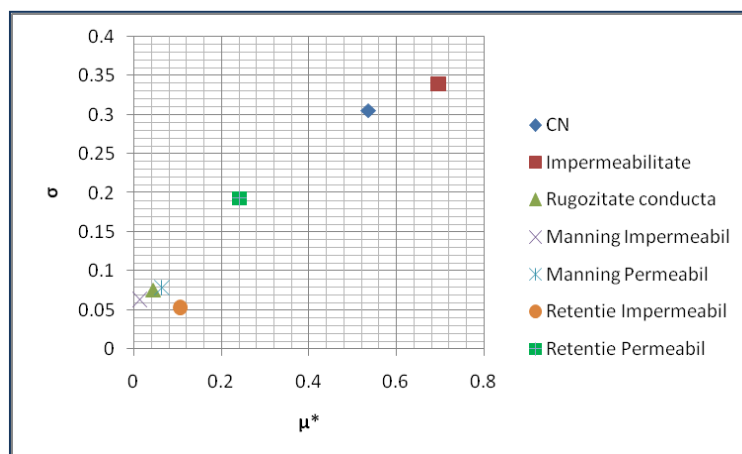
**Tabel 5.3.** Parametrii analizei de sensibilitate și intervalul de variație a acestora

Nr. Crt.	Nume parametru	Tip distribuție	Limita minima	Limita maxima
1	Indice CN	Uniforma	25	98
2	% suprafața impermeabila	Uniforma	0	100
3	N impermeabil	Uniforma	0,01	0,024
4	N permeabil	Uniforma	0,05	0,45
5	N conducta	Uniforma	0,01	0,026
6	Dstore impermeabil	Uniforma	0,15	2,79
7	Dstore permeabil	Uniforma	0,254	6,35

În studiul de față ecranul lui Morris s-a realizat cu 50 de traiectorii, 8 nivele și un pas de 4. După obținerea valorilor datelor de ieșire pentru fiecare combinație, s-a calculat sensibilitatea elementară, rezultând date de ieșire ce conțin  $\mu$  și  $\sigma$  pentru fiecare parametru, lucru care permite reprezentarea grafică și interpretarea rezultatelor ale analizei de sensibilitate.

Obiectivele evaluate în analiza de sensibilitate sunt Volumul de apă care iese din sistem (mc) și vârful hidrografului (mc/s).

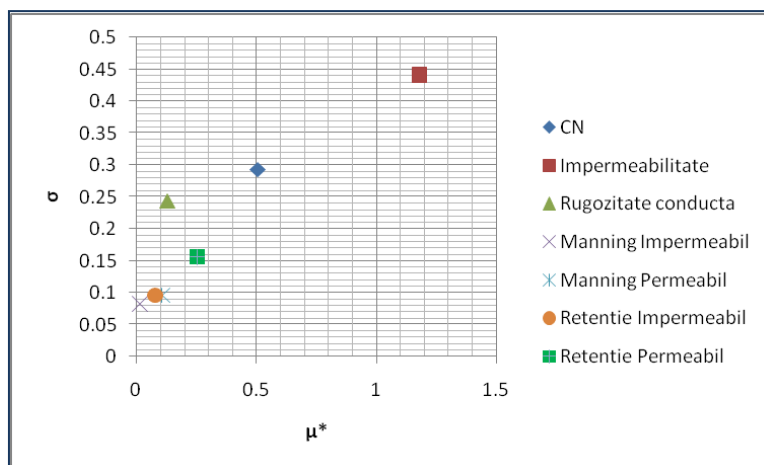
Din analiza de sensibilitate pentru debitul total ieșit din sistem rezultă că mărimea suprafeței impermeabile are cea mai mare influență asupra rezultatelor, urmată fiind de indicele Curve Number. Valoarea ridicată a  $\sigma$  pentru suprafața impermeabilă și pentru indicele CN indică fie o neliniaritate ridicată, fie efecte de interacțiune pentru acest parametru (Figura 5.25).



**Figura 5.25.** Rezultatele analizei de sensibilitate globala pentru ieșirile din sistem

În cazul vârful hidrografului de ieșire din sistem suprafața impermeabilă are cea mai mare influență asupra rezultatelor urmat de indicele Curve Number. (Figura

5.26). Se observă că rugozitatea conductei afectează într-o măsură mai mare vârful hidrografului decât capacitatea suprafeței permeabile de retenție a apei, cum este în cazul volumului total scurs.



**Figura 5.26.** Rezultatele analizei de senzitivitate globala pentru vârful hidrografului de ieșire din sistem

## 5.4. Rezultate

S-au realizat simulări pentru precipitații cu frecvențele de 1 la 2, 1 la 5 și 1 la 10 și durată de 24 de ore, pentru a vedea comportamentul sistemului în situația existentă. Rezultatele simulării se găsesc în Tabelul 5.4.

**Tabel 5.4.** Bilanțul apei și coeficientul de scurgere la diferite frecvențe ale ploii de calcul în situația existentă

		<b>Frecvența 1 la 2</b>	<b>Frecvența 1 la 5</b>	<b>Frecvența 1 la 10</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	188.253,94	235.519,66	266.837,28
<b>Infiltrații</b>	mc	69.090,00	80.213,05	86.800,12
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	102.181,04	138.328,17	163.197,07
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	10.140,75	10.262,09	10.244,75
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	7.940,00	8.028,00	8.063,00
<b>Total apa stocată</b>	mc	18.080,75	18.290,09	18.307,75
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,54	0,59	0,61
<b>Eroare</b>	%	-0,58	-0,56	-0,55

Deoarece scopul acestui studiu este determinarea reducerii scurgerilor de pe suprafața urbană prin aplicarea măsurilor LID, s-a presupus că toată apa din zona de studiu ajunge în sistemul de canalizare pluvial propus. De asemenea s-au calculat scurgerile de suprafață și ieșirile din sistem în ipoteza în care suprafața studiată ar fi o suprafață naturală, în cazul de față suprafața se presupune că ar fi pășune. Modul de realizare în SWMM5 a modelului a fost prin atribuirea fiecărei sub-arii caracteristicile cadrului natural ales (0% impermeabil, coeficient de rugozitate de 0.13, interceptie 5 mm) și transformarea canalelor în canale naturale cu coeficient de rugozitate de 0.03. Aria, lățimea și panta fiecărei sub-arii au rămas neschimbate.

Pentru calculul infiltrației s-a ales indicele Curve Number de 61. Rezultatele obținute se găsesc în Tabelul 5.5.

**Tabel 5.5.** Bilanțul apei și coeficientul de scurgere la diferite frecvențe ale ploii de calcul în ipoteza în care suprafața ar fi o suprafață naturală

		Frecvența 1 la 2	Frecvența 1 la 5	Frecvența 1 la 10
Intrări în sistem	mc	188.253,94	235.519,66	266.737,25
Infiltrații	mc	170.081,48	203.843,54	224.370,04
Ieșiri din sistem	mc	683,42	15.326,40	26.931,04
Stocarea apei la suprafața solului	mc	17.489,04	16.349,73	15.441,94
Total apa stocată	mc	17.489,04	16.349,73	15.441,94
Coeficientul de scurgere		0	0,07	0,1
Eroare		%	0	0

În ipoteza în care suprafața studiată ar fi suprafață naturală se observa o reducere semnificativă a scurgerii de suprafață pentru toate cele trei frecvențe ale precipitației. Astfel, în cazul precipitației cu frecvența 1 la 2 ani nu avem scurgeri de suprafață, toata apa căzută pe suprafață fiind, o parte, reținută de stratul vegetal, diferența infiltrându-se în sol. În cazul frecvențelor de 1/5 și 1/10 valoarea coeficientului de scurgere a scăzut de la 0.59 la 0.07, respectiv de la 0.61 la 0.10.

În cazul simulării situației existente există erori de 0.5 de calcul în bilanțul apei, pe când în cazul simulării situației naturale programul nu prezintă erori de calcul a valorilor obținute.

Valorile debitului de ieșire și coeficienții de scurgere calculați sunt folosiți în continuare pentru determinarea eficienței diferitelor scenarii în care se aplica unitățile LID.

## **5.5. Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului**

Pentru a vedea reacția sistemului la diferite seturi de măsuri structurale care se pot aplica pentru reducerea scurgerii de suprafață prin retenție și/sau infiltrarea apei în sol, s-au realizat mai multe scenarii. Toate unitățile LID au fost dimensionate să trateze o ploaie cu frecvența de 1 la 10 ani și o durată de 24 ore [142].

De reținut este faptul că măsurile LID alese diferă de la o zonă la alta în funcție de modul de utilizare a terenului și densitatea construcțiilor. Pentru zonele de case s-au propus grădini de ploaie, cămine de infiltrare și bazine de retenție a apei de 1 mc, iar pentru zonele de blocuri și industriale s-au propus sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol. S-a propus înlocuirea zonelor verzi de pe marginea drumului cu plantații stradale. Deoarece în Legislația Românească nu există prevederi legate de amplasarea unităților de infiltrare, se accepta prevederile din literatura internațională.

### **5.5.1. Metodologia de implementare a unităților de retenție /infiltrare a apei în SWMM 5.0**

În cazul unităților de infiltrare, rata de infiltrare depinde de rata de infiltrare a solului natural de sub unitate.

Implementarea unităților LID în SWMM5 se poate face prin doua metode:

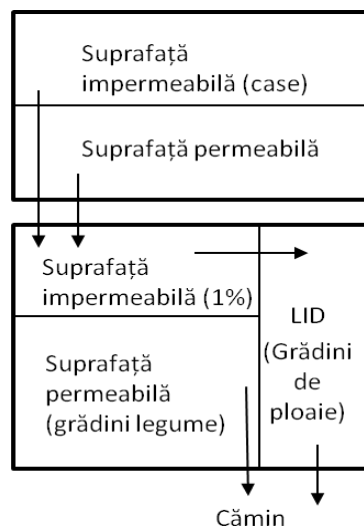
1. Unitatea LID ocupă un anumit procent din suprafața sub-ariei;
2. Se construiește o nouă sub-arie ocupată în totalitate de unitatea LID.

**Grădinile de ploaie** s-au propus să se amplaseze în interiorul grădinilor din spatele casei. Distanța dintre unitate și fundația celei mai apropiate clădiri s-a ales să nu fie mai mică de 5m.

Implementarea grădinilor de ploaie în SWMM5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.27.

**Figura 5.27.** Schematizarea unei Grădini de ploaie în SWMM5

Prima sub-arie reprezintă casa și curtea aferentă de pe suprafața căreia apa din precipitații se redirecționează către grădina de ploaie. Sub-aria a doua reprezintă grădina din spatele casei. Pentru a fi siguri că programul ia în calcul ca debit de intrare în unitatea LID doar debitul scurs de pe sub-aria 1 și de pe suprafața unității LID, sub-ariei 2 i s-a atribuit 1% suprafață impermeabilă iar la opțiunea Routing s-a selectat Outfall.



În cazul de față grădinile de ploaie dimensionate prezintă: un strat de sol de 80 cm adâncime, un strat de stocare de 12 cm adâncime format din agregate cu o porozitate de 0.5, și apa bălțind la suprafața solului 15 cm adâncime. Pentru simplificare, caracteristicile solului ales sunt caracteristicile tipice ale unui sol luto-nisipos.

Caracteristicile grădinilor de ploaie se găsesc în Tabelul 5.6.

**Tabel 5.6.** Caracteristicile grădinilor de ploaie

Suprafața	Straturi (Layer)		Stocare		
	Sol				
<b>Adâncime stocare (mm)</b>	150	Grosime	800	Înălțime(mm)	120
<b>Volum Vegetație</b>	0,7	Porozitate	0,437	Volum goluri	0,5
<b>Rugozitate</b>	0,17	Capacitate de câmp	0,105	Conductivitate (mm/ora)	29,9
<b>Panta (%)</b>	0,3		0,047		
		Conductivitate (mm/ora)	29,9		
		Panta conductivitate (mm)	7		
			61,3		

Pentru a determina capacitatea de infiltrare a unei grădini de ploaie s-au realizat mai multe simulări pe câteva sub-arii. După analiza rezultatelor s-a concluzionat că grădina de ploaie trebuie dimensionată la 8% din suprafața impermeabilă de pe care urmează să preia apa scursă, pentru asigurarea capacității de retenție/infiltrare a debitului de intrare.

## 5.5. – Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului 103

În continuare, suprafața fiecărei grădini de ploaie s-a calculat separat în funcție de suprafața impermeabilă de pe care preia apa.

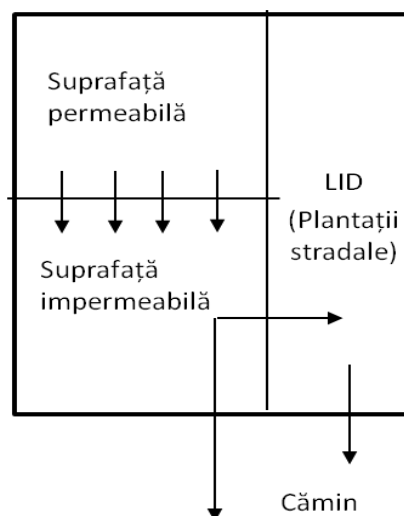
Pe marginea străzilor s-a propus amplasarea de **plantații stradale** care să preia apa scursă de pe drumuri și trotuare în scopul retenției/infiltrării în sol.

Fiecărei sub-arii, care reprezintă drumul cu trotuar, i s-a atribuit o plantație stradală cu suprafața egală cu suprafața zonei verzi existente. Distanța între unitate și fundația celei mai apropiate clădiri s-a ales să nu fie mai mică de 3 m.

Implementarea plantațiilor stradale în SWMM5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.28.

**Figura 5.28.** Schematizarea unei Plantații stradale în SWMM5

Pentru ca programul să ia în calcul tot debitul scurs din sub-aria în care a fost amplasat, atât de pe suprafața impermeabilă cât și de pe suprafața permeabilă, la opțiunea Routing s-a selectat Impervious.



O unitate are un strat de sol de jumătate de metru adâncime, un strat de balast de jumătate de metru cu un volum al golurilor de 0.75 și apa poate bălți 30 cm la suprafața terenului.

Caracteristicile din SWMM5 a plantațiilor stradale se găsesc în Tabelul 5.7.

**Tabel 5.7.** Caracteristicile plantațiilor stradale

Suprafața	Straturi (Layer)				
	Sol		Stocare		
<b>Adâncime stocare (mm)</b>	300	Grosime	500	Înălțime(mm)	500
<b>Volum Vegetație</b>	0,6	Porozitate	0,437	Volum goluri	0,75
<b>Rugozitate</b>	0,17	Capacitate de câmp	0,105	Conductivitate (mm/ora)	29,9
<b>Panta (%)</b>	0,3	Conductivitate (mm/ora)	29,9		
		Panta conductivitate (mm)	7		
			61,3		

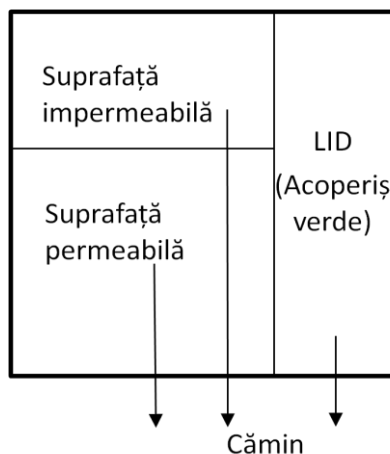
Atât grădinilor de ploaie cât și plantațiilor stradale, stratului de agregate i s-a atribuit o conductivitate de 29.9, valoare egală cu valoarea aleasă a solului de sub unitate.

În Sebeș exista clădiri cu patru etaje care au acoperișuri tip terasă, dar și construcții industriale sau comerciale. Aici s-a propus realizarea **de acoperișuri verzi extensive**.

În SWMM 5 acoperișurile verzi sunt reprezentate ca unități de bioretenție cu fund impermeabil.

Implementarea acoperișurilor verzi în SWMM 5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.29.

**Figura 5.29.** Schematizarea unui acoperiș verde în SWMM5.



Pentru ca programul să ia în calcul doar ploaia căzută pe suprafața acoperișului, la opțiunea Routing s-a selectat Outfall și suprafața impermeabilă tratată egală cu 0.

Grosimea stratului de sol s-a ales a fi 7.5 cm iar înălțimea stratului de drenaj și stocare s-a ales 1.2 cm. S-a presupus că acoperișul este acoperit 90% de vegetație, interceptia plantelor este de 3 mm și are o pantă de 2.6%.

Caracteristicile acoperișurilor verzi se găsesc în Tabelul 5.8.

**Tabel 5.8.** Caracteristicile acoperișurilor verzi

Straturi (Layer)					
Suprafața	Sol			Stocare	
<b>Adâncime stocare (mm)</b>	3	Grosime (mm)	75	Înălțime(mm)	12
<b>Volum Vegetație</b>	0,9	Porozitate	0,437	Volum goluri	0,75
<b>Rugozitate</b>	0,24	Capacitate de câmp	0,105	Conductivitate (mm/ora)	0
<b>Panta (%)</b>	2,6	Conductivitate (mm/ora)	0,047		
		Panta conductivitate (mm)	26		
			7		
			110		

Sursă:

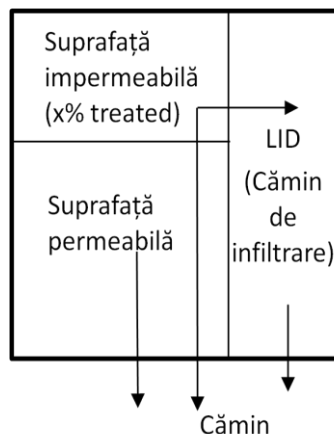
În situația în care spațiul nu permite amplasarea grădinilor de ploaie, s-a propus amplasarea unor **căminele de infiltrare**. Căminele de infiltrare sunt construcții din beton cu fund și/sau pereți impermeabili destinate să infiltreze apa provenită din precipitații.

Implementarea căminelor de infiltrare în SWMM 5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.30.



**Figura 5.30.** Schematizarea unui cămin de infiltrare în SWMM5.

Doar procentul din suprafața impermeabilă ocupat de acoperiș este redirectionat către Căminul de infiltrare.



S-a ales tipul de cămin la care infiltrarea apei se face prin fundul căminului, înainte de infiltrare apa fiind filtrată printr-un "sac de nisip" cu o grosime a stratului de 50 cm. Stratului de stocare i s-a atribuit conductivitatea hidraulică a terenului de sub căminul de infiltrare (29.9).

Caracteristicile căminelor de infiltrare se găsesc în Tabelul 5.9.

**Tabel 5.9.** Caracteristicile căminelor de infiltrare

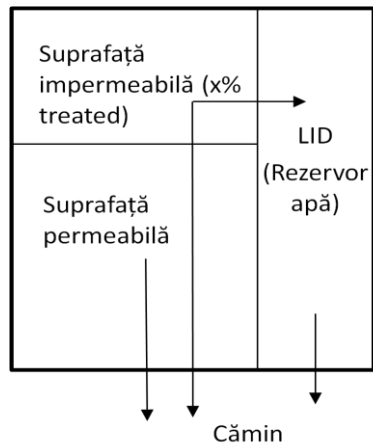
Straturi (Layer)			
Suprafața	Stocare		
<b>Adâncime stocare (mm)</b>	500	Înălțime(mm)	500
<b>Volum Vegetație</b>	0	Volum goluri	0,475
<b>Rugozitate</b>	0,011	Conductivitate (mm/ora)	29,9
<b>Panta (%)</b>	0,35		

Cele mai importante caracteristici în cazul căminelor de infiltrare sunt adâncimea apei, grosimea stratului de stocare și conductivitatea stratului de stocare.

Unde suprafața nu permite amplasarea unităților de infiltrare s-a propus folosirea **rezervoarelor de apă**. Rezervoarele de apă sunt destinate să colecteze apa de ploaie pentru uz personal. Pot fi realizate din PVC, polietilena, fibră de sticlă, beton, lemn etc. Apa colectată poate fi folosită la udatul spațiilor verzi sau spălatul curților.

S-a propus câte două rezervoare de apă fiecărei case, fiecare rezervor având o capacitate de 1 m<sup>3</sup>.

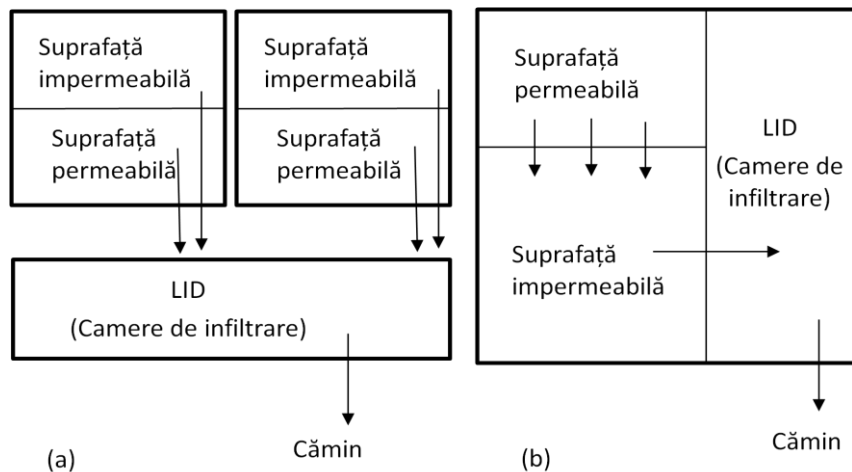
Implementarea rezervoarelor de apă în SWMM5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.31.



**Figura 5.31.** Schematizarea unui rezervor de apă în SWMM5.

În zonele cu o densitate mare a clădirilor și în zonele industriale soluția propusă este construirea de **sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol**, sub străzi și/sau trotuare, sub parcări și sub platforme de depozitare. Sistemele pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol sunt un tip de soakaways. Acestea includ o serie de structuri modulare fabricate instalate subteran, de obicei în parcare sau în zone amenajate, care creează spații goale mari pentru depozitarea temporară a apei pluviale, permițându-i să se infiltreze în solul nativ de la bază. Au de obicei fundul deschis, pereți laterali perforați și, opțional, au la bază rezervoare din piatră granulată. Ele pot fi instalate în mod individual sau în serie în șanț sau configurație de pat.

Implementarea tunelurilor de infiltrație în SWMM5 s-a realizat conform schematizării din Figura 5.32 (a) sau (b).



**Figura 5.32.** Schematizarea sistemelor cu tunelele de infiltrație în SWMM5

În Figura 5.32 (a) s-a realizat o nouă sub-arie – LID (camere de infiltrație) – 100% impermeabilă căreia i s-a atribuit o precipitație de 0 mm. Această nouă sub-arie preia scurgerile de pe mai multe sub-arii ale modelului.

## 5.5. – Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului 107

În situația (b) sistemul preia doar apele pluviale scurse de pe sub-aria în care este amplasat.

Caracteristicile tunelurilor de infiltrare se găsesc în Tabelul 5.10.

**Tabel 5.10.** Caracteristicile tunelurilor de infiltrare

<b>Straturi (Layer)</b>			
<b>Suprafața</b>	<b>Stocare</b>		
<b>Adâncime stocare (mm)</b>	770	<b>Înălțime(mm)</b>	152
<b>Volum Vegetație</b>	0	<b>Volum goluri</b>	0,4
<b>Rugozitate</b>	0,1	<b>Conductivitate (mm/ora)</b>	29,9
<b>Pantă (%)</b>	1		

### 5.5.2. Scenarii de reducere a scurgerilor de suprafață pe Sebeș Alba și rezultatele obținute

#### Scenariul 1

În prima instanță s-a propus folosirea măsurilor structurale de infiltrare a apei care nu implică intervenții majore asupra infrastructurii rutiere, cum ar fi grădini de ploaie, cămine de infiltrare și plantații stradale, precum și metode de stocare, în cazul de față rezervoare de apă de capacitate 1 mc.

Grădinile de ploaie s-au aplicat în locurile în care spațiul curții sau grădinii de legume permite; unde nu este posibilă amplasarea unei grădini de ploaie s-a ales amplasarea căminelor de infiltrare sau bazinelor de stocare.

S-a propus amplasarea de plantații stradale pe străzile: Drumul Sibiului, Dorin Pavel, Avram Iancu, Dorobanți, Șureanu, Teilor, Horea, Alunelului, Alunului, Plopilor, Tudor Vladimirescu, Răchitei, Aurel Vlaicu, Lucian Blaga, Progresul, Cântarului.

Mărimea și forma Plantațiilor Stradale variază de la o strada la alta în funcție de morfologia străzii și spațiul disponibil.

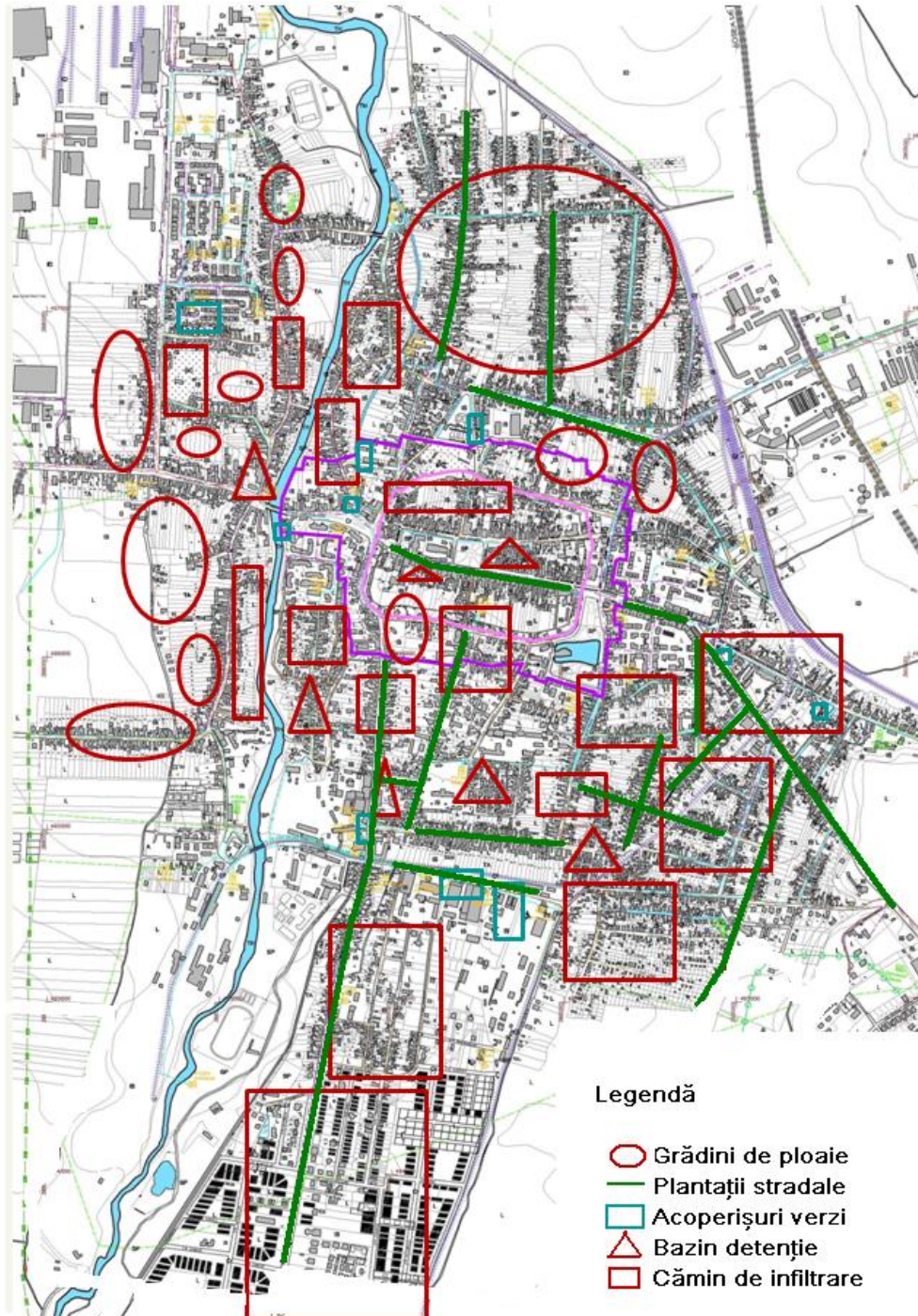
În acest scenariu în zonele de blocuri și zonele industriale nu s-a aplicat nici un fel de măsură pentru infiltrarea sau retenția apei provenită din precipitații.

În tabelul de mai jos se găsește o sinteză a unităților LID aplicate în Scenariu 1.

**Tabel 5.11.** Unitățile LID aplicate

<b>LID</b>				
<b>Rezervoare apa buc</b>	<b>Acoperișuri verzi mp</b>	<b>Cămine de infiltrare buc</b>	<b>Grădini de ploaie mp</b>	<b>Plantații stradale mp</b>
<b>3,016.00</b>	11.104,00	1.257,00	93.697,41	21.217,9

În figura de mai jos se pot observa unitățile LID utilizate și modul de repartizare în interiorul zonei.



**Figura 5.33.** Distribuția unităților LID în interiorul zonei studiate Scenariu 1

## 5.5. – Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului 109

Eficiența unităților LID s-a verificat pentru precipitațiile cu frecvențele de 1 la 2 ani, 1 la 5 ani, respectiv 1 la 10 ani, având o durată de 24 de ore. Bilanțul apei și coeficienții de scurgere rezultați se găsesc în Tabelul 5.11.

**Tabel 5.11.** Bilanțul apei și coeficientul de scurgere la diferite frecvențe ale ploii de calcul

		<b>Frecvența 1 la 2 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 5 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 10 ani</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	188.253,51	235.519,12	267.521,53
<b>Infiltrații</b>	mc	101.927,31	120.226,85	131.304,52
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	63.886,98	90.407,03	110.697,02
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	18.357,32	19.120,04	19.551,43
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	5.590,00	7.620,00	8.083,00
<b>Total apa stocată</b>	mc	23.947,32	26.740,04	27.634,43
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,34	0,38	0,41
<b>Eroare</b>	%	-0,8	-0,79	-0,79

Coeficientul de scurgere crește cu creșterea precipitației, astfel pentru precipitația cu frecvența 1 la 10 ani, coeficientul de scurgere este mai mare cu 0.07 față de coeficientul de scurgere rezultat pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 2 ani.

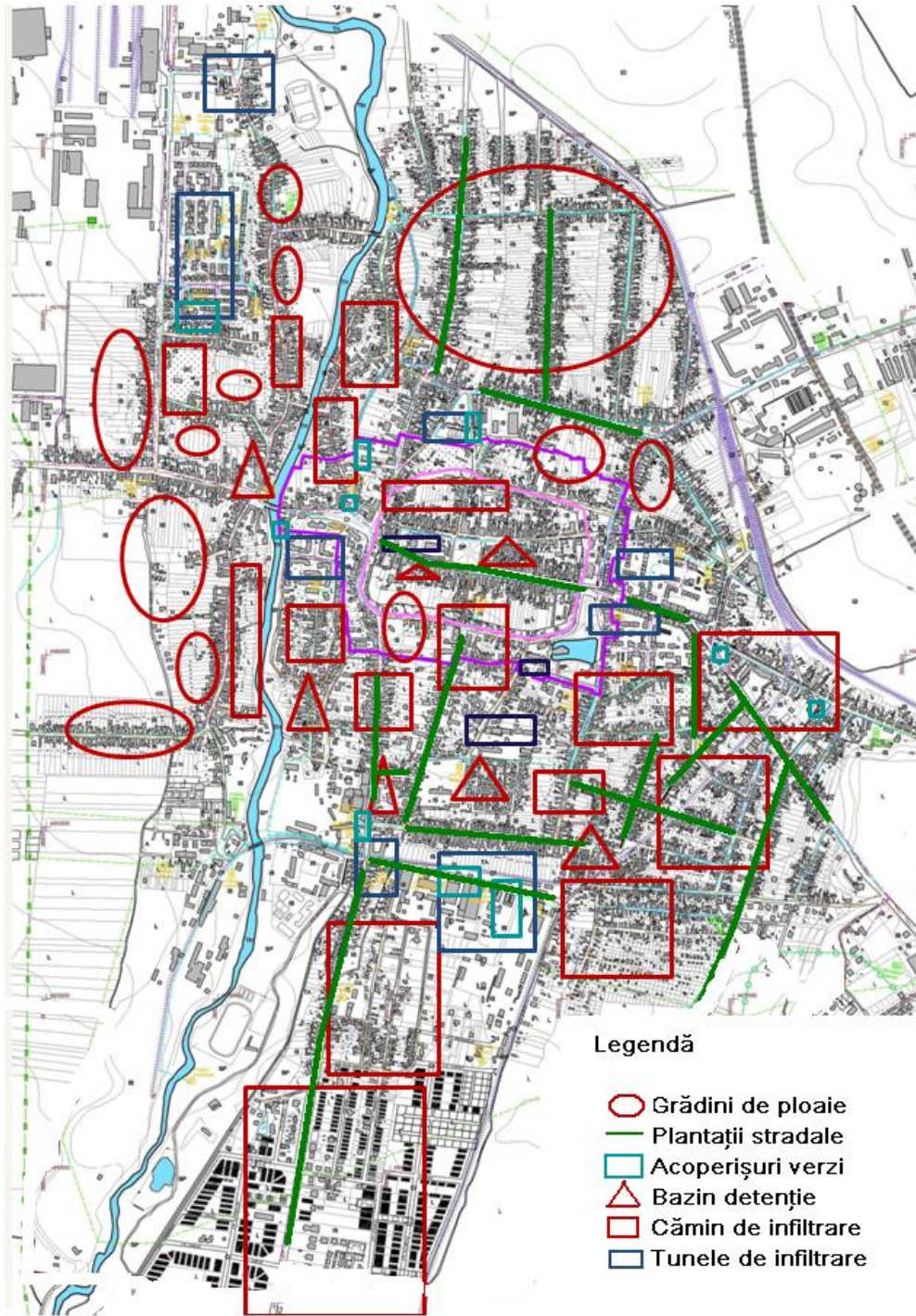
Aceste rezultate arată faptul că putem avea o reducere a coeficientului de scurgere de la 0.61 la 0.41 pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 10 ani, dacă în zona de case a orașului Sebeș și pe marginea drumului se aplică unități de stocare/infiltrare a apei meteorice.

### Scenariul 2

În Scenariul 2 se păstrează unitățile LID amplasate în Scenariu 1 și se adaugă sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol în zonele de blocuri și în cele industriale: Cartierele Mihail Kogălniceanu, Lucian Blaga, Aleea Lac, Aleea Parc, Valea Frumoasei, Zona industrială de pe strada Alunului, Ciserom, Capris, Colegiul Lucian Blaga, Piața Agroalimentară Dacia, curtea interioară clădire Primărie, Liceul Tehnologic Sebeș, Pennz Market, Școala Generală nr. 3, vulcanizarea strada Răchitei, autoservice DN1, Grup Școlar Industrial.

În figura de mai jos se pot observa unitățile LID utilizate și modul lor de repartizare în interiorul zonei.





**Figura 5.34.** Distribuția unităților LID în interiorul zonei studiate Scenariu2

**Tabel 5.12.** Unitățile LID aplicare

<b>LID</b>					
<b>Rezervoare apa buc</b>	Acoperișuri verzi mp	Cămine de infiltrare buc	Grădini de ploaie mp	Tunele de infiltrare mp	Plantații stradale mp
<b>3,016.00</b>	11.104,00	1.257,00	93.697,41	25.614,51	21.217,9

Eficiența unităților LID s-a verificat pentru precipitațiile cu perioada de revenire 1/2, 1/5, 1/10 și o durată de 24 de ore. Bilanțul apei și coeficienții de scurgere rezultați se găsesc în Tabelul 5.13.

**Tabel 5.13.** Bilanțul apei și coeficientul de scurgere la diferite frecvențe ale ploii de calcul

		<b>Frecvența 1 la 2 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 5 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 10 ani</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	188.180,35	235.428,19	266.733,68
<b>Infiltrații</b>	mc	119.457,79	140.306,86	151.765,46
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	47.750,16	69.992,90	86.480,21
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	18.589,79	21.561,61	24.075,78
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	3.883,00	5.409,00	6.510,00
<b>Total apă stocată</b>	mc	22.472,79	26.970,61	30.585,78
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,25	0,3	0,32
<b>Eroare</b>	%	-0,8	-0,78	-0,79

În cadrul Scenariului 2 coeficientul de scurgere pentru o precipitație cu frecvența de 1/10 este redus de la 0.61 la 0.32.

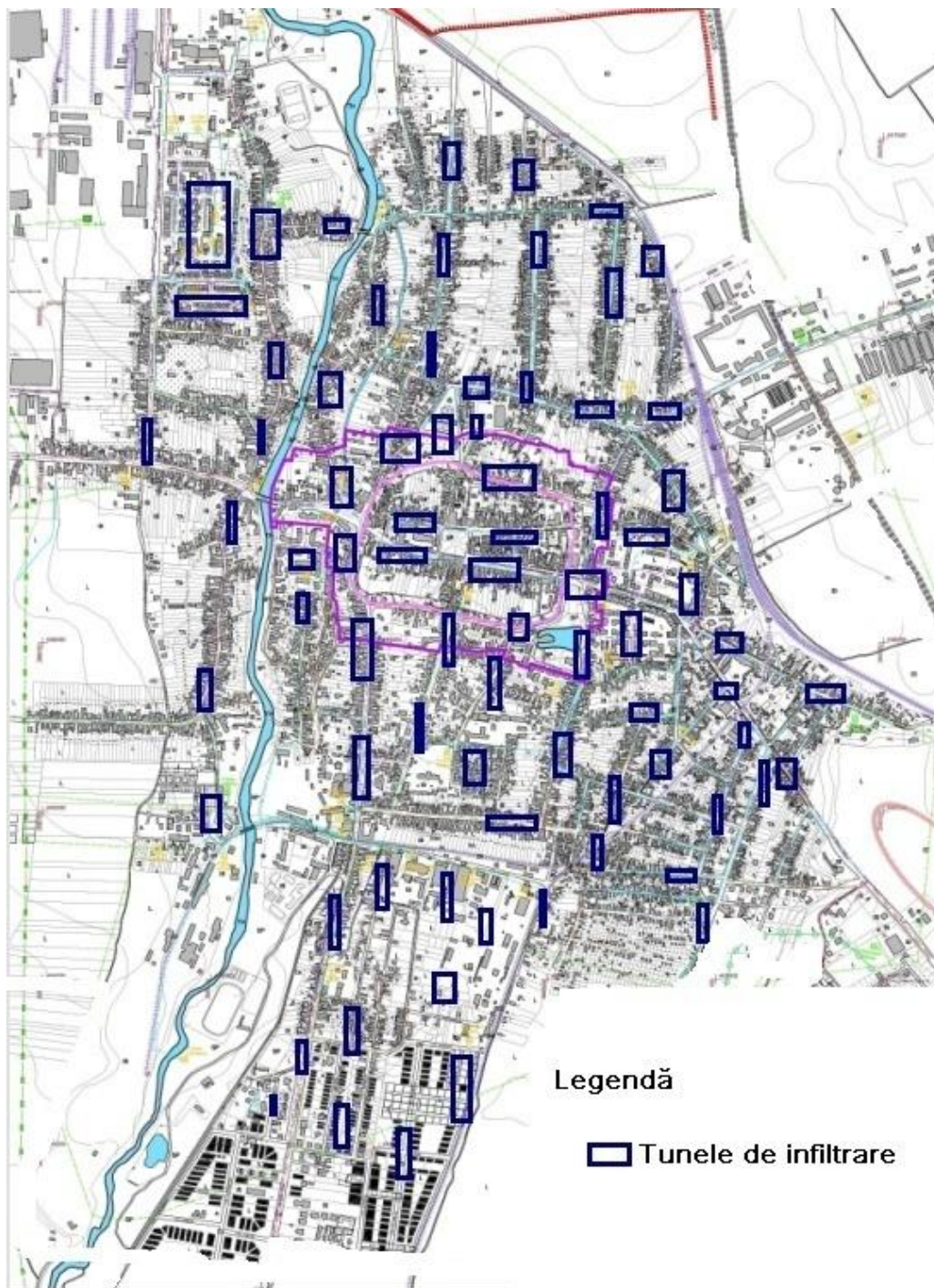
Pentru a atinge debitul de ieșire din sistem, calculat în ipoteza în care suprafața studiată este o suprafață naturală, este necesară amplasarea de rezervoare de stocare a apei.

### Scenariul 3

În cadrul Scenariului 3 se propune construirea de sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol distribuite în suprafața studiată în funcție de zonele impermeabile. În zonele de blocuri și industriale s-au păstrat tunelele de infiltrare propuse în cadrul Scenariului 2 iar în zonele centrale și de case se propune amplasarea tunelelor de infiltrare sub parcuri, parcuri, zone verzi, străzi.

Sunt necesari 95 000 m<sup>2</sup> de sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol pentru atingerea condițiilor hidrologice existente în condiții naturale (Figura 5.35).





**Figura 5.35.** Repartiția tunelelor de infiltrare în interiorul zonei studiate

Bilanțul apei și coeficienții de scurgere rezultați se găsesc în Tabelul 5.14.



**Tabel 5.14.** Bilanțul apei și coeficientul de scurgere la diferite frecvențe ale ploii de calcul

		<b>Frecvența 1 la 2 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 5 ani</b>	<b>Frecvența 1 la 10 ani</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	188.254,95	235.517,41	266.837,68
<b>Infiltrații</b>	mc	162.793,61	175.774,28	183.158,84
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	0	8.609,08	27.693,51
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	26.878,00	48.512,44	49.326,54
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	4	4.378,00	8.678,00
<b>Total apă stocată</b>	mc	26.882,00	52.890,44	58.004,54
<b>Apa stocată în sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol</b>	mc	16.737,25	38.250,35	39.081,79
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0	0,04	0,1
<b>Eroare</b>	%	-0,75	-0,75	-0,76

Diferența dintre apa stocată la suprafața solului în cadrul Scenariului 4 și apa stocată la suprafața solului în condițiile existente este apa stocată în tunelele de infiltrare, apă care urmează să se infiltreze treptat în sol.

### 5.5.3. Rezultate și discuții

S-au comparat rezultatele obținute pentru toate cele cinci scenarii: situația existentă, ipoteza în care suprafața ar fi o suprafață naturală (pășune) și cele trei scenarii cu unități LID.

Cele mai bune rezultate sunt obținute în situația în care se folosesc sisteme pentru dispersia apelor în sol distribuite în interiorul zonei urbane și dimensionate la suprafața impermeabilă de pe care se preia apa scursă din precipitații. 36,1% din apă este infiltrată în sol prin sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor iar 14,64% din precipitația căzută este stocată în sistemele de dispersie și infiltrare, urmând a fi infiltrată treptat în sol după finalizarea ploii.

Rezultatele simulărilor pentru precipitația cu frecvența 1 la 10 ani se găsesc în Tabel 5.15, putându-se vizualiza mai clar rezultatele în Figura 5.36.

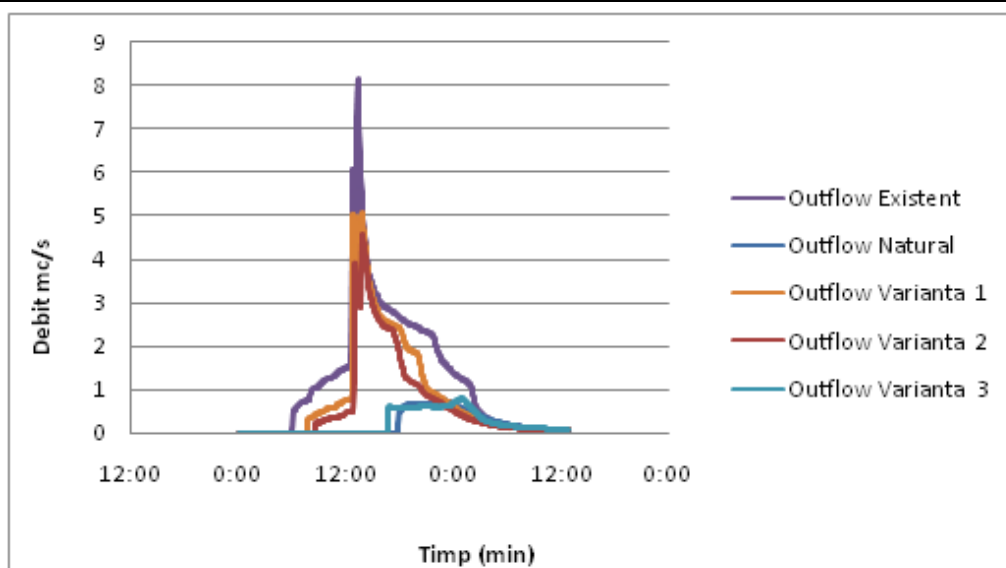
**Tabel 5.15.** Bilanțul apei pentru precipitația cu frecvența de 1 la 10 ani, durata 24 de ore

		<b>Existent</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>Varianta 3</b>	<b>Natural</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	266.837	267.522	266.734	266.838	266.838
<b>Infiltrații</b>	mc	86.800	131.305	151.765	183.159	224.454
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	163.197	110.697	86.480	27.694	26.941
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	10.245	19.551	24.076	49.327	14.914
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	8.063	8.083	6.510	8.678	534
<b>Total apă stocată</b>	mc	18.308	27.634	30.586	58.005	15.448
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,61	0,41	0,32	0,1	0,1
<b>Gradul de reducere</b>	%	-	67,83	52,99	16,97	-
<b>Eroare</b>	%	-0,55	-0,79	-0,79	-0,76	0

Pe unele străzi Plantațiile Stradale au capacitatea necesare de a infiltra toată apa pluvială căzută pe drum și trotuar în cazul unui eveniment de precipitație cu frecvența 1/10 și durata de 24 de ore: Răchitei, Drumul Sibiului, Alunului (între Stejarului și Cloșca), Viitorului și Avram Iancu.

O reducere semnificativă a coeficientului de scurgere s-a observat pe străzile: Alunelului (~0.2); Tudor Vladimirescu (~0.1); Aurel Vlaicu (~0.3); Lucian Blaga (~0.3); Progresul, după intersecția cu N. Bălcescu (~0.2); Cântarului (~0.3); Dorin Pavel (~0.2); Dorobanți (~0.3); Șureanu, între Teilor și Traian, (0.037); Șureanu, între Teilor și Horea, (0.4); Teilor (0.037).

În situația existentă și în cazul variantelor 1, 2 și 3, vârful hidrografului debitului obținut la ieșirea din sistem are o amplitudine mai mare și survine mai repede decât în cazul variantei 4 și în situația în care suprafața ar fi naturală (când debitul de ieșire este mai egal distribuit în timp iar timpul de concentrare este mai mare).



**Figura 5.36.** Hidrograful debitului de ieșire din sistem pentru precipitația cu frecvența 1 la 10 ani

Vârful hidrografului debitului de ieșire survine la aproximativ 14 ore de la începutul precipitației pentru patru variante: situația existentă și variantele 1,2 și 3; pentru varianta 4 la 17 de ore iar în cazul în care avem o suprafață naturală, vârful hidrografului survine la aproximativ 18 ore de la începutul precipitației.

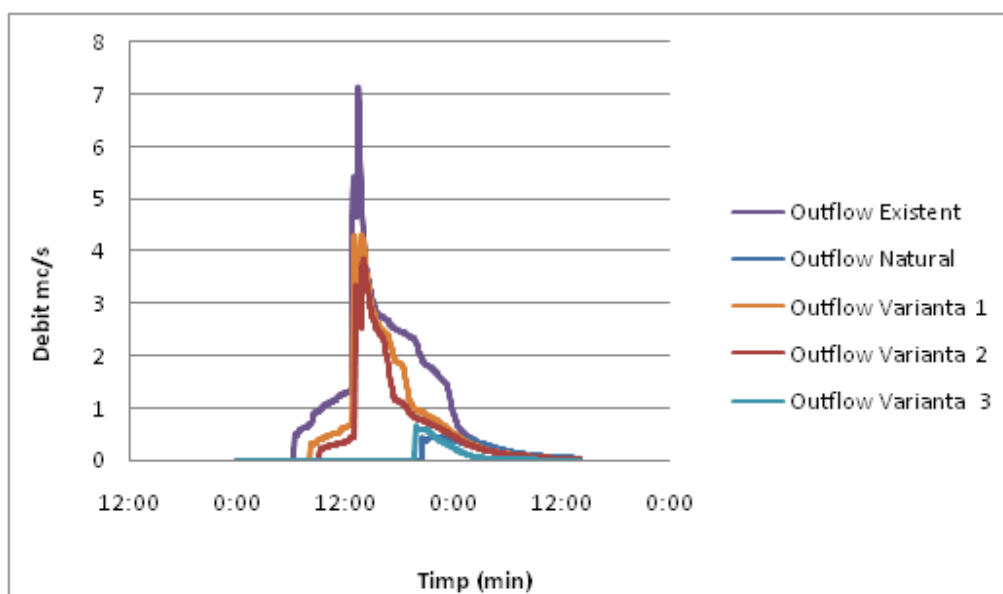
Rezultatele simulărilor pentru precipitația cu frecvența de 1 la 5 ani se găsesc în Tabel 5.16.

**Tabel 5.16.** Bilanțul apei pentru precipitația cu frecvența 1 la 5 ani, durata 24 de ore

		Existent	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Natural
<b>Intrări în sistem</b>	mc	235.520	235.519	235.428	235.517	235.520
<b>Infiltrații</b>	mc	80.213	120.227	140.307	175.774	203.844
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	138.328	90.407	69.993	8.609	15.326
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	10.262	19.120	21.562	48.512	15.821
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	8.028	7.620	5.409	4.378	529
<b>Total apă stocată</b>	mc	18.290	26.740	26.971	52.890	16.350

<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,59	0,38	0,3	0,04	0,07
<b>Gradul de reducere</b>	%	-	65,36	50,6	6,22	-
<b>Eroare</b>	%	-0,56	-0,79	-0,78	-0,75	0

Se observă că în cazul precipitației cu frecvența de 1 la 5 ani coeficientul de scurgere obținut, în situația în care se folosesc doar sisteme pentru dispersia apelor în sol, este mai mic decât coeficientul de scurgere obținut în ipoteza în care avem o suprafață naturală. 40,57% din precipitația căzută este infiltrată în sol prin sistemele de dispersie și infiltrare iar 16,24% din precipitația căzută este stocată în sistemele de dispersie și infiltrare, urmând a fi infiltrată treptat în sol după terminarea precipitației.



**Figura 5.37.** Hidrograful debitului de ieșire din sistem pentru precipitația cu frecvența de 1 la 5 ani

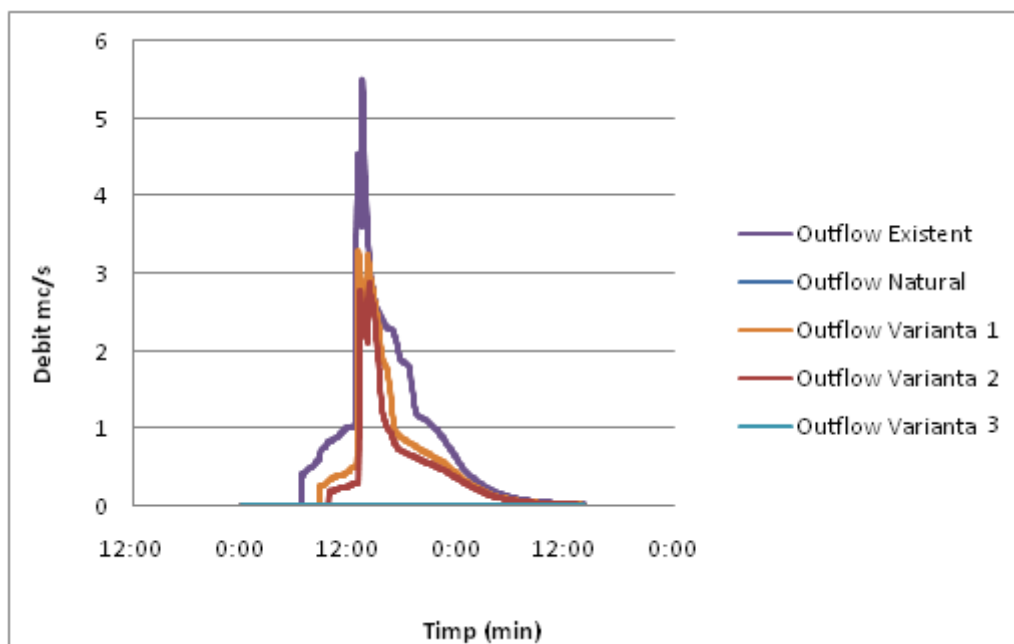
Vârful hidrografului debitului de ieșire survine la aproximativ 14 ore de la începutul precipitației pentru patru variante, situația existentă și variantele 1, 2 și 3; pentru varianta 4 la 20 de ore iar în cazul în care avem o suprafață naturală vârful hidrografului survine la aproximativ 21 ore de la începutul precipitației.

## 5.5. – Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului 117

**Tabel 5.17.** Bilanțul apei pentru precipitația cu frecvența de 1 la 2 ani, durata 24 de ore

		<b>Existent</b>	<b>Varianta 1</b>	<b>Varianta 2</b>	<b>Varianta 3</b>	<b>Natural</b>
<b>Intrări în sistem</b>	mc	188.254	188.254	188.180	188.255	188.254
<b>Infiltrații</b>	mc	69.090	101.927	119.458	162.794	170.081
<b>Ieșiri din sistem</b>	mc	102.181	63.887	47.750	0	683
<b>Stocarea apei la suprafața solului</b>	mc	10.141	18.357	18.590	26.878	17.063
<b>Stocarea apei în conducte</b>	mc	7.940	5.590	3.883	4	426
<b>Total apă stocată</b>	mc	18.081	23.947	22.473	26.882	17.489
<b>Coeficientul de scurgere</b>		0,54	0,34	0,25	0	0
<b>Gradul de reducere</b>	%	-	62,52	46,73	0	-
<b>Eroare</b>	%	-0,58	-0,8	-0,8	-0,75	0

Pentru precipitația cu frecvența de 1 la 2 ani, în cazul variantei 4 debitul de ieșire din sistem este zero. 49,77% din precipitația căzută este infiltrată în sol prin sisteme de dispersie și infiltrare iar 8,89% din precipitația căzută este stocată în sistemele de dispersie și infiltrare, urmând a fi infiltrată treptat în sol după finalizarea ploii.

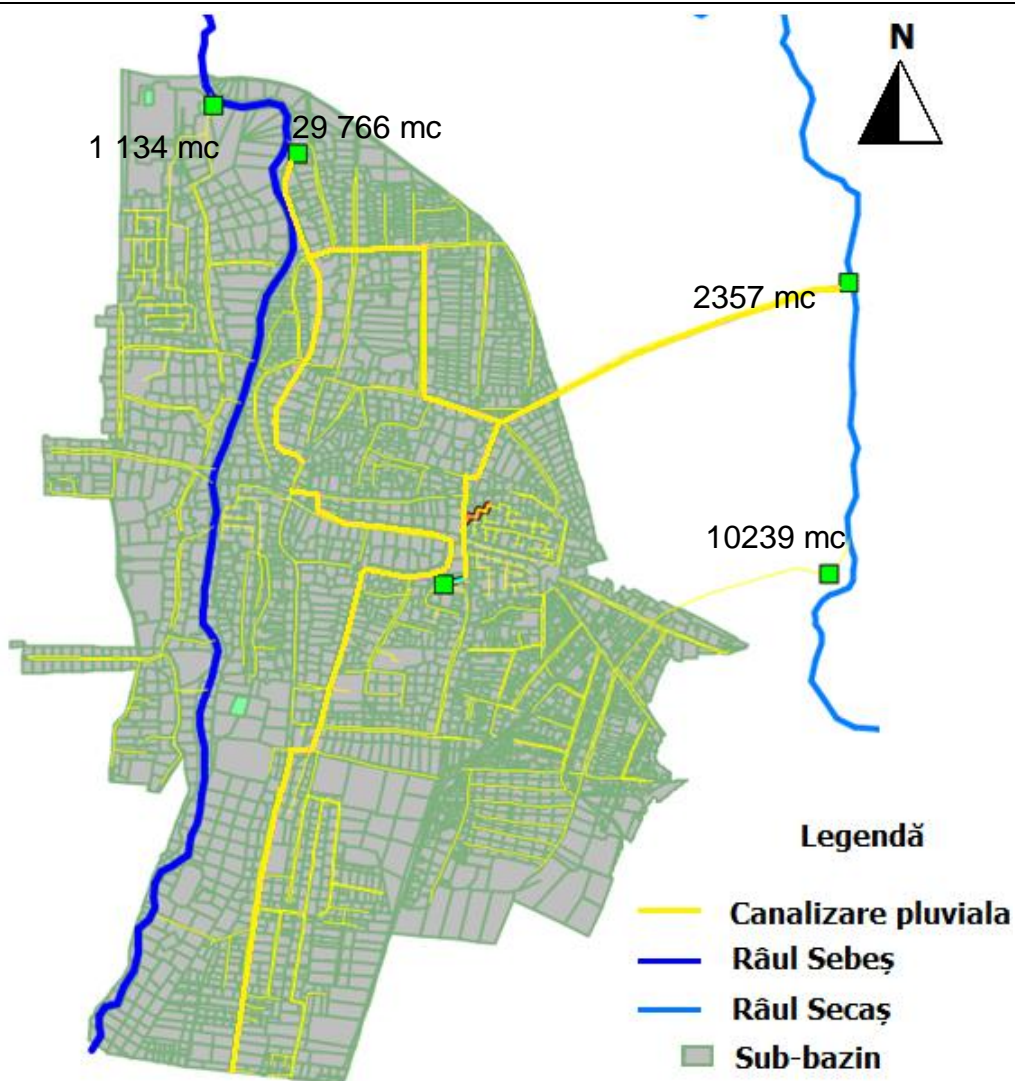


**Figura 5.38.** Hidrograful debitului de ieșire din sistem pentru precipitația cu frecvența 1 la 2 ani

Vârful hidrografului debitului de ieșire survine la aproximativ 13 ore de la începutul precipitației pentru patru variante, situația existentă și variantele 1,2 și 3; în cazul în care avem teren natural debitul ieșit din sistem este foarte mic, având o valoare neglijabilă iar în cazul variantei 4 nu avem ieșiri din sistem.

Valorile mici ale coeficientului de scurgere în cazul condițiilor naturale se explică prin faptul că stratul de precipitație nu are mai mult de 50 mm în nici una din situațiile de mai sus. Pompiliu Miță și Simona Mătreață au ajuns la concluzia că apa reținută de solul de pădure în b.h. Humăria pentru un eveniment de precipitație care are 50 mm este mai mult de 40 mm (pe lângă apa reținută de litieră și de coronamentul pomilor) [70].

În cazul Scenariului 2, pentru o precipitație cu frecvența de apariție de 1 la 10 ani, diferențele între volumele de apă scurse în condiții naturale și volumele de apă scurse după implementarea unităților LID sunt de 1134 mc, la deversarea din cartierul Mihail Kogălniceanu și strada Ștefan cel Mare în râul Sebeș, 29766 mc la deversarea în râul Sebeș a apei colectate de pe suprafața centrală a orașului, 2357 mc la deversarea în râul Secaș a apei pluviale colectate de pe suprafața centrală a orașului, și 10239 mc la deversarea în râul Secaș a apei colectate de pe suprafața sud-estică a orașului (Figura 5.39).



**Figura 5.39.** Diferențele între debitele de ieșire în ipoteza în care ar exista o suprafață naturală și debitele de ieșire din cadrul scenariului 2 pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 10 ani.

În urma analizei rezultatelor obținute după realizarea mai multor simulări s-a concluzionat că suprafața grădinilor de ploaie trebuie să fie 8% din suprafața impermeabilă pe care o preia. Același procent este recomandat și în manualul Rain Garden [123], manual în care se precizează că în situația în care solul nativ prezintă o rată de infiltrare de 1"/oră și grădina se construiește cu un strat de sol de 8 inch

adâncime, grădinile de ploaie trebuie să fie dimensionate la 8% din suprafața impermeabilă tratată.

În cazul acoperișurilor verzi s-a reținut până la 100% din precipitația cu frecvența 1 la 10 ani căzută pe suprafața acestora, rezultat comparabil cu un acoperiș extensiv tipic.

Sistemele de dispersie și infiltrare trebuie dimensionate la 3.4% din suprafața impermeabilă de pe care se prevede preluarea apei scurse din precipitații. În cazul sistemelor de dispersie și infiltrare este nevoie de o suprafață mai mică deoarece acestea stochează în interiorul lor o cantitate semnificativă de apă care urmează a fi treptat infiltrată în sol.

Aceste valori sunt valabile în situația în care conductivitate hidraulică saturată a solului de la adâncimea de 100 cm până la primul strat impermeabil sau până la nivelul freatic este între 1.4 cm/ora și 3.6 cm/ora (sol din grupa hidrologică B conform USDA).



## 6. Concluzii finale

În studiul de față s-a realizat o sinteză a modului în care se modelează răspunsul hidrologic al suprafeței urbane la diferiți factori (precipitații, suprafețe impermeabile, permeabilitatea solului, stratul vegetal, LID) în situația în care nu există date de calibrare.

Dimensionarea unităților LID s-a realizat pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 10 ani cu durata de 24 de ore. Rata de infiltrare a apei în sol în cadrul unităților LID este rata de infiltrare a terenului de sub unitate. Pentru a putea determina cât mai realist modul în care unitățile LID reduc ieșirile din sistem s-a presupus că toată apa scursă de pe suprafața urbană ajunge în sistemul de canalizare pluvială existent sau propus spre construire.

Răspunsul hidrologic al suprafeței terenului a fost simulat cu modelul SWMM 5.0 pentru cinci scenarii (trei cu unități LID, unul în condițiile actuale și unul în condițiile în care suprafața ar fi o suprafață naturală) la care s-au aplicat precipitații cu perioade de revenire de 1 la 2 ani, 1 la 5 ani și 1 la 10 ani. S-a realizat o comparație a bilanțului apei calculat pentru toate cele cinci scenarii și pentru toate cele trei frecvențe ale precipitațiilor.

Modificările în modul de acoperire a terenului din timpul procesului de urbanizare produc schimbări atât în timpul cât și în magnitudinea proceselor de scurgere a apelor de pe suprafața urbană; precipitațiile căzute pe suprafața urbană ajung în cursurile de apă de suprafață într-un timp mult mai scurt decât cele căzute pe o suprafață de teren neamenajată (mediul natural). Pentru frecvențe de 1 la 10 ani debitul de apă scurs de pe suprafața urbană este de șase ori mai mare față de debitul scurs dacă suprafața ar fi naturală, diferența crescând odată cu creșterea frecvenței precipitațiilor. Astfel pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 2 ani debitul scurs ajunge să fie de 150 de ori mai mare. La frecvențe mai mari coeficientul de scurgere în condiții naturale este foarte mic, aproape egal cu zero.

Este evident că determinarea influenței pe care o are dezvoltarea și extinderea zonelor urbane asupra debitelor sezoniere și debitelor de bază a cursurilor de apă de suprafață, este o provocare enormă, fiind foarte importantă pentru managementul resurselor de apă, în special în bazinele hidrografice neamenajate.

Unitățile LID sunt practici de actualitate și eficiente în încercarea stabilirii unui echilibru natural. Ele pot preveni apariția inundațiilor urbane, facilita alimentarea acviferului, reduce necesarul de alimentare cu apă a zonei prin sistemul centralizat, crește confortului termic, pe lângă toate acestea având și un rol estetic.

Alegerea practicilor LID se face în funcție de natura solului, nivelul acviferului freatic, modul de utilizare și acoperire a terenului, suprafața impermeabilă pe care o tratează, impactul social care îl au și de fezabilitatea din punct de vedere economic.

Dimensionarea unităților de infiltrare trebuie să se realizeze în urma efectuării unor studii la fața locului pentru determinarea ratei de infiltrare a solului nativ. Adâncimea se alege în funcție de adâncimea la care solul are o rata de infiltrare necesară și astfel încât nivelul acviferului freatic să nu ajungă la unitatea

de infiltrare în timpul perioadelor de precipitații. În cazul grădinilor de ploaie și a plantațiilor stradale trebuie să se țină cont în dimensionare și de mediul de creștere folosit.

Alegerea tipului de acoperiș se face în funcție de destinație și de structura clădirii.

Prin amplasarea de unități de retenție/infiltrare a apei pluviale doar în spațiile verzi ale Sebeșului, nu se ating condițiile hidrologice existente în ipoteza în care suprafața ar fi o zonă naturală. Totuși, în acest caz, coeficientul de scurgere este redus de la 0,61 la 0,41, aceasta însemnând o reducere a debitelor scurse cu aproximativ 32% pentru o precipitație cu frecvența de 1 la 10 ani. În această direcție este nevoie de realizarea de construcții destinate retenției și/sau infiltrării apei sub drumuri, parcuri, trotuare etc.

După implementarea practicilor de retenție/infiltrare trebuie să se realizeze o monitorizare permanentă a nivelului acviferului freatic, iar în situația în care se observa creșterea nivelului peste nivelul admis, apa de precipitații trebuie redirectionată către sistemul de drenaj al orașului.

În concluzie putem spune că prin utilizarea practicilor de retenție/infiltrare repartizate în interiorul zonei urbane ținând cont de modul de utilizare și acoperire a terenului, se reduc scurgerile de pe suprafața urbană și crește debitul de apă infiltrat în sol în timpul precipitațiilor, până la valori comparabile cu debitele obținute în ipoteza în care suprafața ar fi o suprafață cu teren natural. Pentru a obține rezultate mai realiste este nevoie de calibrarea modelului sau de utilizarea unui set mai mare de date de intrare legate de natura solului și nivelul apei freatice.

Rezultatele obținute în prezentul studiu sunt valabile în situația în care rata de infiltrare a solului nativ, începând de la adâncimea de 1m, este specifică solurilor din Grupa B după clasificarea realizată de United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service [138], iar nivelul apei freatice sau a primului strat impermeabil este la o adâncime mai mare de 2,2 m în perioada de precipitații.

## 7. Contribuții personale și perspective viitoare de cercetare

În cadrul tezei s-a realizat o sinteză bibliografică a literaturii de specialitate cu privire la:

- problemele existente pe plan mondial;
- modelarea proceselor ploaie-scurgere de suprafață și infiltrare;
- Practicile de Management utilizate în țările dezvoltate pentru reducerea debitelor scurse de pe suprafață provenite din precipitații, atât în scopul prevenirii inundațiilor urbane, cât și în scopul facilitării infiltrării apei în sol pentru creșterea resurselor de apă subterană.

Pentru realizarea studiului de caz s-au efectuat următoarele:

1. studiul zonei, a istoricului și a situației existente privind rețeaua de canalizare a orașului; crearea hărții cu sistemul de drenaj pluvial existent;
2. analiza modului de acoperire și utilizare a terenului;
3. determinarea rutelor de curgere a apei provenită din precipitații;
4. împărțirea zonei urbane studiate în sub-arii în funcție de rețeaua de drenaj existentă și rutele de scurgere a apei;
5. determinarea caracteristicilor fiecărei sub-arie: delimitare, lungimea rutei de scurgere, mod de utilizare a terenului, suprafață impermeabilă și tipul acesteia, pantă, tipul vegetației și gradul de acoperire, coeficienții de rugozitate, caracteristicile solului (permeabilitate, potențialul capilar);
6. introducerea datelor în SWMM5.0, rularea programului și interpretarea rezultatelor.

Precipitațiile de calcul s-au obținut în urma prelucrării statistice prin metoda Gumbel a șirului de date de precipitații zilnice pe 30 de ani obținute de la ANR.

În urma analizei suprafeței urbane, în funcție de modul de acoperire și utilizare a terenului, s-a ales tipul de unitate de retenție/infiltrare care poate fi implementat.

Pentru a vedea modul în care unitățile de retenție/infiltrare pot reduce scurgerile de suprafață s-au realizat trei scenarii și s-a comparat bilanțul apei cu bilanțul apei calculat în situația existentă, și cu cel calculat în ipoteza în care suprafața ar fi o zonă naturală.

În urma analizei rezultatelor obținute s-a determinat modul de dimensionare a unităților de infiltrare a apei în funcție de suprafața impermeabilă de pe care preia apa și condițiile de implementare a acestora.

### **Perspective viitoare de cercetare:**

- studierea impactului zonelor urbane asupra resurselor de apă dintr-un bazin hidrografic;

#### 124 Contribuții personale și perspective viitoare de cercetare - 7

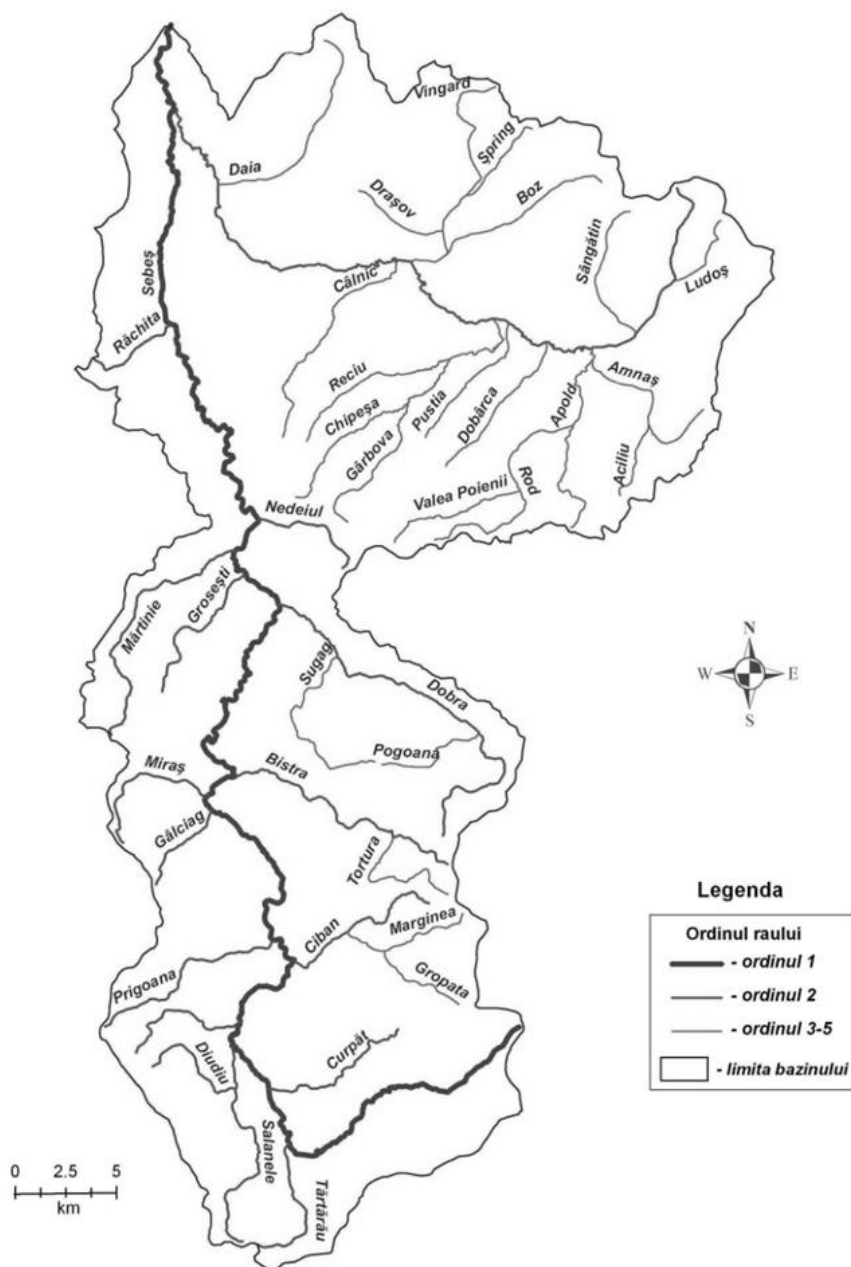
---

- calculul încărcărilor cu poluanți a apelor pluviale urbane specifice diferitelor suprafețe, implicit determinarea capacității de reducere a poluanților din apele pluviale a unităților de retenție/infiltrare;
- analiza cost-beneficiu a drenajului sustenabil;
- studierea și găsirea de soluții pentru introducerea sistemelor de drenaj sustenabil în legislația Românească;

## **ANEXE**



### Bazinul hidrografic Sebeș



**Valori specifice ale coeficientului de scurgere**

Nr. crt.	Natura suprafeței	Coeficientul de scurgere $\phi$
1	Învelitori metalice și de ardezie	0,95
2	Învelitori de sticlă, țiglă și carton asfaltat	0,90
3	Terase asfaltate	0,85 ... 0,90
4	Pavaje din asfalt și din beton	0,85 ... 0,90
5	Pavaje din piatră și alte materiale, cu rosturi umplute cu mastic	0,70 ... 0,80
6	Pavaje din piatră cu rosturi umplute cu nisip	0,55 ... 0,60
7	Drumuri din piatră spartă (macadam): <ul style="list-style-type: none"> <li>• în zone cu pante mici (<math>\leq 1\%</math>);</li> <li>• în zone cu pante mari (<math>&gt; 1\%</math>).</li> </ul>	0,25 ... 0,35 0,40 ... 0,50
8	Drumuri împietruite: <ul style="list-style-type: none"> <li>• în zone cu pante mici (<math>\leq 1\%</math>);</li> <li>• în zone cu pante mari (<math>&gt; 1\%</math>).</li> </ul>	0,15 ... 0,20 0,25 ... 0,30
9	Terenuri de sport, grădini: <ul style="list-style-type: none"> <li>• în zone cu pante mici (<math>\leq 1\%</math>);</li> <li>• în zone cu pante mari (<math>&gt; 1\%</math>).</li> </ul>	0,05 ... 0,10 0,10 ... 0,15
10	Incinte și curți nepavate, neînierbate	0,05 ... 0,20
11	Terenuri agricole (cultivate)	0,10 ... 0,15
12	Parcuri și suprafețe împădurite: <ul style="list-style-type: none"> <li>• în zone cu pante mici (<math>\leq 1\%</math>);</li> <li>• în zone cu pante mari (<math>&gt; 1\%</math>).</li> </ul>	0,01 ... 0,05 0,05 ... 0,10

Sursă: SR 1846-2:2007



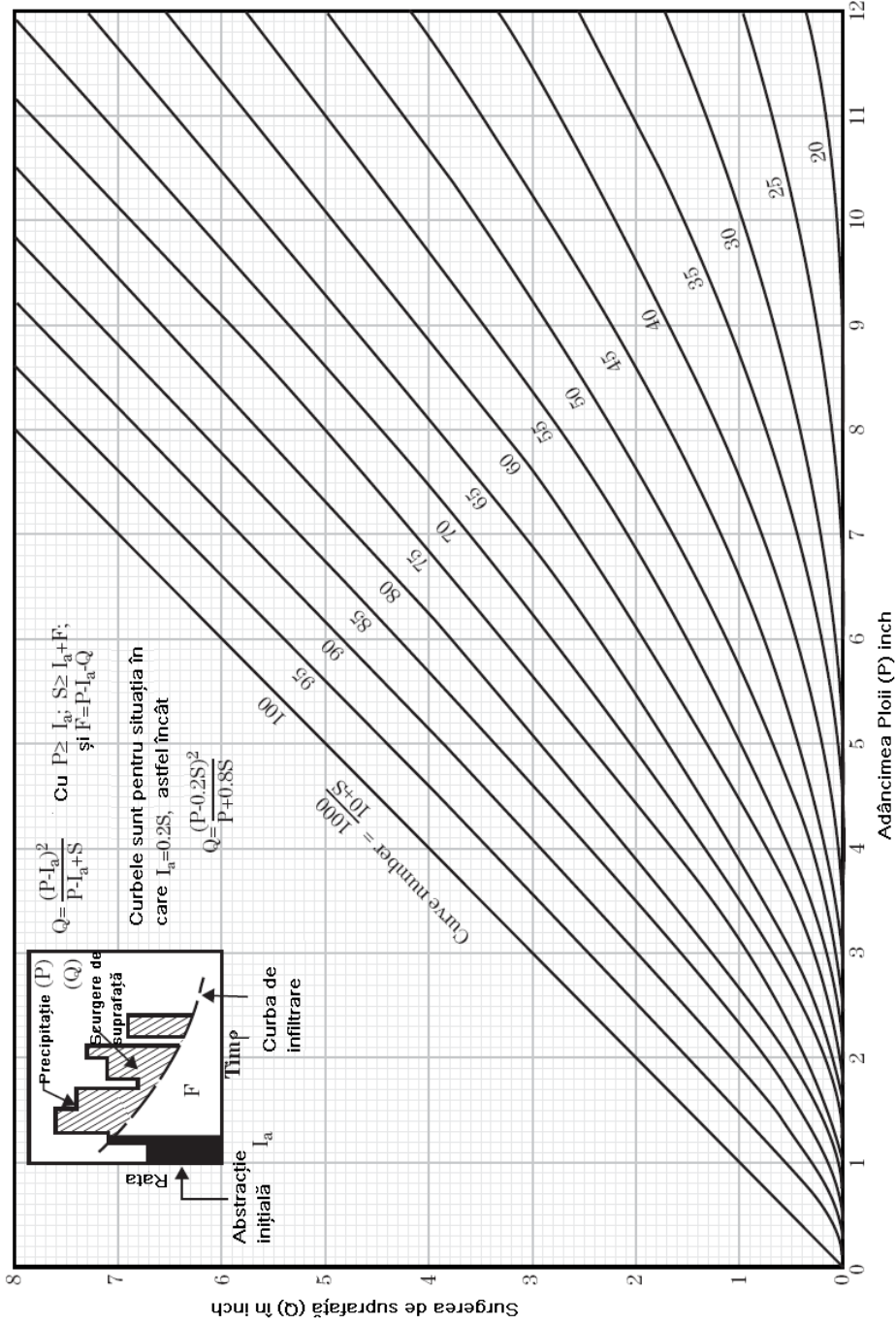
## Suprafața intravilană a municipiilor și orașelor, pe macroregiuni, regiuni de dezvoltare și județe

Regiuni de dezvoltare	Ani																	
	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
	Hectare																	
<b>TOTAL</b>	226777	237414	244149	252540	257579	268620	284741	305308	315034	332125	340713	367187	366821	377925	390233	398745	409898	424626
Regiunea NORD-VEST	29689	30106	35299	36090	38582	40157	41846	45751	50443	51292	52177	57311	57855	63409	65191	65855	71952	71277
Regiunea CENTRU	34430	35524	36521	44072	44003	45600	48024	50905	51262	55472	58418	59998	60917	61834	64558	67007	67716	69720
Regiunea NORD-EST	25583	32461	32894	32972	33260	35589	41711	41560	42455	42695	44638	52364	51830	52351	53127	53430	54555	54981
Regiunea SUD-EST	33214	34035	34034	34398	34464	34729	35004	36512	38238	39424	40011	40485	40552	40772	40949	41203	43628	43728
Regiunea SUD-MUNTENIA	36815	36597	36751	35541	36692	38287	39401	43917	45000	45630	45995	47948	48490	49877	50599	52179	53428	55379
Regiunea BUCUREȘTI - ILFOV	15673	15673	15789	15789	15789	15789	15789	19373	19373	19373	19373	23183	27399	28343	33748	36733	34953	42714
Regiunea SUD-VEST OLTENIA	21170	21541	21541	21551	22568	25048	28331	29102	29518	30239	31309	34908	36445	38060	38435	38549	39395	41833
Regiunea VEST	30203	31477	31436	32127	32221	33421	34635	38188	38745	48000	48792	50990	43333	43279	43626	43789	44271	44994

1998 - 2007 INSTITUTUL NATIONAL DE STATISTICA

<b>Tabel Indicele CN pentru zonele urbane</b>					
Descrierea modului de acoperire și condițiile hidrologice	Supraf. impermeabila medie %	Numarul CN pentru grupele de sol			
		A	B	C	D
Zone urbane complet dezvoltate (este instalată vegetația)					
Spațiu deschis (gazon, parcuri, teren golf, cimitir etc.)					
Condiții slabe (grad acoperire iarbă <50%)		68	79	86	89
Condiții medii (grad acoperire iarbă 50-75%)		49	69	79	84
Condiții bune (grad acoperire iarbă >75%)		39	61	74	80
Suprafețe impermeabile					
Parcări pavate, acoperișuri, drumuri etc. (exclus spațiile publice)		98	98	98	98
Străzi și drumuri					
Pavate; borduri și canale pluviale (exclus spațiile publice)		98	98	98	98
Pavate; șanțuri deschise (inclusiv spațiile publice)		83	89	92	93
Pietriș (inclusiv spațiile publice)		76	85	89	91
Pământ (inclusiv spațiile publice)		72	82	87	89
Zone urbane deșertificate					
Peisaj natural deșertificat (doar suprafețe permeabile)		63	77	85	88
Peisaj artificial deșertificat (bariere de buruieni impermeabile, arbuști de desert cu strat de nisip de 1-2 inch sau pietriș și limitele bazinului)		96	96	96	96
District urban					
Comercial și afaceri	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
District rezidențial după suprafața medie					
500 mp sau mai puțin (case orășenești)	65	77	85	90	92
1000 mp	38	61	75	83	87
1350 mp	30	57	72	81	86
2000 mp	25	54	70	80	85
4050 mp	20	51	68	79	84
8100 mp	12	46	65	77	82
Suprafețe urbane în curs de dezvoltare					
Suprafețe noi afectate (doar suprafețele permeabile, fără vegetație)		77	86	91	94

Sursă: National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, United States Department of Agriculture



Sursă: National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, United States Department of Agriculture

## Ecranul lui Morris pentru vârful hidrografului scurgerii de suprafață

Traie- ctoria	Nr. Crt.	CN	Imp.	Rugoz. Conducta	Manning		Retenție		Debit (mc/s)	d(61)	d(62)	d(63)	d(64)	d(65)	d(66)	d(67)
					Supraf. Imp.	Supraf. Perm.	Supraf. Imp.	Supraf. Perm.								
1	1	0	0	0	0	0	0	0	4.665							
	2	0.4	0	0	0	0	0	0	4.885	0.55						
	3	0.4	0.4	0	0	0	0	0	5.349	1.16						
	4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0	5.5		0.38					
	5	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	5.35			-0.38				
	6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	5.366				0.04			
	7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	5.31					0.04		
	8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	5.248						-0.14	
2	9	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	4.827							
	10	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	4.946	0.3						
	11	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	5.518		1.43					
	12	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.7	5.519			0				
	13	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.7	5.507				-0.03			
	14	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6	0.7	5.51					0.01		
	15	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1	5.488						-0.05	
	16	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9	1	5.622							-0.33
30	225	0.8	0.0000	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	4.97							
	226	0.4	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	4.579	0.98						
	227	0.4	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	5.023		1.11					
	228	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	5.201			0.45				
	229	0.4	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	5.208				0.02			
	230	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	5.194					-0.04		
	231	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	5.168						-0.06	
	232	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	5.145							-0.06

$\mu$  0.51 1.18 0.13 -0.01 -0.11 -0.08 -0.25  
 $\mu^*$  0.51 1.18 0.13 0.01 0.11 0.08 0.25  
 $\sigma$  0.29 0.44 0.24 0.08 0.1 0.1 0.16

Ecranul lui Morris pentru debitele scurse de pe suprafata urbana

Traie- ctoria	Nr. Crt.	CN	Imp.	Rugoz. Conducta	Manning		Retenție		Volum (mc*10^4)	d(θ1)	d(θ2)	d(θ3)	d(θ4)	d(θ5)	d(θ6)	d(θ7)
					Supraf. Imp.	Perm.	Supraf. Imp.	Perm.								
1	1	0	0	0	0	0	0	0	3,47							
	2	0.4	0	0	0	0	0	0	3,711	0.60						
	3	0.4	0.4	0	0	0	0	0	4,02	0.77						
	4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	0	4,054	0.09						
	5	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	0	4,02							
	6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0	0	4,019						0.00	
	7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	3,989						-0.08	
	8	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	3,944							-0.11
2	9	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	3,613							
	10	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	3,745	0.33						
	11	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	4,025	0.70						
	12	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	0.6	0.7	4,097							
	13	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	0.6	0.7	4,067							
	14	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.6	0.7	4,094							
	15	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.7	4,055							
	16	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	0.3	4,204							-0.37
30	225	0.8	0.0000	0.1000	0.2000	0.3000	0.4000	0.5000	3,865							
	226	0.4	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	3,421	1.11						
	227	0.4	0.4	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	3,826							
	228	0.4	0.4	0.5	0.2	0.3	0.4	0.5	3,843							
	229	0.4	0.4	0.5	0.6	0.3	0.4	0.5	3,848							
	230	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.4	0.5	3,842							
	231	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.5	3,813							
	232	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	3,792							-0.05

μ 0.54 0.70 0.04 -0.01 -0.06 -0.11 -0.24  
 μ\* 0.54 0.70 0.04 0.01 0.06 0.11 0.24  
 σ 0.31 0.34 0.08 0.06 0.08 0.05 0.19

## Bibliografie

1. Allen Vaikko, Connerton Aimee, and Carlson Cory, Introduction to Infiltration Best Management Practices (BMP), Professional Development Advertising Section – CONTECH Construction Products Inc., December 2011
2. Alexoae Laura, STUDIUL PRIVIND INTEGRAREA ZONELEI UMEDE ÎN MANAGEMENTUL INUNDAȚIILOR, Universitatea "Politehnica" din Timișoara, Decembrie 2012
3. Bartens, J., Day, S. D., Harris, J. R., Dove, J. E., & Wynn, T. M. (2008). Can urban tree roots improve infiltration through compacted subsoils for stormwater management?. *Journal of Environmental Quality*, 37(6), 2048-2057.
4. Bîrsan Marius-Victor, Modelarea proceselor fizice de tip precipitație-scurgere pentru prognoza în timp real a viiturilor, București 2010,
5. Beaujeu-Garnier Jacqueline and Chabot George, Geografie Urbană, Editura Științifică București, 1971
6. Beven, K. J. 2001. *Rainfall-runoff Modelling : The Primer*. Chichester : Wiley, 2001. 360 p. ISBN 978-0-470-86671-9.
7. Bica Ioan, Hidraulică Urbană și Hidrologie, MATRIX ROM, București 2000, ISBN: 973-685-154-0
8. Booth, D. B., Karr, J. R., Schauman, S., Konrad, C. P., Morley, S. A., Larson, M. G., & Burges, S. J. (2004). REVIVING URBAN STREAMS: LAND USE, HYDROLOGY, BIOLOGY, AND HUMAN BEHAVIOR. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 40(5), 1351-1364.
9. Bornstein, Robert, and Qinglu Lin. "Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies." *Atmospheric Environment* 34.3 (2000): 507-516.
10. Brabec, E., S. Schulte, and P. Richards, 2002. Impervious Surfaces and Water Quality: A Review of Current Literature and Its Implications for Watershed Planning. *J. Planning Literature* 16(4):499-514.
11. Brandes, D., Cavallo, G. J., & Nilson, M. L. (2005). Base Flow Trends in Urbanizing Watersheds of the Delaware River Basin. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41(6), 1377-1391.
12. Crooks, S., Cheetham, R., Davies, H., Goodsell, G., 2000. EUROTAS (European River Flood Occurrence and Total Risk Assessment System). In: Final Report Task T3: Thames Catchment Study, EU Contract ENV4-CT97-0535
13. Butler D. and Davies J.W., Urban Drainage, 2nd Edition, Spon Press, Taylor&Francis Group, LONDON, 2004, ISBN 0-415-30607-8 (pbk)

14. Campolongo, F., and A. Saltelli. 1997. Sensitivity analysis of an environmental model: An application of different analysis methods. *Reliability Eng. System Safety* 57(1): 49-69.
15. Campolongo, Francesca, Jessica Cariboni, and Andrea Saltelli. "An effective screening design for sensitivity analysis of large models." *Environmental modelling & software* 22.10 (2007): 1509-1518.
16. Campolongo, F., and R. Braddock. "Sensitivity analysis of the IMAGE Greenhouse model." *Environmental modelling & software* 14.4 (1999): 275-282.
17. Carpenter Donald D., Laboratory investigation of Rain Garden planting mixtures, A final report submitted to: Souteast Oakland County Water Authority, June 30th, 2005
18. Carpenter, Donald D., and Laura Hallam. "An Investigation of Rain Garden Planting Mixture Performance and the Implication for Design." ASCE, 2008.
19. Chan Yong Sung and Ming-Han Li, The effect of urbanization on stream hydrology in hillslope watersheds in central Texas, *HYDROLOGICAL PROCESSES* 24, 3706-3717 (2010), DOI: 10.1002/hyp.7782;
20. Cheng, Shin-jen and Wang, Ru-yih, An approach for evaluating the hydrological effects of urbanization and its application, *Hydrological Processes*, Volume 16, Issue 7, pp 1403-1418, May 2002, doi: 10.1002/hyp.350;
21. Clar M.L., Barfield B.J. and O`Connor T.P., Stormwater best management practice design guide, volume 1, General Consideration, United States Environmental Protection Agency, Office of Research and Development Washington DC 20460, EPA/600/R-04/121, September 2004;
22. Cleugh, H. A., E.N. Bui, V.G. Mitchell, J. Xu, C.S.B. Grimmond and D.A.P. Simon. Evapotranspiration in Urban Water Balance Models:A Methodological Framework, MODSIM CONFERENCES, 2005;
23. Coldewey W.G. and Geiger W.F., Pilot study on the influence of infiltration on the water budget of an urban area - Phase III, final report, Ministry of Environmental Protection and Nature Conservation, Agriculture and Consumer Protection of the Federal State of North Rhine-Westphalia, Germany, AZ: IV-9-042 234, pp 18-270, Münster Germany, 2004;
24. Davis, Allen P. "Field performance of bioretention: Hydrology impacts." *Journal of Hydrologic Engineering* 13.2 (2008): 90-95.
25. Dietz, Michael E., and John C. Clausen. "A field evaluation of rain garden flow and pollutant treatment." *Water, Air, and Soil Pollution* 167.1-4 (2005): 123-138.
26. Dietz, Michael E. "Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions." *Water, air, and soil pollution* 186.1-4 (2007): 351-363.
27. Dixon, P. Grady, and Thomas L. Mote. "Patterns and causes of Atlanta's urban heat island-initiated precipitation." *Journal of Applied Meteorology* 42.9 (2003): 1273-1284.

28. Dunnett, N., Kingsbury, N., 2004. *Planting Green Roofs and Living Walls*. Timber Press, Portland.
29. Durhman, A.K., Rowe, D.B., Rugh, C.L., Effect of substrate depth on initial coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa, *HortScience* June 2007 vol. 42 no. 3 588-595.
30. Durst, F., Miloievic, D., & Schönung, B. (1984). Eulerian and Lagrangian predictions of particulate two-phase flows: a numerical study. *Applied Mathematical Modelling*, 8(2), 101-115.
31. Džubáková k., *Rainfall-Runoff Modelling: its development, classification and possible applications*, ACTA GEOGRAPHICA UNIVERSITATIS COMENIANAE, Vol. 54, 2010, No. 2, pp. 173-181
32. Florescu Iulian, *Mecanica Fluidelor - Note de curs pentru uzul studenților*, Universitatea din Bacău, Facultatea de Inginerie, Editura ALMA MATER, Bacău, 2007
33. Francos, A., Elorza, F. J., Bouraoui, F., Bidoglio, G., & Galbiati, L. (2003). Sensitivity analysis of distributed environmental simulation models: understanding the model behaviour in hydrological studies at the catchment scale. *Reliability Engineering & System Safety*, 79(2), 205-218.
34. Frevert, D. K., Singh, V.P. (eds.). 2006. *Watershed Models*. Boca Raton : Taylor & Francis Group, 2006. 653 p. ISBN 0-8493-3609-0.
35. Gamerith V., *High resolution online data in sewer water quality modelling*, Graz University of Technology, Graz, 2011.
36. Grimmond, Christine Susan Betham, and Timothy R. Oke. "An evapotranspiration-interception model for urban areas." *Water Resources Research* 27.7 (1991): 1739-1755.
37. Gordon NB, McMahon TA, Finlayson BL (1992) *Stream hydrology: an introduction for ecologists*, Wiley, Chichester
38. Gregory, J. H., Dukes, M. D., Jones, P. H., & Miller, G. L. (2006). Effect of urban soil compaction on infiltration rate. *Journal of Soil and Water Conservation*, 61(3), 117-124.
39. Gujer, W. (2008) *System Analysis for Water Technology* Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, Germany.
40. Guo, Yiping, and Brian W. Baetz. "Sizing of rainwater storage units for green building applications." *Journal of Hydrologic Engineering* 12.2 (2007): 197-205.
41. Hall, M.J., *Urban Hydrology*, Elsevier applied science publishers, New York, 1984.
42. Hamby, D. M. "A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models." *Environmental Monitoring and Assessment* 32.2 (1994): 135-154.
43. Hamdi R., Termonia P.& Baguis P., Effects of urbanization and climate change on surface runoff of the Brussels Capital Region: a case study using an urban soil - vegetation - atmosphere-transfer model, *International Journal of Climatology* 31, pp 1959 - 1974, 2011, doi:10.1002/joc.2207;



44. Hardison, E. C., O'Driscoll, M. A., DeLoatch, J. P., Howard, R. J., & Brinson, M. M. (2009). Urban land use, channel incision, and water table decline along coastal plain streams, North Carolina. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45(4), 1032-1046.
45. Hoban Adriana, Aspecte privind indicii hidro-fizici – densitatea aparentă a solului în solarul experimental din someseni, Cluj-Napoca, *Agricultura – Stiintă si practică*, nr. 1-2 ( 65-66)/ 2008,
46. Hollis, G.E. (1975), The Effect of Urbanization on Floods of Different Recurrence Interval, *Water Resources Research*, 11 (3), 431-435.
47. Hsu, K., Gupta, H. V., Sorooshian, S., 1995, Artificial neural network modeling of the rainfall-runoff process, *Water Resources Research*, 31, 1995, 10, pp. 2517-2530.
48. Huff, F. A., and S. A. Changnon Jr. "Precipitation modification by major urban areas." *Bulletin of the American Meteorological Society* 54 (1973): 1220-1220.
49. Hui, Sam C. M., Development of technical guidelines for green roof systems in Hong Kong, *Proceedings of Joint Symposium 2010 on Low Carbon High Performance Buildings*, 23 November 2010, Hong Kong
50. Hundecha, Y., & Bárdossy, A. (2004). Modeling of the effect of land use changes on the runoff generation of a river basin through parameter regionalization of a watershed model. *Journal of Hydrology*, 292(1), 281-295.
51. Hunt, W. F., Jarrett, A. R., Smith, J. T., & Sharkey, L. J. (2006). Evaluating bioretention hydrology and nutrient removal at three field sites in North Carolina. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 132(6), 600-608.
52. Jenkins, Jennifer K. Gilbert, Bridget M. Wadzuk, and Andrea L. Welker. "Fines accumulation and distribution in a storm-water rain garden nine years postconstruction." *Journal of irrigation and drainage engineering* 136.12 (2010): 862-869.
53. Jia, Y., Ni, G., Kawahara, Y., & Suetsugi, T. (2001). Development of WEP model and its application to an urban watershed. *Hydrological Processes*, 15(11), 2175-2194.
54. Jianbiao Lu, Ge Sun, Steven G. McNulty, and Devendra M Arnatya, A comparation of six potential evapotranspiration methods for regional use in the southeastern United States, *Journal Of The American Water Resources Association*, June 2005.
55. Jorgensen, A., Hitchmough, J., Calvert, T., 2002. Woodland spaces and edges: their impact on perception of safety and preference. *Landscape Urban Plan.* 60, 135-150.
56. Kerby, W. S. (1959). Time of concentration for overland flow. *Civil Engineering* 29 (3), 60. Kerby's work is based on Hatheway's (1945) data
57. Knapp H. Vernon, Durgunoğlu Ali, and Ortel Terry W., *A Review of Rainfall-Runoff Modeling for Stormwater Management*, Champaign, Illinois, October 1991

58. Konrad, C.P., D.B. Booth, S.J. Burges, and D.R. Montgomery, 2002. Partial Entrainment of Gravel Bars During Floods. *Water Resources Research* 38(10.1029):9-1 to 9-16.
59. Kosareo, Lisa, and Robert, Ries. "Comparative environmental life cycle assessment of green roofs." *Building and environment* 42.7 (2007): 2606-2613.
60. Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F. W., Laar, M., de Assunção Paiva, V. L., & Tavares, S. (2002). Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. *Environmental management and health*, 13(4), 382-391.
61. Larkin RG, Sharp JM Jr (1992) On the relationship between river-basin geomorphology, aquifer hydraulics, and ground-water flow direction in alluvial aquifers. *Geol Soc Am Bull* 104:1608–1620
62. Landsberg H.E. (1956) The climate of towns. In: *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. W. L. Thomas, ed., Univ. of Chicago Press, Chicago, Illinois, 584-606.
63. Latshaw, Kelsey; Fitzgerald, Jay; and Sutton, Richard (2009) "Analysis of Green Roof Growing Media Porosity," *RURALS: Review of Undergraduate Research in Agricultural and Life Sciences: Vol. 4: Iss. 1, Article 2*
64. Leith R.M. and Whitfield P.H., Some effects of urbanization on stream flow records in a small watershed in the lower Fraser Valley, B.C, *Northwest Science*, Vol. 74, No.1, 2000;
65. McCuen R. H., *Hydrologic Analysis and Design*. Third Edition. Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall, 2005.
66. Mentens, J., Raes, D., & Hermy, M. (2006). Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century?. *Landscape and urban planning*, 77(3), 217-226.
67. Morariu T., Octavian Bogdan, A. Maier, *Județul Alba, Editura academiei Republicii Socialiste România, București 1980*
68. Morris, Max D. "Factorial sampling plans for preliminary computational experiments." *Technometrics* 33.2 (1991): 161-174.
69. Moscrip, A.L., Montgomery, D.R., 1997. Urbanization flood, frequency and salmon abundance in Puget Lowlan Streams. *Journal of the American Water Resources Association* 33 (6), 1289–1297
70. Miță P. și Mătreață S., Rolul zonelor împădurite asupra variației scurgerii de suprafață, *Analele Universității Spiru Haret, Seria Geografie, nr. 6, 2003, EDITURA FUNDAȚIEI ROMÂNIA DE MÂINE, București, 2005;*
71. Mulligan, Mark. *Modelling catchment hydrology*. John Wiley and Sons Ltd: Chichester, 2004.
72. Muschalla, D., Schütze, M., Schroeder, K., Bach, M., Blumensaat, F., Klepizewski, K., ... & Gruber, G. (2008). The HSG guideline document for modelling integrated urban wastewater systems. In *11th International Conference on Urban Drainage*

73. Muthanna, T. M., M. Viklander, and S. T. Thorolfsson. "Seasonal climatic effects on the hydrology of a rain garden." *Hydrological Processes* 22.11 (2008): 1640-1649.
74. H.Y.F. Ng and Marsalek J., Simulation of the effects of urbanization on basin streamflow, *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, Volume 25, Issue 1, pp 117-124, February 1989, doi: 10.1111/j.1752-1688.1989.tb05672.x;
75. Novotny, V. and Olem, H.: 1994, *Water Quality: Prevention, Identification, and Management of Diffuse Pollution*, Van Nostrand Reinhold, New York, 1054 pp.
76. Novotny, Vladimir, and John W. Witte. "Ascertaining aquatic ecological risks of urban stormwater discharges." *Water Research* 31.10 (1997): 2573-2585.
77. Onmura, S., Matsumoto, M., Hokoi, S., 2001. Study of evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy Build.* 33, 653-666.
78. Paquette Samantha, *Modelling of a Bioretention Cell Soil Moisture Regime in Southern Ontario*, The University of Guelph, Guelph, Ontario, Canada, 2012
79. Pitt, R. (2002). Receiving water impacts associated with urban runoff. In: *Handbook of ecotoxicology*, D. Hoffmann, B. Rattner, G. A. Burton and J. Cairns (ed.), CRC-Lewis, Boca Raton, FL, USA.
80. Pitt, R., Field, R., Lalor, M., and Brown, M. 1995. "Urban stormwatertoxic pollutants: Assessment, sources, and reliability." *Water Environ.Res.*, 673, 260-275.
81. Pitt R., *Small storm hydrology*, University of Alabama - Birmingham, Unpublished manuscript, Presented at Design of Stormwater Quality Management Practices. Madison, WI May 17-19, 1994;
82. Pop Păunița Iuliana, *Cercetări privind condițiile de implementare și aplicabilitatea celulelor de bioretenție în municipiul Cluj-Napoca*, România, Universitatea de Științe Agricole și Medicină Veterinară Cluj-Napoca, Facultatea de Agricultură, 2012
83. Reichert, P. (2009) *Environmental System analysis*, p. 276, EAWAG, Dubendorf, Switzerland
84. Rosato, Donald V., Marlene G. Rosato, and Dominick V. Rosato, *Concise encyclopedia of plastics*, Springer, 2000, ISBN 0-7923-8496-2
85. Rose, S., & Peters, N. E. (2001). Effects of urbanization on streamflow in the Atlanta area (Georgia, USA): a comparative hydrological approach. *Hydrological Processes*, 15(8), 1441-1457.
86. Rozoff, Christopher M., William R. Cotton, and Jimmy O. Adegoke. "Simulation of St. Louis, Missouri, land use impacts on thunderstorms." *Journal of Applied meteorology* 42.6 (2003): 716-738.
87. **Rusu R.M.**, A First Approach in Hydrologic Analyses of Stormwater Runoff under both Pre- And Post-Development Conditions Using EPA's SWMM 5.0 Modeling Program. Case Study: Sebes, Romania, *Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics*, Tom 56(70), Fascicola 2, pp. 57-61, 2012.

88. **Rusu R.M.**, Evapotranspiration in urban water balance, Scientific Bulletin of the Politehnica University of Timisoara, Transactions on Hydrotechnics, Tom 56(70) , Fascicola 2, pp. 43-46, 2011;
89. **Rusu R. M.**, Văduva R., Crețu G., Hydrologic effect of urbanization, 12th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM2012 Conference Proceedings/ ISSN 1314-2704, June 17-23, 2012, Vol. 3, 721 - 728 pp, DOI: 10.5593/sgem2012/s13.v3027
90. Saltelli, Andrea. "Sensitivity analysis: Could better methods be used?." *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* (1984–2012) 104.D3 (1999): 3789-3793.
91. Saltelli, A., Tarantola, S., Campolongo, F., & Ratto, M. (2004). *Sensitivity analysis in practice: a guide to assessing scientific models*. John Wiley & Sons.
92. Sophocleous, M. (2002), Interactions between groundwater and surface water: The state of the science, *Hydrogeol. J.*, 10(1), 52–67, doi:10.1007/s10040-001-0170-8.
93. Snyder, Willard M., *The parametric approach to watershed modeling*, Nordic Hydrology, Vol. 2 No. 3 pg. 167–185, IWA Publishing, 1971, doi:10.2166/nh.1971.011
94. Stone Jr., B., 2004. Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. *Landsc. Urban Plann.* 69, 101–113.
95. Stănescu V.A., *Hidrologie Urbană*, Ed. Didactică și Pedagogică, R.A., București, 1995
96. Szydłowski, Michal, and Piotr Zima. "Two-dimensional vertical Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations versus one-dimensional Saint-Venant model for rapidly varied open channel water flow modelling." *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics* 53.4 (2006): 295-309.
97. Ștefănescu Carmen, *Metode de modelare a tenuării scurgerii superficiale prin sisteme de infiltrare artificială pe bazine mici*, Editura Politehnica, Timișoara 2008, ISBN: 978-973-625-714-8
98. Telișcă Marius, *Monitorizarea unor fenomene meteorologice periculoase*, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Hidrotehnică, Geodezie și Ingineria mediului, Iași 2011
99. Thompson S.A, *Hydrology for Water Management*, Balkema, Rotterdam, 1999.
100. Van de Ven, F.H.M.. *Water balance of urban area*, Hydrological Processes and Water Management in Urban Areas, IAHS Publ. no. 198, 1990.
101. Ven Te Chow, *Open-Channel Hydraulics*, International Student Edition, McGraw-Hill Book Company, Inc., 1981, ISBN 0-07-085906-X
102. Wagener, T., and Wheeler, H. S., *Rainfall-runoff modelling in gauged and ungauged catchments*, Imperial College Press, 2004
103. Wainwright, John, and Mark Mulligan, eds. *Environmental modelling: finding simplicity in complexity*. Wiley. com, 2005, ISBN 0-471-49617-0

104. Walsh, Christopher J. "Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration." *Hydrobiologia* 431.2 (2000): 107-114.
105. Wei H, Nearing M. A., Stone J. J., A comprehensive sensitivity analysis framework for model evaluation and improvement using a case study of the rangeland hydrology and erosion model, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Transactions of the ASABE ISSN 0001-2351, Vol. 50(3): 945-953, 2007
106. Weng Q., Modeling urban growth effects on surface runoff with the integration of remote sensing and GIS, *Environ Manage*, 2001 Dec. 28(6), pp 737-748;
107. Wheather, H., Sorooshian , S and Sharma K. D., *Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas*. New York : Cambridge University Press, 2008. 223 p. ISBN-13 978-0-511-37710-5.
108. Woessner, W. W. (2000). Stream and fluvial plain ground water interactions: rescaling hydrogeologic thought. *Ground Water*, 38(3), 423-429.
109. Winter TC, Harvey JW, Franke OL, Alley WM (1998) Ground water and surface water – a single resource. US Geol Surv Circ 1139
110. Wu, J. S., Allan, C. J., Saunders, W. L., and Evett, J. B.1998. "Characterization and pollutant loading estimation for highway runoff." *J. Environ. Eng.*, 1247, 584-592
111. Yang, H., McCoy, E. L., Grewal, P. S., & Dick, W. A. (2010). Dissolved nutrients and atrazine removal by column-scale monophasic and biphasic rain garden model systems. *Chemosphere*, 80(8), 929-934.
112. Young, D. Van Seters, T., Graham, C. 2013. Evaluation of Underground Stormwater Infiltration Systems. Toronto and Region Conservation Authority. Toronto, Ontario.

\*\*\*

113. Administratia Nationala de Meteorologie / Sectia de Climatologie
114. Agenția pentru Protecția Mediului Alba, Raportul privind starea factorilor de mediu pe anul 2011 în județul Alba
115. Anuarul Statistic al României 2009
116. American Chemical Society, *Environmental News*, Environmental Science&Technology / February 15, 2006
117. AQUATIM stiri, Anul 2, Nr. 2, Februarie 2010
118. City's of Portland Stormwater Management Manual, revised in 2008, <http://www.portlandoregon.gov/bes/article/202883>, accesat 29.10.2013
119. Contract CEEX nr. X2C13/2006, DEZVOLTAREA UNUI MODEL HIDROLOGIC PENTRU TERENURILE IN PANTA, coordonator Catalin Simota, [http://www.tiamasg.com/iagint/lucrare\\_X2C13\\_IAGINT.pdf](http://www.tiamasg.com/iagint/lucrare_X2C13_IAGINT.pdf)

## 142 Bibliografie

---

120. Contract 440/22.12.2009. Ghid privind proiectarea și execuția acoperișurilor verzi la clădiri noi și existente. UNIVERSITATEA DE ARHITECTURĂ SI URBANISM "ION MINCU", Colaborator INCERC Bucuresti, Avizat de DIRECȚIA GENERALĂ TEHNICĂ ÎN CONSTRUCȚII A M.D.R.T., (nr. UAUIM-CCPEC 24/2009), Redactarea 1, Iulie 2010.
121. Guvernul României, Ministerul Mediului și Dezvoltării Durabile. Strategia Națională pentru Dezvoltare Durabilă a României Orizonturi 2013-2020-2030, București 2008.
122. Hotărârea de Guvern privind gestionarea deșeurilor provenite din activități de construire și desființare,  
[http://www.araco.org/legislatie/proiecte%20legislative/2010/deseuri%20in%20constructii/proiect%20HG\\_CD%2020%202009%202010%20doc-20.09.pdf](http://www.araco.org/legislatie/proiecte%20legislative/2010/deseuri%20in%20constructii/proiect%20HG_CD%2020%202009%202010%20doc-20.09.pdf), accesat 10 noiembrie 2013.
123. Iowa Stormwater Partnership, Iowa's Rain Garden Design and Installation Manual, May 2008, [www.iowadnr.gov/portals/.../raingardens.pdf](http://www.iowadnr.gov/portals/.../raingardens.pdf);
124. Ministerul Dezvoltării Regionale și Administrației Publice. Strategia de Dezvoltare a Regiunii Centru, 2014-2020. Noiembrie 2013.  
[http://www.adrcentru.ro/Document\\_Files/ADElaborare%20PDR%202014-2020/00001545/055v0\\_STRATEGIA%20REGIUNII%20CENTRU%202014-2020-versiunea%20finala.pdf](http://www.adrcentru.ro/Document_Files/ADElaborare%20PDR%202014-2020/00001545/055v0_STRATEGIA%20REGIUNII%20CENTRU%202014-2020-versiunea%20finala.pdf), accesat 06.01.2014
125. Ministerul Mediului și Schimbărilor Climatice, Raport anual privind Starea Mediului în România pe anul 2010.
126. Ministerul Mediului și Pădurilor. Strategia națională de gestionare a deșeurilor, 17 aprilie 2012. [http://www.mmediu.ro/file/2012-10-26\\_eipsngd.pdf](http://www.mmediu.ro/file/2012-10-26_eipsngd.pdf), accesat 10 noiembrie 2013
127. NCDENR Stormwater BMP Manual, Chapter Revised 07-24-09, Bioretention, July 2007.
128. Organization for Economic Cooperation and Development, Environmental Outlook to 2030, OECD, Paris, 2008.
129. Parteneriatul Global al Apei Comitetul Tehnic (TEC), Bahri, A., Managementul Integrat al Apei Urbane, Elanders, 2012, ISSN: 1652-5396, ISBN: 978-91-85321-87-2
130. Planu urbanistic General 2011, Sebes
131. Proiect: Reamenajare exterioară și reabilitare rețea canalizare pluvială – cartier Mihail Kogălniceanu, Municipiul Sebeș, Proiectant: S.C. Manconstruct S.R.L., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul Sebeș, martie 2006.
132. Proiect: Modernizare strazi Nicolae Iorga, Radu Stanca si Tudor Vladimirescu , Municipiul Sebeș. Proiectant: Proiect Alba S.A., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul Sebeș, august 2010.
133. Proiect: Reabilitare strada Surianu, Municipiul Sebes. Proiectant: S.C. Betarmex S.R.L. , Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul, Sebeș, iulie 2011
134. Proiect: Reamenajare exterioara cartier Lucian Blaga, Municipiul Sebeș, Proiectant: S.C. Theiss Consult S.R.L., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul, Sebeș, 2009

135. The Associated Programme on Flood Management, World Meteorological Organization and Global Water Partnership and URBAN FLOOD RISK MANAGEMENT. A tool for integrated flood management. March 2008. [http://www.apfm.info/pdf/ifm\\_tools/Tools\\_Urban\\_Flood\\_Risk\\_Management.pdf](http://www.apfm.info/pdf/ifm_tools/Tools_Urban_Flood_Risk_Management.pdf)
136. Toronto and Region Conservation, Credit Valley Conservation Authority. LOW IMPACT DEVELOPMENT STORMWATER MANAGEMENT PLANNING AND DESIGN GUIDE, Version 1.0, 2010.
137. User's Guide to SWMM, 13th Ed. (Jan 2011)
138. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Part 630 Hydrology, National Engineering Handbook, Chapter 7 Hydrologic Soil Groups, 210-VI-NEH, May 2007;
139. United States Environmental Protection Agency, National Risk Management Research Laboratory Ada. Estimation of Infiltration Rate in the Vadose Zone: Compilation of Simple Mathematical Models Volume I. OK 74820, EPA/600/R-97/128a, February 1998
140. U.S. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, Climate Protection Partnership Division. Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies, Green roofs.
141. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Population Division, World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. October 2012.
142. DWA-A 138E, Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water, April 2005
143. OUG 114/2007 pentru modificarea si completarea Ordonantei de urgenta a Guvernului nr. 195/2005 privind protectia mediului
144. \*\*\*(2007)SR 1846-2 Canalizări exterioare. Prescripții de proiectare. Partea 2: Determinarea debitelor de ape meteorice .
145. <http://esa.un.org/unpd/wup/CD-ROM/Urban-Rural-Population.htm>
146. <http://www.eea.europa.eu/ro/articles/zona-urbana>
147. <http://water.epa.gov/polwaste/nps/urban/report.cfm>
148. <https://statistici.insse.ro/shop/>
149. [http://www.epa.ohio.gov/portals/35/cso/wet\\_weather\\_flow\\_graphic.jpg](http://www.epa.ohio.gov/portals/35/cso/wet_weather_flow_graphic.jpg)
150. [http://files.dnr.state.mn.us/waters/watermgmt\\_section/shoreland/6120\\_draft\\_April\\_Key\\_Issues.pdf](http://files.dnr.state.mn.us/waters/watermgmt_section/shoreland/6120_draft_April_Key_Issues.pdf)
151. <http://www.aquatim.ro/uploads/file/aqua-stiri/aqua-stiri-nr2-2010.pdf>
152. [http://ricecreekwatershed.govoffice2.com/index.asp?Type=B\\_BASIC&SEC={A630EEFF-5862-4993-8D7B-4B95870921B4}&DE={4FCEE6DE-FE3C-4213-9BA6-B46CBCFF2971}](http://ricecreekwatershed.govoffice2.com/index.asp?Type=B_BASIC&SEC={A630EEFF-5862-4993-8D7B-4B95870921B4}&DE={4FCEE6DE-FE3C-4213-9BA6-B46CBCFF2971})
153. <http://www.epa.gov/heatisd/resources/pdf/GreenRoofsCompendium.pdf>
154. [https://docs.google.com/file/d/0B\\_hajW8VCaihVUZZU3RGQU91bTA/edit?usp=drive\\_web&pli=1](https://docs.google.com/file/d/0B_hajW8VCaihVUZZU3RGQU91bTA/edit?usp=drive_web&pli=1), accesat 30 oct. 2013
155. <http://www.graf-water.com/stormwater-management/stormwater-management/infiltration-tunnel/infiltration-tunnel.html> (accesat: 11 noiembrie 2013)

144 Bibliografie

---

156. <http://www.graf-water.com/stormwater-management/stormwater-management/rain-bloc/rain-bloc-lorry-bearing.html> (accesat: 11 noiembrie 2013)
157. <http://www.weap21.org/index.asp?action=200>
158. <http://www.halcrow.com/isis/>
159. <http://mikebydhi.com/Products/Cities/MIKEURBAN.aspx>
160. [http://water.usgs.gov/cgi-bin/man\\_wrdapp?hspf](http://water.usgs.gov/cgi-bin/man_wrdapp?hspf)
161. <http://www.bentley.com/en-US/Products/StormCAD/>



