

UNIVERSITATEA POLITEHNICA TIMIȘOARA
FACULTATEA DE CONSTRUCȚII
DEPARTAMENTUL HIDROTEHNIC

ing. Ramona-Maria RUSU

REZUMAT
TEZĂ DE DOCTORAT

**CERCETĂRI PRIVIND IMPACTUL
URBANIZĂRII ASUPRA SCURGERILOR
HIDROLOGICE**

Conducător științific:
prof.univ.dr.ing Gheorghe CREȚU

CUPRINS

1.	INTRODUCERE	3
1.1.	Motivația tezei	3
1.2.	Obiective	3
1.3.	Metodologia generală de realizare a proiectului	3
2.	MEDIUL URBAN	4
2.1.	Urbanizarea la nivel mondial	4
2.2.	Dezvoltarea zonelor urbane în România	4
2.3.	Caracteristici ale spațiului urban	4
2.3.1.	Noțiuni generale privind sistemul de canalizare	4
2.3.2.	Caracteristicile solului în spațiu urban	5
2.3.3.	Sistemul hidrologic urban	5
2.3.4.	Inundațiile urbane	5
2.4.	Precipitațiile urbane - Schimbări climatice locale	5
2.5.	Efectul dezvoltării zonelor urbane asupra cursurilor de apă de suprafață	6
3.	SISTEMUL DE DRENAJ PLUVIAL SUSTENABIL	6
3.1.	Unități de bioretenție	7
3.2.	Unități de retenție	7
3.3.	Sisteme subterane pentru infiltrarea apelor în sol	7
4.	MODELAREA PROCESULUI PLOAIE-SCURGERE DE SUPRAFAȚĂ	7
4.1.	Modele ploaie-scurgere de suprafață	8
4.2.	Ecuatii care stau la baza modelelor	8
5.	STUDIU DE CAZ: MUNICIPIUL SEBES, JUD. ALBA	9
5.1.	Prezentarea zonei	9
5.2.	Pregătirea datelor și construirea modelului	10
5.3.	Reducerea debitelor pluviale scurse de pe suprafața orașului	10
5.4.	Rezultate și discuții	11
6.	CONCLUZII FINALE	11
7.	CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE	12

BIBLIOGRAFIE

1. INTRODUCERE

1.1. Motivația tezei

Creșterea 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.

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 [32].

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.

Unele studii pe aceasta tema arată că suprafața impermeabilă se dublează, vârful hidrografului scurgerii de suprafață crește cu 20% [18]; vârfulurile mici ale hidrografelor scurgerii de suprafață sunt mai afectate de mărirea suprafețelor impermeabile decât vârfulurile mai mari [13]. Se poate observa modificări în hidrograful multianual al scurgerilor de suprafață, a vârfului hidrografelor și a frecvenței inundațiilor atunci când suprafețele impermeabile depășesc 35% [10] [16].

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 [24].

„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 și cu efect de seră, etc. De asemenea, este important să se acorde o atenție sporită eficienței energetice a clădirilor” [30].

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.

1.3. 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: (1) Crea un model în SWMM 5.0 a canalizării pluviale existente în municipiul Sebeș; (2) Analiza performanța și identificarea problemelor sistemului de canalizare pluvial existent; (3) Realiza o analiză de sensibilitate a modelului; (4) Examinează impactul suprafețelor impermeabile asupra rezultatelor obținute în urma simulării; (5) 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; (6) Evalua performanța pe termen scurt (un singur eveniment de precipitație) a unităților de retenție/infiltrare implementate.

2. MEDIUL URBAN

2.1. Urbanizarea la nivel mondial

În ultimii 60 de ani populația urbană la nivel mondial 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 [39]. 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.

2.2. Dezvoltarea zonelor urbane în România

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).

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).

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 actuală a orașului. Astfel, în structura urbană, atât de suprafață cât și subterană, găsim influențe din diferite perioade semnificative ale dezvoltării.

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.

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.

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 hidrofizici 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 [31]: 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.

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 [28]. 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.

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

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 intra 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, băltirea apei pe suprafața solului până când condițiile permit reintrarea acesteia în rețeaua de canalizare (Figura 2.10).

2.4. Precipitațiile urbane - Schimbări climatice locale

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 [26].

Prima documentare asupra faptului că zonele urbane induc modificări în precipitațiile atmosferice a fost documentată de Landsberg (1956) în Tulsa, Oklahoma [15].

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 [12], [2], [21] și umiditatea scăzută [7].

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 [19] [27] [20]. Adicional, creșterea suprafețelor impermeabile duce la creșterea temperaturii în cursurile de apă de suprafață [41], la creșterea scurgerilor de suprafață a apei din precipitații, la reducerea debitelor de bază [16] [4] [14] [3] [11] datorită scăderii reîncărcării hidrice a acviferului [16] [41] și la creșterea frecvenței inundațiilor locale [9].

„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” [1].

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 [23].

3. SISTEMUL DE DRENAJ PLUVIAL SUSTENABIL

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.).

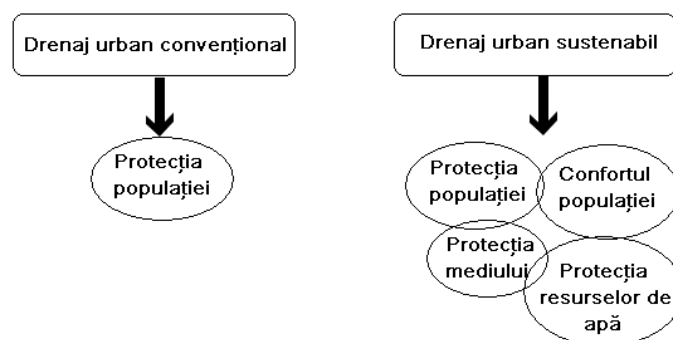


Figura 3.1. Scopul celor două tipuri de drenaje, Drenajul urban convențional și Drenajul urban sustenabil

MIM (Metoda Impactului Minim) [25] 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 (intercepție și facilitarea infiltrației).

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 intercepeze 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 sa 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 [29]; (3) strat de nisip spălat de 5 cm grosime; (4) strat drenant din piatră și tub drenaj.

3.2. Unități de retenție

O soluție comună este construirea de rezervoare care să rețină apa [5], în timpul perioadelor cu precipitații lichide și temperaturi mai mari de 0°C, de pe acoperiș [8] 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 [8].

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.).

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 preliminare, datorită timpului scurt de care se dispune pentru obținerea rezultatelor.

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 sistemului de ape reziduale (IUWS), și pentru a îmbunătăți disponibilitatea datelor și identificarea parametrilor modelului [17].

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

4.2. Ecuații care stau la baza modelelor

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

$$\frac{dV}{dt} = A \frac{dd}{dt} = A \cdot i^* - Q \quad (4.2)$$

unde: V -volumul de apă de pe un sub-arie(m^3); d -adâncimea apei (m); t - timp (sec); A -suprafața sub-arii (m^2); i^* -excesul de precipitații; Q - debitul de ieșire (m^3/s), i^* - precipitația/intensitatea de topire a zăpezii – evaporația/rata de infiltrare

$$Q = W \cdot \frac{1.49}{n} (d - d_p)^{5/3} S^{1/2} \quad (4.3)$$

unde: W - lățimea sub-arii (m); n - coeficientul de rugozitate Manning; d - adâncimea apei (m); d_p - adâncimea zonei depresionare (m); S - pantă sub-arii(m/m)

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):

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (4.4) \quad \text{Ecuația de continuitate}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial (a \frac{Q^2}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 R A} - gA i = 0 \quad (4.5) \quad \text{Ecuația de mișcare}$$

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

În cazul scurgerii uniforme, ecuațiile Saint Venant au forma:

8 Cercetări privind impactul urbanizării asupra scurgerilor hidrologice

$$\frac{\partial Q}{\partial x} - q = 0 \quad (4.6) \quad \text{Ecuația de continuitate}$$

$$\frac{\partial(\alpha \frac{Q}{A})}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 R A} - gAi = 0 \quad (4.7) \quad \text{Ecuația de mișcare}$$

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:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + c \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (4.8)$$

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.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} \quad (4.9)$$

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.

$$S_f = S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v \partial v}{g \partial x} \quad (4.10)$$

5. STUDIU DE CAZ: MUNICIPIUL SEBES, JUD. ALBA

5.1. Descrierea zonei

Sebeșul este un important centru istoric, economic și cultural, așezat în partea de sud a Transilvaniei, pe râul cu același nume, în județul Alba, România, și are peste 33,000 de locuitori. Zona de studiu este vechiul Sebeș, înainte de unirea cu satele din jur Răhău, Lancrăm și Petrești, și are aproximativ 21,000 locuitori.

Canalizarea pluvială este formată din rigole deschise, acoperite sau nu cu grătare de beton sau metalice, și din canale naturale din pământ sau înierbate. 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 - jgheaburi și burlane - direct pe trotuar sau pe teren neamenajat, realizându-și propriul traseu către rețea).

Studiul a fost realizat cu ajutorul software-ului de modelare hidraulică SWMM 5.0, model dezvoltat de EPA (United States Environmental Protection Agency) [38]. 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. [33].

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 prevăzute cu curți pavate sau asfaltate.

5.2. Pregătirea datelor și construirea modelului

Modelul s-a realizat în SWMM 5 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.

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

1. pe baza proiectelor de canalizare existente (Mihail Kogalniceanu, Lucian Blaga, Sureanu, Nicoale Iorga, Radu Stanca și Tudor Vladimirescu) [34] [35] [36] [37];
2. pe baza datelor obținute de la SC APA CTTA SA Sebeș verbal și pe format hârtie, observațiilor și măsurătorilor realizate la fața locului.

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 [22].

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

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

5.3. 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 [40].

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.

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, Dorobanti, Sureanu, Teilor, Horea, Alunelului, Alunului, Plopilor, Tudor Vladimirescu, Rachitei, 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.

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.

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 m² de sisteme pentru dispersia și infiltrarea apelor în sol pentru atingerea condițiilor hidrologice existente în condiții naturale

5.4. 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.

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 [29], manual în care se precizează că în situația în care solul nativ prezintă o rată de infiltrare de 1"/hr 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 acoperişurilor verzi s-a reţinut până la 100% din precipitaţia cu frecvenţa 1 la 10 ani căzută pe suprafaţa acestora, rezultat comparabil cu un acoperiş extensiv tipic.

Sistemele de dispersie şi infiltrare trebuie dimensionate la 3.4% din suprafaţa impermeabilă de pe care se prevede preluarea apei scurse din precipitaţii. În cazul sistemelor de dispersie şi infiltrare este nevoie de o suprafaţă 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 situaţia în care conductivitatea hidrolică 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 şi 3.6 cm/ora (sol din grupa hidrologică B conform USDA).

6. CONCLUZII FINALE

În studiul de faţă s-a realizat o sinteză a modului în care se modelează răspunsul hidrologic al suprafeţei urbane la diferiţi factori (precipitaţii, suprafeţe impermeabile, permeabilitatea solului, stratul vegetal, LID) în situaţia în care nu există date de calibrare.

Modificările în modul de acoperire a terenului din timpul procesului de urbanizare produc schimbări atât în timpul cât şi în magnitudinea proceselor de scurgere a apelor de pe suprafaţa urbană; precipitaţiile căzute pe suprafaţa urbană ajung în cursurile de apă de suprafaţă într-un timp mult mai scurt decât cele căzute pe o suprafaţă de teren neamenajată (mediul natural). Pentru frecvenţe de 1 la 10 ani debitul de apă scursă de pe suprafaţa urbană este de şase ori mai mare faţă de debitul scurs dacă suprafaţa ar fi naturală, diferenţa crescând odată cu creşterea frecvenţei precipitaţiilor. Astfel pentru o precipitaţie cu frecvenţa de 1 la 2 ani debitul scurs ajunge să fie de 150 de ori mai mare. La frecvenţe mari coeficientul de scurgere în condiţii naturale este foarte mic, aproape egal cu zero.

Este evident că determinarea influenţei pe care o are dezvoltarea şi extinderea zonelor urbane asupra debitelor sezoniere şi debitelor de bază a cursurilor de apă de suprafaţă, este o provocare enormă, fiind foarte importantă pentru managementul resurselor de apă, în special în bazinele hidrografice neamenajate.

Unităţile LID sunt practici de actualitate şi eficiente în încercarea stabilirii unui echilibru natural. Ele pot preveni apariţia inundaţiilor urbane, facilita alimentarea acviferului, reduce necesarul de alimentare cu apă a zonei prin sistemul centralizat, creşte confortului termic, pe lângă toate acestea având şi un rol estetic.

Alegerea practicilor LID se face în funcţie de natura solului, nivelul acviferului freatic, modul de utilizare şi acoperire a terenului, suprafaţa impermeabilă pe care o tratează, impactul social care îl au şi de fezabilitatea din punct de vedere economic.

Dimensionarea unităţilor de infiltrare trebuie să se realizeze în urma efectuării unor studii la faţa locului pentru determinarea ratei de infiltrare a solului nativ. Adâncimea se alege în funcţie de adâncimea la care solul are o rată de infiltrare necesară şi astfel încât nivelul acviferului freatic să nu ajungă la unitatea de infiltrare în timpul perioadelor de precipitaţii. În cazul grădinilor de ploaie şi a plantaţiilor stradale trebuie să se ţină cont în dimensionare şi de mediul de creştere folosit. Alegerea tipului de acoperiş se face în funcţie de destinaţie şi de structura clădirii.

Prin amplasarea de unităţi de retenţie/infiltrare a apei pluviale doar în spaţiile verzi ale Sebeşului, nu se ating condiţiile hidrologice existente în ipoteza în care suprafaţa ar fi o zonă naturală. Totuşi, 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 precipitaţie cu frecvenţa de 1 la 10 ani. În această direcţie este nevoie de realizarea de construcţii destinate retenţiei şi/sau infiltrării apei sub drumuri, parcuri, trotuare etc.

După implementarea practicilor de retenţie/infiltrare trebuie să se realizeze o monitorizare permanentă a nivelului acviferului freatic, iar în situaţia în care se observa creşterea nivelului peste nivelul admis, apa de precipitaţii trebuie redirecţionată către sistemul de drenaj al oraşului.

În concluzie putem spune că prin utilizarea practicilor de retenţie/infiltrare repartizate în interiorul zonei urbane ţinând cont de modul de utilizare şi acoperire a terenului, se reduc scurgerile de pe suprafaţa urbană şi creşte debitul de apă infiltrat în sol în timpul precipitaţiilor, până la valori comparabile cu debitele obţinute în ipoteza în care suprafaţa ar fi o suprafaţă cu teren natural. Pentru a obţine rezultate mai realiste este nevoie de calibrarea modelului sau de utilizarea unui set mai mare de date de intrare legate de natura solului şi nivelul apei freactice.

Rezultatele obţinute în prezentul studiu sunt valabile în situaţia 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 freactice sau a primului strat impermeabil este la o adâncime mai mare de 2,2 m în perioada de precipitaţii.

7. CONTRIBUȚII PERSONALE ȘI PERSPECTIVE VIITOARE DE CERCETARE

- sinteza bibliografică a literaturii de specialitate cu privire la: problemele existente pe plan mondial, modelarea proceselor ploaie-scurgere de suprafață și infiltrare și a "Practicilor de Management" utilizate în țările dezvoltate pentru reducerea debitelor scurse de pe suprafață provenite din precipitații în scopul prevenirii inundațiilor urbane, cât și pentru facilitarea infiltrării apei în sol în scopul creșterii resurselor de apă subterane.
- studiul zonei, a istoricului, a situației existente și perspectivei privind rețeaua de canalizare a orașului Sebeș;
- crearea hărții cu sistemul de drenaj pluvial existent;
- analiza modului de acoperire și utilizare a terenului în Sebeș;
- determinarea rutelor de curgere a apei provenită din precipitațiile căzute pe suprafața orașului;
- determinarea precipitațiilor de calcul în urma prelucrării statistice prin metoda Gumbel a șirului de date de precipitații zilnice pe 30 de ani obținute de la ANR.
- alegerea tipului de unitate de retenție/infiltrare care poate fi implementată în fiecare zonă (cartiere rezidențiale, cartiere de blocul, zone comerciale și industriale etc.) prin analiza suprafeței urbane și în funcție de modul de acoperire și utilizare a terenului
- obținerea bilanțului urban al apei pluviale pentru situația existentă, ipoteza în care suprafața studiată a fi o suprafață naturală și pentru trei scenarii cu unități de retenție/infiltrare distribuite în interiorul zonei
- în urma analizei rezultatelor obținute s-a determinat modul de dimensionare a unităților de infiltrare a apei, în funcție de tipul acestora, de suprafața impermeabilă de pe care preia apa și condițiile de implementare necesare.

Bibliografie

1. 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 BEHAVIOR1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 40(5), 1351-1364.
2. Bornstein, Robert, and Qinglu Lin. "Urban heat islands and summertime convective thunderstorms in Atlanta: three case studies." *Atmospheric Environment* 34.3 (2000): 507-516.
3. 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.
4. Brandes, D., Cavallo, G. J., & Nilson, M. L. (2005). Base Flow Trends in Urbanizing Watersheds of the Delaware River Basin1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 41(6), 1377-1391.
5. 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
6. 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.
7. 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.
8. Guo, Yiping, and Brian W. Baetz. "Sizing of rainwater storage units for green building applications." *Journal of Hydrologic Engineering* 12.2 (2007): 197-205.
9. Hall, M.J., *Urban Hydrology*, Elsevier applied science publishers, New York, 1984.
10. 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;

12 Cercetări privind impactul urbanizării asupra scurgerilor hidrologice

11. 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.
 12. Huff, F. A., and S. A. Changnon Jr. "Precipitation modification by major urban areas." *Bulletin of the American Meteorological Society* 54 (1973): 1220-1220.
 13. 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.
 14. 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.
 15. 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.
 16. Moscrip, A.L., Montgomery, D.R., 1997. Urbanization flood, frequency and salmon abundance in Puget Lowland Streams. *Journal of the American Water Resources Association* 33 (6), 1289-1297
 17. 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
 18. 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;
 19. Novotny, Vladimir, and John W. Witte. "Ascertaining aquatic ecological risks of urban stormwater discharges." *Water Research* 31.10 (1997): 2573-2585.
 20. 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.
 21. 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.
 22. **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.
 23. Stone Jr., B., 2004. Paving over paradise: how land use regulations promote residential imperviousness. *Landsc. Urban Plann.* 69, 101-113.
 24. Stănescu V.A., *Hidrologie Urbană*, Ed. Didactică și Pedagogică, R.A., București, 1995
 25. 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
 26. Telișcă Marius, *Monitorizarea unor fenomene meteorologice periculoase*, Universitatea Tehnică Gheorghe Asachi din Iași, Facultatea de Hidrotehnică, Geodezie și Ingineria mediului, Iași 2011
 27. Walsh, Christopher J. "Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration." *Hydrobiologia* 431.2 (2000): 107-114.
- ***
28. 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
 29. Iowa Stormwater Partnership, Iowa's Rain Garden Design and Installation Manual, May 2008, www.iowadnr.gov/portals/.../raingardens.pdf;
 30. 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, accesat 06.01.2014
31. Ministerul Mediului și Pădurilor. Strategia națională de gestionare a deșeurilor, 17 aprilie 2012. http://www.mmediu.ro/file/2012-10-26_eipsngd.pdf, accesat 10 noiembrie 2013
 32. Organization for Economic Cooperation and Development, Environmental Outlook to 2030, OECD, Paris, 2008.
 33. Planu urbanistic General 2011, Sebes
 34. Proiect: Reamenajare exterioară și reabilitare rețea canalizare pluvială – cartier Mihail Kogălniceanu, Municipiul Sebeș, Proiectant: S.C. Manconstruct S.R.L., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul Sebes, martie 2006.
 35. Proiect: Modernizare strazi Nicolae Iorga, Radu Stanca si Tudor Vladimirescu , Municipiul Sebeș. Proiectant: Proiect Alba S.A., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul Sebes, august 2010.
 36. Proiect: Reabilitare strada Surianu, Municipiul Sebes. Proiectant: S.C. Betarmex S.R.L. , Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul, Sebeș, iulie 2011
 37. Proiect: Reamenajare exterioara cartier Lucian Blaga, Municipiul Sebeș, Proiectant: S.C. Theiss Consult S.R.L., Beneficiar: Consiliul Local, Municipiul, Sebeș, 2009
 38. User's Guide to SWMM, 13th Ed. (Jan 2011)
 39. United Nations, Department of Economic and Social Affairs. Population Division, World Urbanization Prospects: The 2011 Revision. October 2012.
 40. DWA-A 138E, Planning, Construction and Operation of Facilities for the Percolation of Precipitation Water, April 2005
 41. http://files.dnr.state.mn.us/waters/watermgmt_section/shoreland/6120_draft_April_Key_Issues.pdf