

UNIVERSITATEA “BABEȘ-BOLYAI” CLUJ-NAPOCA

FACULTATEA DE GEOGRAFIE

TEZĂ DE DOCTORAT

- Rezumat –

**STUDIU DE HIDROLOGIE URBANĂ A MUNICIPIULUI
CLUJ-NAPOCA ASISTATĂ DE GIS ȘI DE TELEDETECȚIE**

Coordonator științific:

Prof. univ. dr. Haidu Ionel

Doctorand:

IVAN Kinga

Cluj-Napoca, 2015

CUPRINS

CUPRINS	1
1. INTRODUCERE	3
1. 1 Motivația și obiectivele cercetării	3
1. 2 Localizarea geografică a zonei de studiu	4
2. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE	5
2.1 Studiul rețelelor de scurgere a apei de la suprafața arealului urban	5
2.2 Studiul suprafețelor impermeabile	6
2.3 Studiul calității apei pluviale urbane	7
2.4 Studiul tehnicilor alternative în managementul apei pluviale urbane	7
3. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE	8
3.1 Baza de date cartografică	8
3.2 Baza de date digitală	9
3.3 Baza de date numerică	11
4. SISTEMUL DE DRENAJ URBAN	11
4.1 Sursele de producere a scurgerii pe suprafața arealului urban	12
4.2 Factorii care influențează scurgerea apei pluviale urbane	12
4.3 Componentele sistemului de drenaj	13
4.4 Sistemele moderne de drenaj	13
5. DETERMINAREA SUPRAFETELOR IMPERMEABILE ÎN CADRUL UNUI AREAL URBAN	15
5.1 Metodologia de determinare a Suprafețelor Total Impermeabile	16
5.2 Metodologia de determinare a Suprafețelor Efectiv Impermeabile	18
5.3. Analiza spațio-temporală a suprafețelor impermeabile în municipiul Cluj-Napoca	19
5.4 Validarea rezultatelor tematice	20
6. EVALUAREA RĂSPUNSULUI HIDROLOGIC LA EVOLUȚIA SPAȚIO-TEMPORALĂ A SUPRAFETELOR IMPERMEABILE	21
6.1 Descrierea subbazinelor de scurgere	21
6.2. Datele de intrare necesare modelării	21
6.3. Metodologia de evaluare a răspunsului hidrologic la creșterea suprafețelor impermeabile	22
6.4. Impactul creșterii suprafețelor impermeabile asupra scurgerii de suprafață	24
6.5 Analiza statistică a rezultatelor	25
7. IDENTIFICAREA REȚELELOR DE SCURGERE A APEI DE LA SUPRAFAȚA AREALULUI URBAN	26
7.1. Modelarea fluxurilor de apă de la suprafața terenului	27
7.2 Aplicații Cluj-Napoca	29
8. EVALUAREA CALITĂȚII APEI PLUVIALE ACUMULATĂ PE SUPRAFAȚA AREALULUI URBAN	32
8.1. Poluarea urbană	33
8.2. Metodologia de evaluare a calității apei pluviale de la suprafața arealului urban	33
8.3 Analiza Componentelor Principale	35

8.4 Identificarea sursei poluanților pe perioade de timp	36
8.5 Evaluarea gradului de poluare a apei pluviale de pe suprafața drumurilor	38
9. MANAGEMENTUL APEI PLUVIALE ÎN VEDEREA REDUCERII VOLUMULUI DE APĂ SCURS ȘI ÎMBUNĂTĂȚIREA CALITĂȚII APEI DE LA SUPRAFAȚA AREALUL URBAN	41
9.1. Metodologia de estimare a volumului de apă scurs de pe o zonă de captare impermeabilă (acoperișuri)	41
9.2. Potențialul de apă scurs de pe acoperișurile clădirilor, estimată pe zile și luni	42
CONCLUZII	44
BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ	45

Cuvinte cheie: suprafețe impermeabile, HEC-HMS, căi preferențiale de scurgere, zone depresionare, calitatea apei pluviale de suprafață, Cluj-Napoca.

1. INTRODUCERE

Hidrologia urbană ca ramură a hidrologiei, studiază ciclul hidrologic, regimul și calitatea apei în cadrul arealelor urbanizate. Apa pluvială scursă și acumulată pe suprafața arealului urban este influențată în mod direct de natura suprafețelor. Suprafețele impermeabile au cunoscut o extindere remarcabilă în ultima perioadă, care se datorează în primul rând procesului de urbanizare. Pe fondul creșterii populației urbane și a extinderii suprafețelor impermeabile, asistăm în prezent la creșterea volumului de apă scurs și la degradarea calității apei de suprafață.

1.1 Motivația și obiectivele cercetării

Motivația alegerii acestei teme de cercetare se regăsește în dorința de a contura o imagine retrospectivă și actuală, asupra scurgerii și acumulării apei pluviale în mediul urban, în contextul urbanizării și industrializării, respectiv asupra calității apei pluviale de suprafață. Lucrarea de față se axează, în mod special, pe studierea apei pluviale scurse și acumulate pe suprafața arealului urban, prin utilizarea tehnicilor GIS și a Teledetecției.

Obiectivele principale urmărite în cadrul studiului sunt:

- extragerea suprafețelor permeabile și impermeabile pe baza imaginilor satelitare, pentru perioada cuprinsă între 1986-2014, pentru a oferi o imagine de ansamblu asupra extinderii spațiului urban;
- evaluarea răspunsului hidrologic la variabilitatea suprafețelor impermeabile pentru perioada cuprinsă între 1986-2014, pentru a evidenția impactul urbanizării asupra scurgerii de suprafață;
- delimitarea zonelor depresionare pe lunca, versantul și interfluviul urbanizat din Cluj-Napoca și a fluxurilor de apă pe baza unui Model Digital de Elevație (DEM) și Model Digital de Suprafață (DSM), în vederea conturării zonelor expuse la inundații urbane;
- analizarea calității apei pluviale acumulate pe suprafața arealului urban, pentru a oferi informații reale asupra gradului de degradare a apei pluviale din arealul urban;
- estimarea volumului de apă scurs de pe acoperișuri, în vederea colectării și stocării ei ulterioare.

Pe baza acestor obiective, lucrarea s-a structurat pe nouă capitole principale conturate după cum urmează: stabilirea obiectivelor cercetării – stadiului cunoașterii

temelor de cercetare – constituirea bazei de date – prezentarea sistemului de drenaj urban – extragerea suprafețelor impermeabile pe baza imaginilor satelitare pentru perioada 1986 – 2014 – determinarea răspunsului hidrologic la variabilitatea suprafețelor impermeabile – identificarea căilor preferențiale de scurgere și a zonelor depresionare de la suprafața arealului urban - evaluarea calității apei pluviale acumulate pe suprafața arealului urban – prezentarea și implementarea unor tehnici în vederea reducerii volumului de apă scurs și pentru îmbunătățirea calității apei pluviale de suprafață.

1. 2 Localizarea geografică a zonei de studiu

Municipiul Cluj-Napoca este localizat în Europa de Sud-Est, în partea nord-vestică a României ($46^{\circ} 46' N$ și $23^{\circ} 36' E$), în zona centrală a Transilvaniei la o altitudine medie de 360 m.

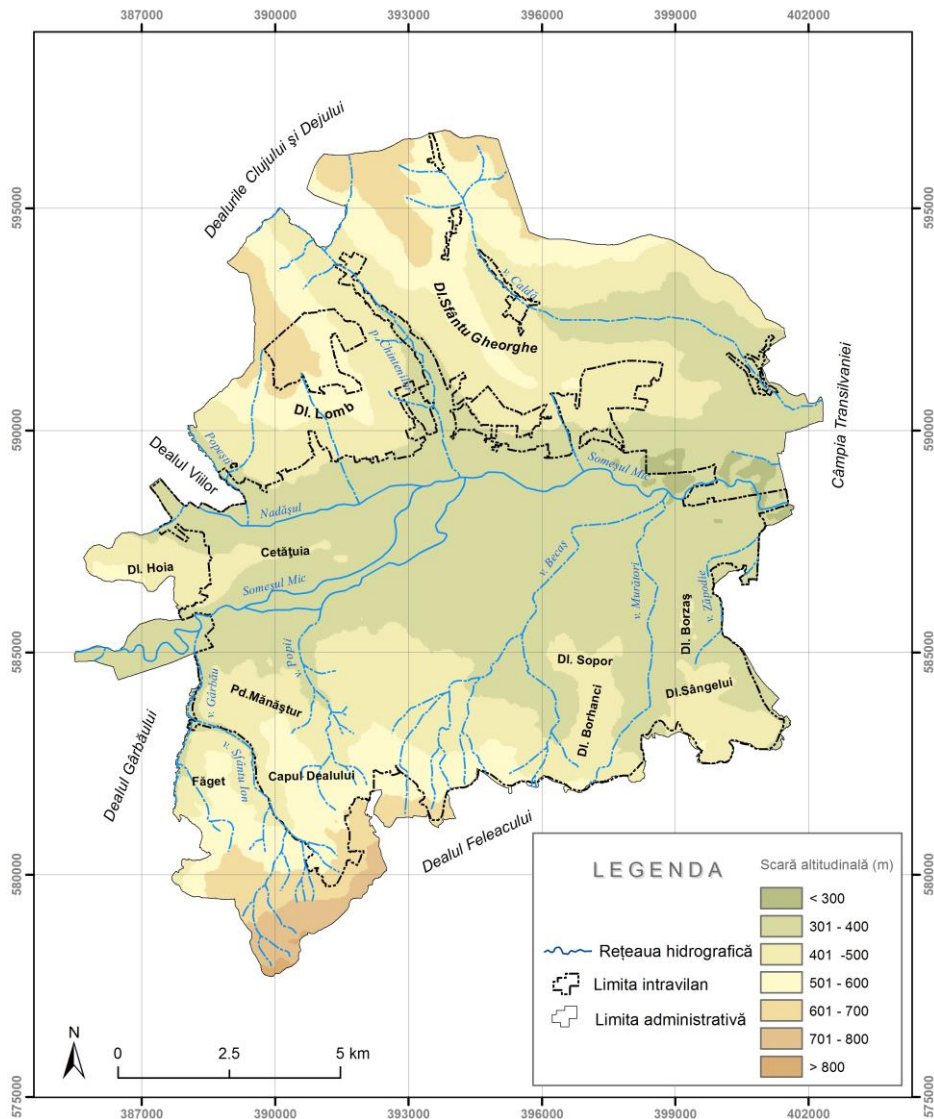


Fig. 1. 1 Harta hipsometrică, Cluj-Napoca.

Orașul este dezvoltat de-a lungul râului Someșul Mic în special pe direcția vest-est, dar și lateral pe terasele Someșului, la zona de contact dintre Munții Apuseni, Podișul Someșan și Câmpia Transilvaniei. Se extinde, de asemenea, de-a lungul râului Nadăș și pe văile secundare, ale Chintenilor, Popeștiului și Popii (Fig. 1.1). Așezarea geografică a municipiului este resimțită în caracteristicile climatice ale orașului, acestea fiind continental moderate cu veri călduroase și ierni în general lipsite de viscole.

Conform datelor statistice furnizate de Institutul Național de Statistică (INS, 2015) populația municipiului Cluj-Napoca în anul 2014 a fost de 320547 locuitori, iar a județului Cluj de 718633 locuitori. Populația municipiului Cluj-Napoca a cunoscut o creștere de aproximativ 3% în perioada 1986-2000 și de 2% în perioada 2005-2014, respectiv o scădere de aproximativ -1.7% în perioada 2000-2005.

Dezvoltarea și dinamica urbană imprimă o modificare permanentă a structurii inițiale a municipiului. Tipul de acoperire a terenului din cadrul municipiului influențează în mod direct scurgerea apei de la suprafața terenului, fiind o variabilă importantă în cadrul unui studiu de hidrologie urbană.

2. STADIUL CUNOAȘTERII TEMEI DE CERCETARE

Arealele urbane se confruntă în prezent cu inundații pluviale tot mai frecvente, datorate precipitațiilor torențiale sau incapacității rețelei de canalizare de a colecta apa pluvială. În acest context tot mai multe lucrări au început să se orienteze pe studierea regimului și calității apei din mediul urban.

2.1 Studiul rețelelor de scurgere a apei de la suprafața arealului urban

Formarea și concentrarea scurgerii în mediul urban este condiționat de pante, iar în urma producerii unei ploi însemnate începe procesul de infiltrare a apei, iar în cazul de depășire a capacității de infiltrare a apei în sol, în micile depresiuni ale terenului începe acumularea apei și pe versanți începe scurgerea apei în sensul liniilor de cea mai mare pantă a terenului.

Modelul Digital de Elevație (Biali, 2012, Biali et al., 2013) deține un rol important în conturarea rețelelor de la suprafața terenului (Haidu și Ivan, 2016 a). O metodă de modelare a apelor de la suprafața terenului pe baza DEM-ului, este tehnica *GIS screening*, care este descrisă și implementată de către DEFRA (Department for Environment, Food and Rural Affairs) în 2008 în cadrul proiectului *Integrated Urban Drainage Pilot Study* -

River Hogsmill Catchment. În cadrul acestui proiect metodologia utilizată în determinarea căilor de transport a apei s-a realizat pe baza tehnicii *rolling ball*, iar zonele de depresionare pe baza *Contour Polygon Screening*. Tehnica *rolling ball* a fost introdusă de către O'Callaghan și Mark (1984) și a fost utilizată în numeroase studii în delimitarea automată a rețelelor de scurgere pe baza DEM de către Dobos și Daroussin (2005); Evans (2008); Jenson și Domingue (1988); Liu și Zhang (2010); Pourali et al. (2014); Tarboton și Ames (2001). Metoda *Contour Polygon Screening* (DEFRA, 2008) a fost utilizată și de către Podobnikar (2012) pentru delimitarea automată pe baza DEM și GIS a vârfurilor montane, De Carvalho et al. (2013) în detectarea depresiunilor carstice pe baza a trei DEM diferite, ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) și ALOS/PRISM (Advanced Land Observing Satellite).

2.2 Studiul suprafețelor impermeabile

Urbanizarea și industrializarea au condus de-a lungul timpului la extinderea spațiului urban, respectiv a zonelor construite. Toate acestea au determinat creșterea suprafețelor impermeabile în arealele urbane.

În numeroase studii analizarea variabilității suprafețelor impermeabile pentru o perioadă mai lungă de timp s-a realizat cu ajutorul teledetecției. Teledetecția permite obținerea rapidă a informațiilor privind structura și extinderea orașului de-a lungul timpului (Haidu și Ivan, 2016 b).

Dintre metodele cele mai utilizate pentru extragerea suprafețelor impermeabile, pe baza datelor obținute prin teledetecție, am putea aminti metoda Linear Spectral Mixture Analysis (LSMA) (Deng et al., 2012; Lu și Weng, 2009; Lu et al., 2012; Lu et al., 2008; Lu și Weng, 2006; Yuan și Bauer, 2007), metode de clasificare supervizată Maximum Likelihood (Hodgson et al., 2003; Parece și Campbell, 2013; Xu, 2007; Weng, 2001) și tehnica MESMA-Multiple Endmember Spectral Mixture Analysis (Shahtahmassebi et al., 2012).

Pe baza metodelor amintite și a imaginilor obținute prin teledetecție se pot determina Suprafețele Total Impermeabile/Total Impervious Area (TIA) și Suprafețele Efectiv Impermeabile/Effective Impervious Area (EIA). EIA reprezintă o porțiune din TIA din cadrul unui bazin direct conectat hidraulic la rețeaua de drenaj (străzi, drumuri de acces, locuri de parcare, acoperișuri) și se pot estima pe baza ecuațiilor dezvoltate de

Sutherland, (2000). În cadrul lucrării *Methods for Estimating the Effective Impervious Area of Urban Watersheds* (Sutherland, 2000) este descrisă metodologia de estimare a EIA prin dezvoltarea a șase ecuații, larg utilizate în cadrul a numeroaselor studii.

Evaluarea impactului indus de creșterea suprafețelor impermeabile asupra scurgerii de suprafață, poate fi analizat pe baza modelului Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Acest model permite evaluarea răspunsului hidrologic la schimbările survenite în tipul de acoperire a terenului pentru o perioadă mai lungă de timp.

2.3 Studiul calității apei pluviale urbane

În prezent există tot mai multe preocupări asupra evaluării calității apei urbane de suprafață (râuri, lacuri, canale sau estuare) (Ivan et al., 2016). Verile uscate sau perioadele uscate dintre evenimente ploioase, permit acumularea poluanților pe rețelele rutiere și pe alte suprafețe impermeabile.

O preocupare asupra evaluării poluanților acumulați pe suprafața drumului în diferite vârfuri orare de trafic și localizate în areale cu diferite tipuri de utilizare a terenului le-au avut Mahbub et al. (2001), iar pentru diferite sezoane de către Hilliges et al. (2013); Helmreich et al. (2010); Westerlund et al. (2003). În studiul realizat de Bannerman et al. (1993) s-a evaluat calitatea apei de pe drumuri (principale și secundare), parcuri, acoperișuri și trotuare pentru trei zone diferite, rezidențial, comercial și industrial. Preocupări privind evaluarea calității apei de pe suprafața drumurilor le-au avut Eckley și Branfireun (2009); Egodawatta et al. (2007); Egodawatta și Goonetilleke (2008); Herngren et al. (2005), simulând cantitatea, intensitatea și durata precipitațiilor cu ajutorul unui simulator de precipitații.

2.4 Studiul tehnicilor alternative în managementul apei pluviale urbane

Suprafețele impermeabile reprezentate de rețeaua de drumuri, trotuare, acoperișuri sau parcuri constituie sursa principală a poluării apei pluviale urbane în special la primul eveniment de spălare. În vederea reducerii volumului de apă scurs la suprafața arealului urban și îmbunătățirii calității apei, trebuie implementate anumite soluții, cum ar fi extinderea suprafețelor permeabile sau implementarea unor tehnici de captare și stocare a apei pluviale (Haidu și Ivan, 2015).

O metodă alternativă de îmbunătățire a calității apei scurse sau acumulate pe suprafața arealului urban, precum și reducerea volumului de apă scurs o reprezintă colectarea și stocarea apei pluviale de pe acoperișuri.

În estimarea volumului de apă scurs de pe o zonă de captare impermeabilă (acoperișuri) se poate recurge la utilizarea modelului Michel Simplified SCS-CN, dezvoltat pe baza modelului SCS-CN, care poate fi aplicat pentru suprafețele complet impermeabile.

3. CONSTITUIREA BAZEI DE DATE

Constituirea bazei de date a reprezentat prima și cea mai importantă etapă în cadrul studiului de față. În urma achiziției, prelucrării și analizării unui set complex de date din diverse domenii, ne-a permis realizarea bazei de date specifice temei cercetate.

3.1 Baza de date cartografică

În cadrul studiului de față am recurs la utilizarea hărților pentru extragerea informațiilor altitudinale corespunzătoare zonei de studiu, respectiv pentru obținerea unor informații privind caracteristicile existente de la suprafața terenului (clădiri, drumuri, trotuare, guri de scurgere a apei).

- *Planurile topografice scara 1:5000*

Am folosit planurilor topografice (IGFCOT, 1974), cu conținut mare de detaliu, în vederea obținerii unui DEM cu o precizie cât mai ridicată. Foile de hartă utilizate au fost:

- L-34-048-C-a-2-III; L-34-048-C-a-2-IV;
- L-34-048-C-a-3-II; L-34-048-C-a-3-IV;
- L-34-048-C-a-4-I; L-34-048-C-a-4-II; L-34-048-C-a-4-III; L-34-048-C-a-4-IV;
- L-34-048-C-b-3-II; L-34-048-C-b-3-III;
- L-34-048-C-c-2-I; L-34-048-C-c-2-II;

Extragerea datelor altitudinale de pe aceste foi de hartă a presupus în primul rând georeferențierea acestora folosind sistemul de proiecție *Stereo 70*, iar ulterior digitizarea curbelor de nivel.

- *Planurile topografice scara 1:500*

Pe baza planurilor topografice 1:500 (GEONET, 2004) au fost extrase următoarele elemente caracteristice zonei de studiu: clădirile, rețeaua de străzi și trotuare, gurile de scurgere a apei pluviale. Aceste straturi tematice au fost folosite în realizarea Modelului Digital de Suprafața (clădirile), în observarea căilor de scurgere pe care le urmează apa la suprafața terenului (rețeaua de străzi și trotuare), respectiv a locațiilor unde apa are tendința de a se acumula (proximitatea gurilor de scurgere).

- *Hărțile topografice scara 1:25000*

Pe baza hărților topografice cu scara 1:25000 au fost digitizate, curbele de nivel și punctele de cotă, în vederea obținerii unui set de date altitudinale cu o rezoluție spațială mai mică.

3.2 Baza de date digitală

Datele digitale constituie suportul analizării spațiale și a modelării GIS în vederea obținerii rezultatelor preconizate.

- *Modelul Digital de Elevație*

În studiul de față Modelul Digital de Elevație a fost realizat prin metoda de interpolare *Topo to Raster* pe baza valorilor altitudinale ale curbelor de nivel și a punctelor de cotă, obținute prin digitizarea manuală a acestora de pe planurile topografice 1:5000, respectiv de pe hărțile topografice 1:25000.

În vederea evidențierii modului în care rezoluția DEM-ului influențează delimitarea fluxurilor de apă în mediul urban, acestea au fost identificate pe baza a patru seturi de date altitudinale cu rezoluții spațiale diferite: DEM (5 x 5 m), DEM (20 x 20 m), ASTER GDEM (30 m) și SRTM (90 m). Pe baza DEM (5 x 5 m) folosind unele straturi tematice (clădirile) a fost realizat Modelul Digital de Suprafață.

- *Modelul Digital de Suprafață*

Modelul Digital de Suprafață a fost realizat pe baza Modelului Digital de Elevație (5 x 5 m) și a clădirilor vectorizate de pe planurile topografice 1:500.

Modelului Digital de Suprafață astfel obținut redă pe lângă reprezentarea numerică a suprafeței terenului și înălțimea clădirilor din arealul de studiu (Fig. 3.1). Pe lângă aceste

date altitudinale în vederea obținerii DSM-ului se pot folosi și alte înălțimi ale elementelor (gardurile de beton sau bordurile rutiere) care pot influența semnificativ scurgerea apei la suprafața terenului.

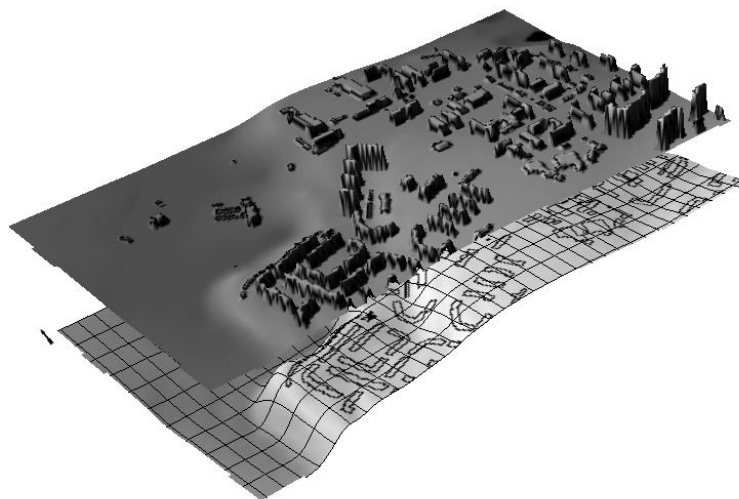


Fig. 3. 1 Reprezentarea Modelului Digital de Suprafață (DSM).

- *Imaginile satelitare*

Identificarea schimbărilor survenite de-a lungul timpului în ceea ce privește modul de acoperire a terenului din Cluj-Napoca a fost realizată pe baza datelor obținute prin teledetecție

Imaginile satelitare utilizate în cadrul studiului au fost procurate gratuit din baza de date USGS (USGS, 2014) pentru patru ani diferiți (08 august 1986, 21 aprilie 1993, 28 august 2002 și 14 martie 2014). Aceste scene au fost selectate din imagini Landsat 5, Landsat 7 și Landsat 8 (Path 185 / Row 27), toate cu o rezoluție spațială de 30 m. Pentru validarea rezultatelor au fost utilizate imagini din arhiva Google Earth (Google Earth, 2014) corespunzător anilor 2002 și 2014.

- *Setul de date GMES Urban Atlas*

Sursa de date GMES Urban Atlas 2009 (GMES, 2009) realizată la scara 1:10.000 a fost utilizată pentru analizarea modului de utilizare a terenurilor din municipiul Cluj-Napoca. Setul de date GMES Urban Atlas a fost utilizat în vederea determinării indicelui

Curve Number (CN), necesară pentru estimarea volumului de apă scurs de la suprafața arealului urban.

- *Setul de date SIGSTAR-200*

Setul de date GIS al Solurilor României *SIGSTAR-200* (SIGSTAR, 2011) a constituit suportul pentru realizarea straturilor tematice referitoare la tipul de sol, textura și grupa hidrologică de sol pentru municipiul Cluj-Napoca.

- *Măsurători GPS și probe de apă*

Măsurătorile GPS au fost realizate pentru a localiza zonele de eșantionare în vederea evaluării calității apei pluviale acumulată la suprafața arealului urban și au fost localizate zonele depresionare de acumulare a apei pluviale în urma unor precipitații torențiale.

3.3 Baza de date numerică

Datele numerice utilizate în cadrul studiului de față au fost cele meteorologice și demografice.

- *date meteorologice*

Din cadrul datelor meteorologice în vederea estimării volumului de apă scurs la suprafața terenului, respectiv a acoperișurilor au fost folosite date zilnice de precipitații, obținute din cadrul bazei de date ECA&D (European Climate Assessment & Dataset).

- *date demografice*

Datele demografice au fost utilizate în vederea analizării evoluției numerice a populației municipiului Cluj-Napoca, respectiv în analizarea procesului de urbanizare din județul Cluj. Toate aceste date au fost obținute din baza de date a Institutului Național de Statistică (INS, 2015).

4. SISTEMUL DE DRENAJ URBAN

Urbanizarea și industrializarea au condus la creșterea suprafețelor impermeabile (trotuare, parcuri, suprafețe construite) în arealul urban. Această extindere a spațiului urban influențează în mod direct volumul de apă scurs, conduce la creșterea riscului de producere

a inundațiilor pluviale și la degradarea calității apei. Datorită volumului de apă scurs tot mai mare, capacitatea sistemului de drenaj (șanțuri, canale de drenaj sau rețea de canalizare) de multe ori este depășită.

4.1 Sursele de producere a scurgerii pe suprafața arealului urban

Așezarea urbană pe lângă apa colectată de pe suprafața acesteia este afectată și de apa provenită din zonele sale limitrofe și de creșterea nivelului râului care curge prin oraș. Sistemele de drenaj din zona urbană trebuie să asigure evacuarea apei în situația scurgerii apei pluviale de pe suprafața arealului urban, transferul apei de pe arealele situate în amonte și în situația pătrunderii apei dintr-un curs de apă situat în aval (Stănescu, 1995).

Analiza sistemelor de drenaj din municipiul Cluj-Napoca a evidențiat o posibilă producerea a primelor două situații, iar acestea se pot produce în funcție de relațiile spațio-temporale existente între suprafața urbană și suprafețele limitrofe. Pe lângă aceste surse naturale de producere a scurgerii se adaugă sursele antropice: apele uzate menajere și industrial, apele care intră accidental în sistemul de drenaj și care nu beneficiază de o scurgere controlate (Conțiu, 2007).

4.2 Factorii care influențează scurgerea apei pluviale urbane

Pe suprafețele urbane scurgerea apei pluviale este influențată atât de factori naturali, cât și de cei antropici.

Unul dintre factorii naturali generatori ai scurgerii apei pe suprafața urbană sunt precipitațiile, morfologia terenului, vegetația și cuvertura solului. Morfologia terenului și panta terenului dețin un rol important în apariția căilor preferențiale de circulație a apei și a locațiilor de acumulare a apei de la suprafața terenului. Vegetația și cuvertura solului deține un rol important în drenajul apei.

Din cadrul factorilor antropici un rol important prezintă șoselele, trotuarele, care constituie adevărate căi de circulație a șuvoaielor de apă de pe suprafața urbanizată a orașului. În timpul precipitațiilor abundente anumite obiecte prezente la suprafața terenului pot deveni adevărate obstacole în calea apei, ceea ce crește riscul producerii inundațiilor. Un asemenea caz îl reprezintă materialele care se pot acumula la nivelul gurii de scurgere a apei și care pot bloca pătrunderea apei în sistemul de drenaj subteran.

4.3 Componentele sistemului de drenaj

Sistemul de drenaj din municipiul Cluj-Napoca, prezintă două forme: una organizată care permite controlul și managementul apei și una neorganizată care este mai dificil de controlat.

Sistemul de drenaj organizat este constituit canalele de derivați, rețeaua de canalizare propriu-zisă a orașului, linia de protecție a orașului față de viituri, elemente de evacuare gravitațională a apei în emisare (Stănescu, 1995).

- *Rețeaua de canalizare*

Ca sistem de drenaj organizat, rețeaua de canalizare din municipiul Cluj-Napoca are o lungime de 385 km, urmărește traseul rețelei de distribuție a apei în majoritatea zonelor. Aceasta funcționează gravitațional, apele uzate și cele meteorice sunt colectate și evacuate printr-o rețea de canalizare de tip unitar în proporție de 80% și de tip separativ în proporție de 20%. Tendința sistemului de canalizare este acela de extindere continuă în scopul de a asigura un drenaj cât mai eficient pentru întreg arealul urban.

În cadrul sistemelor de drenaj organizat pot fi amintite și cursurile de apă, acestea fiind forme naturale de concentrare a scurgerii. Principalul curs de apă râul Someșul Mic, prezintă un grad de amenajare ridicat și traversează municipiul pe o lungime de 16 km de la vest la est.

Sistemele de drenaj neorganizate sunt reprezentate de arealele care prezintă rată de infiltrație ridicată: grădini, curți cu suprafețe permeabile, străzi neamenajate, zone urbane fără canalizare (Coțiu, 2007). Aceste areale reprezintă de fapt suprafețele permeabile din arealul urban și sunt caracterizate de rate ridicate ale infiltrației, iar pe cuprinsul acestor suprafețe drenajul apei este greu de controlat.

4.4 Sistemele moderne de drenaj

Posibilitatea de control a scurgerii apei pluviale pe suprafața urbană se poate realiza prin tehnici moderne de receptare, transport și evacuare a apei pe lângă cele tradiționale. Tehnicile alternative pot fi amplasate la nivelul clădirii, la nivelul curții și la nivelul cartierului (Zaharia, 2006).

- *Tehnici la nivelul clădirilor*

La scara spațială a clădirilor pot fi adaptate diferite tehnici: la nivelul acoperișurilor sau în rezervoare adiacente imobilului.

- *acoperișurile verzi*

Dețin un rol deosebit în reducerea volumului de apă scurs de pe acoperișuri și contribuie la îmbunătățirea calității apei de la suprafața arealului urban.

- *sistem de colectare a apei pluviale în recipiente*

Aceste sisteme dețin un rol important în reducerea volumului de apă scurs și permit reutilizarea apei colectate pentru uz rezidențial sau comercial (irigare, spălarea curții).

- ***Tehnici la nivelul curților***

La nivelul curților se pot aplica tehnici de stocarea apei sau de infiltrare a apei.

- *bazinul de infiltrare*

Permit transferul apei pluviale în subteran și datorită filtrării apei prin intermediul solului se asigură o îmbunătățire a calității apei (UA CDC, 2010).

- ***Tehnici la nivelul cartierelor***

În cadrul cartierelor pot fi amenajate tehnici la nivelul străzilor sau la nivelul spațiilor neconstruite (parcuri, curți, spații dintre clădiri, parcări etc.).

- *Pavajul permeabil*

Pavajele permeabile permit infiltrarea apei în sol, contribuie la reducerea volumului de apă scurs, la îmbunătățirea calității apei de la suprafața arealului urban și la refacerea pânzei freatice (Fig. 4.1).

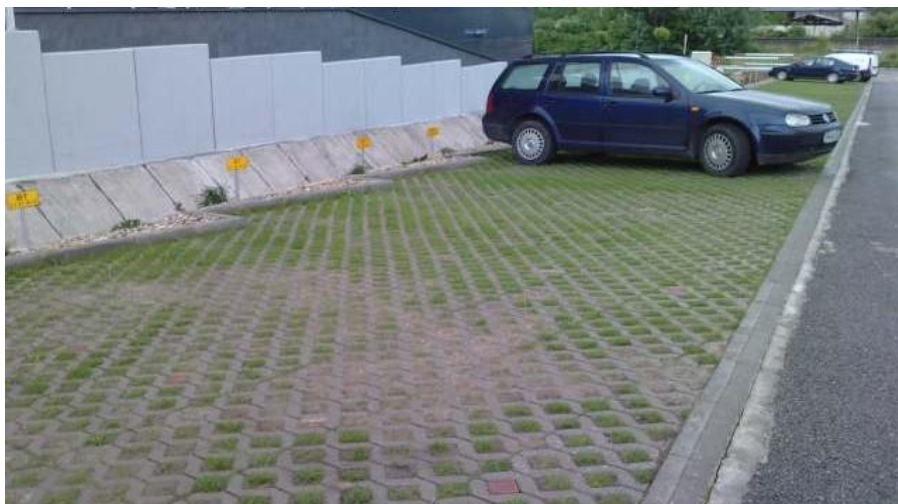


Fig. 4. 1 Parcare cu pavaj permeabil, Cluj-Napoca (foto, 15 mai 2013, Ivan K.).

- *sistem de retenție subteran*

Aceste sisteme colectează, rețin și elimină apa în sistemul de drenaj sau în pământ.

- *sistem de filtrare cu vegetație*

Permite reducerea volumului de apă și conduce la îmbunătățirea calității apei de la suprafața arealului urban.

- *sistem de filtrare cu arbori*

Aceste sisteme, pe lângă valoarea estetică pe care o dețin, au un rol eficient de filtrare a apei înainte de a ajunge în rețeaua de canalizare.

- *șanțurile de infiltrație*

Sunt eficiente în controlarea volumului de apă scurs și refacerea pânzei freatice prin infiltrație.

- *construirea unor depresiuni mlăștinoase*

Acestea permit colectarea apei pluviale și reduc viteza de scurgere a apei.

În municipiul Cluj-Napoca din cadrul acestor sisteme au fost realizate șanțuri laterale de infiltrație (adâncimi reduse și pavate cu materiale permeabile), sisteme de filtrare cu vegetație și arbori cu rol important în acumularea și evacuarea lentă a apei pluviale acumulată pe suprafața străzilor. La nivelul spațiilor destinate parcurii autovehiculelor, spațiilor comerciale, publice și la nivelul curților, au fost amenajate pavaje permeabile care asigură infiltrația naturală a apei pluviale. De asemenea, în unele zone rezidențiale sunt în etapa de proiectare instalarea unor acoperișuri verzi.

Sistemul de drenaj deservește un rol important comunității. Acesta, în situații de ploi torențiale înlătură torențele de apă de pe străzi, controlează viteza scurgerii apei pluviale și conduce apa înspre căile de drenaj majore.

5. DETERMINAREA SUPRAFETELOR IMPERMEABILE ÎN CADRUL UNUI AREAL URBAN

În mediul urban suprafețele permeabile (parcuri, terenuri de agrement, grădini) alternează cu suprafețele impermeabile (clădiri, străzi, trotuare, parcuri).

Arealele ocupate cu suprafețe impermeabile în cadrul unui bazin urban sunt foarte importante în generarea scurgerii. Acestea sunt împărțite în două categorii: Suprafețe Impermeabile Direct Conectate (DCIA) la sistemul de drenaj urban și Suprafețe Indirect Conectate (ICIA) la sistemul de drenaj urban. Suprafețele Direct Conectate reprezintă Suprafețele Efectiv Impermeabile, iar acestea contribuie în mod direct la volumul de apă

scurs de la suprafața bazinului urban. Suprafețele Direct Conectate și Indirect Conectate la rețeaua de drenaj urban, formează împreună Suprafețele Total Impermeabile.

În cadrul capitolului de față am urmărit să ofer o imagine retrospectivă asupra extinderii spațiului urban, în special a suprafețelor impermeabile din municipiul Cluj-Napoca pentru o perioadă cuprinsă între anii 1986-2014. Evoluția spațio-temporală a suprafețelor impermeabile pentru perioadă de referință a fost analizată pe baza imaginilor satelitare Landsat.

5.1 Metodologia de determinare a Suprafețelor Total Impermeabile

Cele mai frecvente metode de determinare a Suprafețelor Total Impermeabile sunt analiza categoriilor de utilizare a terenului și analiza imaginilor aeriene sau satelitare.

În cadrul studiului am recurs la extragerea suprafețelor impermeabile pe baza imaginilor satelitare corespunzătoare anilor de referință (1986, 1993, 2002 și 2014) prin utilizarea unei metode de clasificare supervizată.

Înainte de aplicarea unei metode pentru extragerea suprafețelor urbane impermeabile pe baza imaginilor satelitare, informațiile stocate ca valori DN (*Digital Numbers*) au fost calibrate în reflectanță TOA (*Top of Atmosphere*) și ulterior în reflectanța suprafeței (*Surface Reflectance*) folosind algoritmul *Dark Object Subtraction* (DOS) în cadrul softului ENVI 5.1, eliminând astfel efectele atmosferice (Haidu și Ivan, 2016 b). După calibrarea valorilor DN în reflectanță, a fost efectuată o corecție atmosferică cu scopul de a obține reflectanța suprafeței.

În vederea extragerii suprafețelor impermeabile, după efectuarea calibrării în reflectanță și a corecției atmosferice, imaginile au fost supuse unei clasificări supervizate, ceea ce a permis extragerea suprafețelor impermeabile și permeabile pentru fiecare an de referință în parte (1986, 1993, 2002 și 2014).

În cadrul unei clasificări supervizate este necesară cunoașterea tipului de acoperire a terenului care urmează a fi clasificat. Odată identificată tipul de acoperire a terenului, următorul pas a constat în alegerea claselor de interes (eșantioanelor) reprezentative pentru extragerea informațiilor tematice.

În cadrul studiului au fost alese patru clase de interes reprezentative pentru extragerea informațiilor tematice: pădure, vegetație ierboasă, sol și suprafețe impermeabile. Apa a fost mascată în timpul procesului de clasificare și nu a fost inclusă în cadrul eșantioanelor, deoarece aceasta are în unele areale caracteristici spectrale similare cu

suprafețele impermeabile umbrite (Deng et al., 2002; Lu și Weng, 2009; Xu, 2007; Lu et al., 2008). Ulterior pe baza poligoanelor corespunzătoare fiecărei clase de eșantionare în parte, a fost extrasă reflectanța corespunzătoare fiecărei clase de interes (pădure, vegetație, sol și suprafețe impermeabile) (Fig. 5.1).

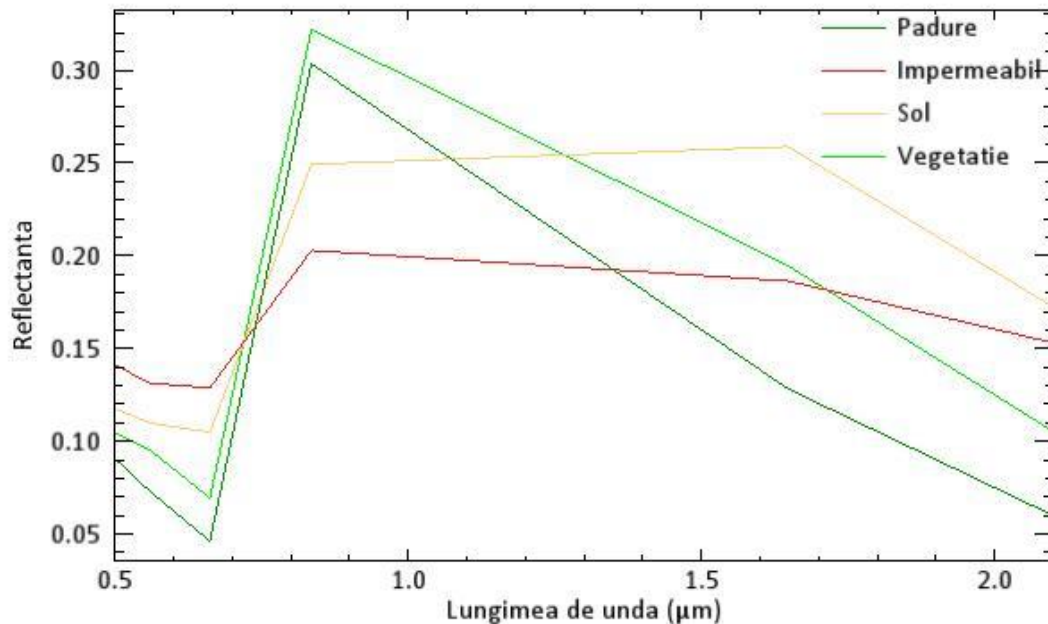


Fig. 5. 1 Răspunsul spectral obținut pentru clasele de eșantionare utilizate. Imaginea de referință 2002 (Haidu și Ivan, 2016 b).

După alegerea celor mai reprezentative clase de eșantioane, următorul pas a constat în alegerea celor mai potrivite metode de clasificare, care să ne permită extragerea cât mai corectă a suprafețelor urbane impermeabile (Ivan, 2015).

În cadrul studiului de față, în vederea găsirii celei mai potrivite metode, care să permită obținerea unor rezultate apropiate de realitate, am aplicat în prima etapă patru metode larg utilizate în extragerea suprafețelor urbane impermeabile pe baza imaginilor satelitare: clasificarea supervizată Maximum-Likelihood, Mahalanobis Distance, Neural Network și Support Vector Machine (Haidu și Ivan, 2016 b).

Pentru a evalua acuratețea rezultatului clasificării am calculat acuratețea globală a clasificării pixelilor din eșantioane și coeficientul kappa, iar ulterior rezultatele obținute au fost validate pe baza unor puncte de referință din teren.

În urma rezultatelor obținute, cea mai bună acuratețe a rezultatului clasificării este dată de metoda Maximum-Likelihood (96%), care ne-a permis obținerea unei validări în teren de asemenea ridicată (90%) (Haidu și Ivan, 2016 b).

Pe baza acestor rezultate am recurs la utilizarea clasificării Maximum-Likelihood mai departe în cadrul studiului de față, pentru a extrage suprafețele impermeabile corespunzătoare celor patru ani de referință (1986, 1993, 2002 și 2014). În urma rulării algoritmului de clasificare Maximum Likelihood, am obținut câte o hartă tematică, corespunzătoare celor patru clase de eșantioane alese (pădure, vegetație ierboasă, sol și suprafețe impermeabile). Ulterior clasele de pădure, vegetația ierboasă și solul au fost grupate în suprafețe permeabile, ceea ce a permis obținerea unei hărți tematice formată din două clase: permeabile și impermeabile (Haidu și Ivan, 2016 b; Ivan, 2015). Aceste hărți tematice au stat la baza analizării spațio-temporale a creșterii suprafețelor impermeabile din Cluj-Napoca în perioada cuprinsă între 1986-2014.

Pe baza hărților tematice obținute (Ivan, 2015), variația procentuală a suprafețelor impermeabile din cadrul municipiului au fost determinate astfel (Ahn, 2007; Ray, 2010):

$$I = \frac{(i_1 - i_0)}{i_0} \times 100 \quad (5.2)$$

Unde, i_1 -reprezintă suprafețele impermeabile din anul ulterior ;

i_0 -reprezintă suprafețele impermeabile din anul anterior ;

5.2 Metodologia de determinare a Suprafețelor Efectiv Impermeabile

Suprafețele Efectiv Impermeabile reprezintă o porțiune din Suprafețele Total Impermeabile din cadrul unui bazin direct conectat hidraulic la rețeaua de drenaj (străzi, drumuri de acces pavate, locuri de parcare, acoperișuri).

Conform Jones et al., (2003) cele mai frecvente metode de determinare a parametrului EIA sunt următoarele:

- *măsurătorile în teren;*
- *ecuațiile empirice;*

Suprafețele Efectiv Impermeabile pot fi estimate pe baza ecuațiilor empirice dezvoltate de Sutherland (2000), folosind datele cu privire la Suprafețele Total Impermeabile, obținute pe baza imaginilor satelitare.

5.3. Analiza spațio-temporală a suprafețelor impermeabile în municipiul Cluj-Napoca

Analiza spațio-temporală a suprafețelor impermeabile și permeabile, obținute urma prelucrării imaginilor satelitare, a permis identificarea schimbărilor survenite la nivelul acoperirii terenului din Cluj-Napoca pentru perioada cuprinsă între 1986-2014 (Fig. 5.2).

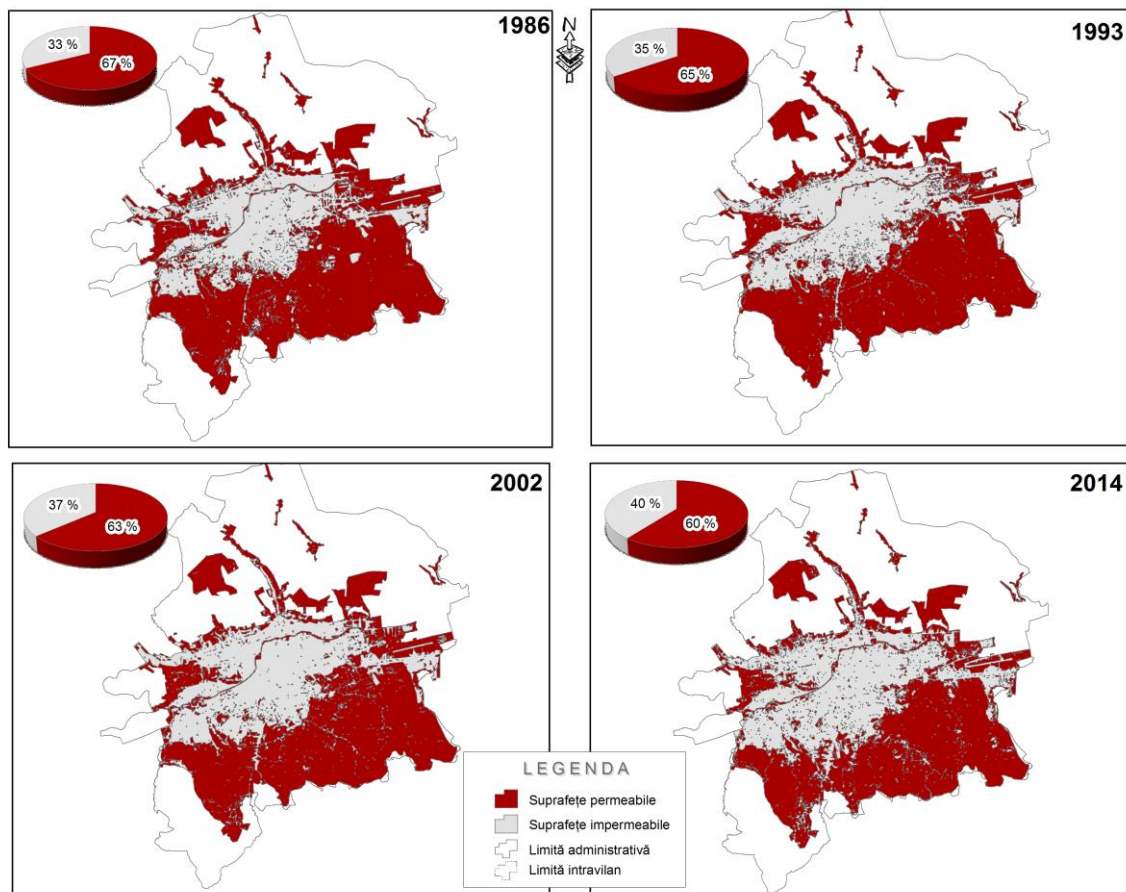


Fig. 5. 2 Evoluția spațio-temporală a suprafețelor impermeabile în perioada 1986-2014, Cluj-Napoca (Ivan, 2015).

Rezultatele obținute au evidențiat o rată de creștere a suprafețelor impermeabile de-a lungul timpului, de la 33% în anul 1986 la 40% în anul 2014. Aceste suprafețe s-au extins semnificativ în partea sudică și estică a orașului și în proporții mai scăzute în partea nordică (Ivan, 2015).

Calculând variația procentuală a suprafețelor impermeabile din municipiul Cluj-Napoca, rezultatele au evidențiat o creștere de 6% (1986-1993), 5% (1993-2002) și 8% (2002-2014) (Ivan, 2015).

Evoluția spațio-temporală a suprafețelor impermeabile în cadrul unui bazin urban se datorează în primul rând variabilității populației. Conform datelor furnizate de INS (INS, 2015), populația municipiului Cluj-Napoca a cunoscut o creștere de aproximativ 3.4% din 1986 până în anul 2014, o creștere de 1.8% în perioada 1986-1993, de 0.5% în 1993-2002 și de 1.1% în perioada 2002-2014. La nivelul județului Cluj tendința de urbanizare este resimțită după anul 1970, când populația rurală înregistrează o scădere de la 340554 în 1970 la 239250 în 2014, iar populația urbană urmează o tendință de creștere continuă de la 147986 în 1930 la 479383 în 2014 conform INS (Fig. 5.3) (Ivan, 2015).

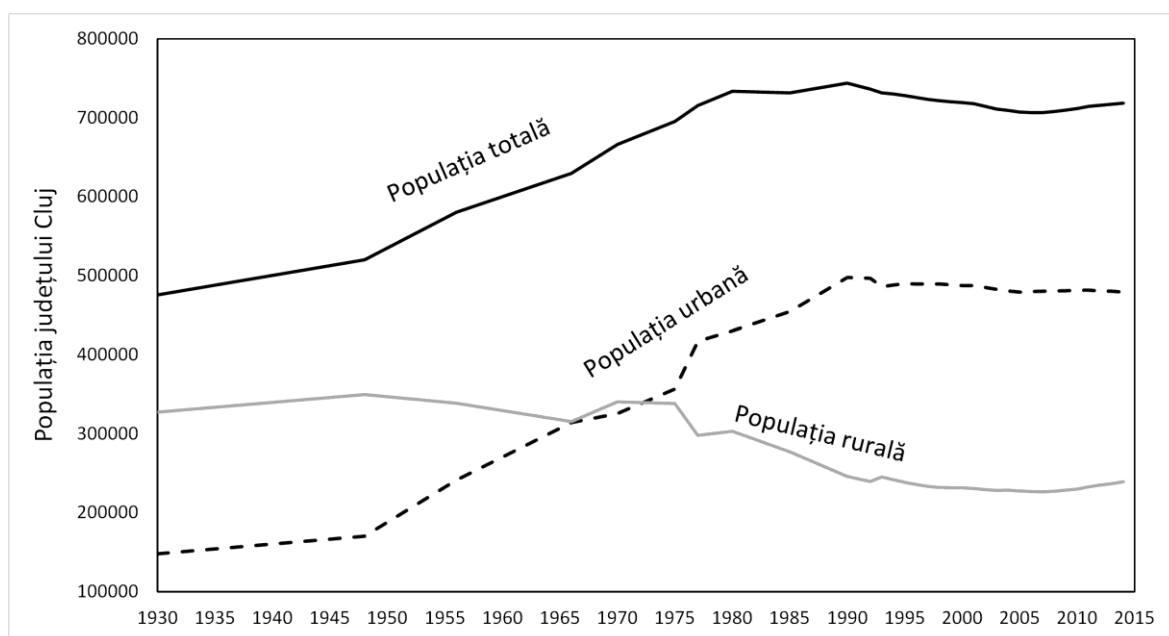


Fig. 5. 3 Variabilitatea populației în perioada 1930–2014 în județul Cluj (Ivan, 2015).

Pe fondul creșterii populației au crescut astfel suprafețele construite, ceea ce a condus în prezent la extinderea suprafețelor impermeabile, la degradarea calității apei, creșterea volumului de apă scurs și totodată la creșterea potențialului de producere a inundațiilor urbane (Ivan, 2015). În vederea reducerii suprafețelor impermeabile, trebuie implementate unele soluții durabile de către autoritățile locale, cum ar fi extinderea terenurilor de agrement, a parcurilor și a zonelor verzi din apropierea străzilor și trotuarelor (Ivan, 2015).

5.4 Validarea rezultatelor tematice

Procesul de validare a presupus compararea relației dintre informația corespunzătoare pentru fiecare punct de pe harta tematică cu informația corespunzătoare fiecărui punct din teren. Realitatea din teren pentru fiecare punct în parte a fost identificată

pe baza imaginilor din arhiva Google Earth, iar validare în teren s-a realizat pentru anii 2002 respectiv 2014 (Ivan, 2015). Rezultatele validării au evidențiat o bună precizie a procesului de clasificare care corespunde în proporție ridicată cu realitatea din teren, confirmate de valorile ridicate ale acuratetei de 90.34% pentru 2014, respectiv 93.22% pentru 2002 (Haidu și Ivan, 2016 b; Ivan, 2015). Aceste valori indică faptul că rezultatele obținute sunt corecte și pot fi utilizate în cadrul unui studiu mai aprofundat

6. EVALUAREA RĂSPUNSULUI HIDROLOGIC LA EVOLUȚIA SPAȚIO-TEMPORALĂ A SUPRAFETELOR IMPERMEABILE

În cadrul capitolului de față am urmărit evaluarea efectului indus de evoluția spațio-temporală a suprafețelor impermeabile asupra scurgerii de suprafață. Aplicațiile s-au realizat asupra a două subbazine de scurgere din municipiului Cluj-Napoca.

6.1 Descrierea subbazinelor de scurgere

Subbazinele de scurgere în cadrul studiului de față au fost delimitate cu ajutorul extensiei Hec-GeoHMS în cadrul programului ArcGIS, pe baza DEM-ului de 5 x 5 m. Subbazinele rezultate și analizate în cadrul studiului sunt descrise în cele ce urmează:

- *Subbazinul B1* este localizat în partea sudică a municipiului Cluj-Napoca. În perioada 1986-2014 suprafețele impermeabile în acest areal au crescut de la 41.7% în 1986 la 76.1% în 2014.
- *Subbazinul B2* este localizat în partea nordică a municipiului. În cadrul acestui subbazin nu s-au observat schimbări majore în ceea ce privește tipul de acoperire a terenului în perioada 1986-2014.

6.2. Datele de intrare necesare modelării

- *Datele meteorologice*

Modelarea procesului de ploaie-scurgere în cadrul celor două subbazine, s-a realizat pe baza precipitațiilor zilnice (Haidu și Ivan, 2016 b), obținute din baza de date ECA&D (European Climate Assessment & Dataset).

- *Datele cu privire la modul de acoperire al terenului*

În vederea evaluării impactului indus de creșterea suprafețelor impermeabile asupra scurgerii de suprafață, pentru subbazinele de scurgere B1 și B2 am utilizat datele TIA pentru perioada 1986-2014, obținute în urma clasificării supervizate a imaginilor satelitare.

- *Datele cu privire la tipul de sol*

Datele cu privire la tipul de sol și tipul de acoperire a terenului au stat la baza determinării indicelui CN (*Curve Number*) pentru fiecare subbazin în parte și pentru toți anii de referință.

6.3. Metodologia de evaluare a răspunsului hidrologic la creșterea suprafețelor impermeabile

În cadrul studiului de față în vederea evaluării impactului indus de creșterea suprafețelor impermeabile asupra scurgerii, am folosit modelul Hydrologic Engineering Center-Hydrologic Modeling System (HEC-HMS). Acest model a permis simularea răspunsului hidrologic la creșterea suprafețelor impermeabile din perioada 1986-2014 (Haidu și Ivan, 2016 b).

Modelarea hidrologică cuprinde mai multe procese, dintre care putem aminti evapotranspirația, pierderile prin infiltrare, scurgerea apei de la suprafața terenului, iar rezultatul final al modelării este reprezentat de hidrograful scurgerii. Modelele de simulare hidrologice pot fi clasificate în modele fizice, modele analogice și matematice.

Modelul hidrologic HEC-HMS a fost ales pentru a simula procesul de ploaie-scurgere pe baza datelor privind tipul de acoperire a terenului în perioada 1986-2014. Acest model ne-a permis analizarea impactului urbanizării asupra scurgerii de suprafață din ultimii 28 de ani.

Modelul hidrologic HEC-HMS folosește modele separate pentru a reprezenta componentele procesului de scurgere, fiecare cu un număr divers de metode de modelare (USACE, 2000):

- modelul de calculare a volumului de apă scurs;
- modelul scurgerii directe;
- modelul "baseflow"
- modelul "channel flow"

Din cadrul acestor modele, în cadrul studiului am folosit doar modelul de calculare a volumului de apă scurs și cel al scurgerii directe (Haidu și Ivan, 2016 b).

- **Modelul de calculare a volumului de apă scurs**

În cadrul subbazinelor, simularea volumului de apă scurs s-a realizat pe baza metodei SCS-CN (SCS Curve Number Loss Model).

Metoda SCS-CN este descrisă matematic (USACE, 2000):

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S} \quad (6.1)$$

Unde : P_e - precipitațiile în exces acumulate în timpul t

P - precipitații acumulate în timpul t

S - parametrii de retenție a apei

I_a - captarea inițială (pierderi inițiale)

Acest model ne-a permis calcularea pentru ambele subbazine, a volumului de apă scurs pe baza șirului de precipitații și a caracteristicilor subbazinelor.

- **Modelul scurgerii directe**

Acest model simulează procesul de scurgere directă din excesul de precipitații. Transformarea excesului de precipitații în scurgere directă s-a determinat pe baza modelului empiric cel al hidrografului unitar SCS (*SCS Unit Hydrograph*). Parametrii de intrare ai modelului, timpul de întârziere (T lag) și suprafața subbazinelor, au fost determinate cu ajutorul HEC-GeoHMS. Astfel pentru fiecare subbazin au fost determinați o serie de caracteristici de bază derivați pe baza DEM-ului și o serie de parametrii, pe baza datelor privind tipurile de sol și tipul de acoperire a terenului.

Tabel 6. 1 Caracteristicile și parametrii de bază ai subbazinelor analizate.

Caracteristicile subbazinelor		Subbazin	Parametrii subbazinelor			
<i>Aria (km²)</i>	<i>Panta</i>	B 1	1986	1993	2002	2014
1.54	6.8	CN compus	88.9	91.3	92.7	94.7
		Impermeabil %	41.7	54.7	63.9	76.1
<i>Aria</i>	<i>Panta</i>	B2				
0.85	10.1	CN compus	87.7	87.8	88.5	89.0
		Impermeabil %	25.8	26.23	30.6	32.0

Pe baza caracteristicilor și ai parametrilor de intrare, a fost calculat volumul de apă scurs folosind metoda SCS-CN (SCS-CN Loss method) și pe baza metodei hidrografului unitar SCS (SCS Unit Hydrograph metod) scurgerea directă (Haidu și Ivan, 2016 b).

6.4. Impactul creșterii suprafețelor impermeabile asupra scurgerii de suprafață

Rezultatele simulărilor corespunzătoare celor două subbazine analizate au evidențiat o tendință de creștere a fluxului de vârf concomitent cu creșterea procentului ocupat de suprafețe impermeabile.

Pentru subbazinul de scurgere B1 și B2 , simulările s-au realizat pe baza șirului de precipitațiilor, ținând cont de procentul ocupat cu suprafețe impermeabile în fiecare an de referință în parte, 1986, 1993, 2002 și 2014. Rezultatele evidențiază o creștere a volumului total de apă scurs și a fluxurilor de vârf în cele două subbazine analizate, concomitent cu creșterea suprafețelor impermeabile din 1986 până în 2014. În ceea ce privește totalul de pierderi acestea prezintă o tendință de scădere concomitent cu creșterea suprafețelor impermeabile.

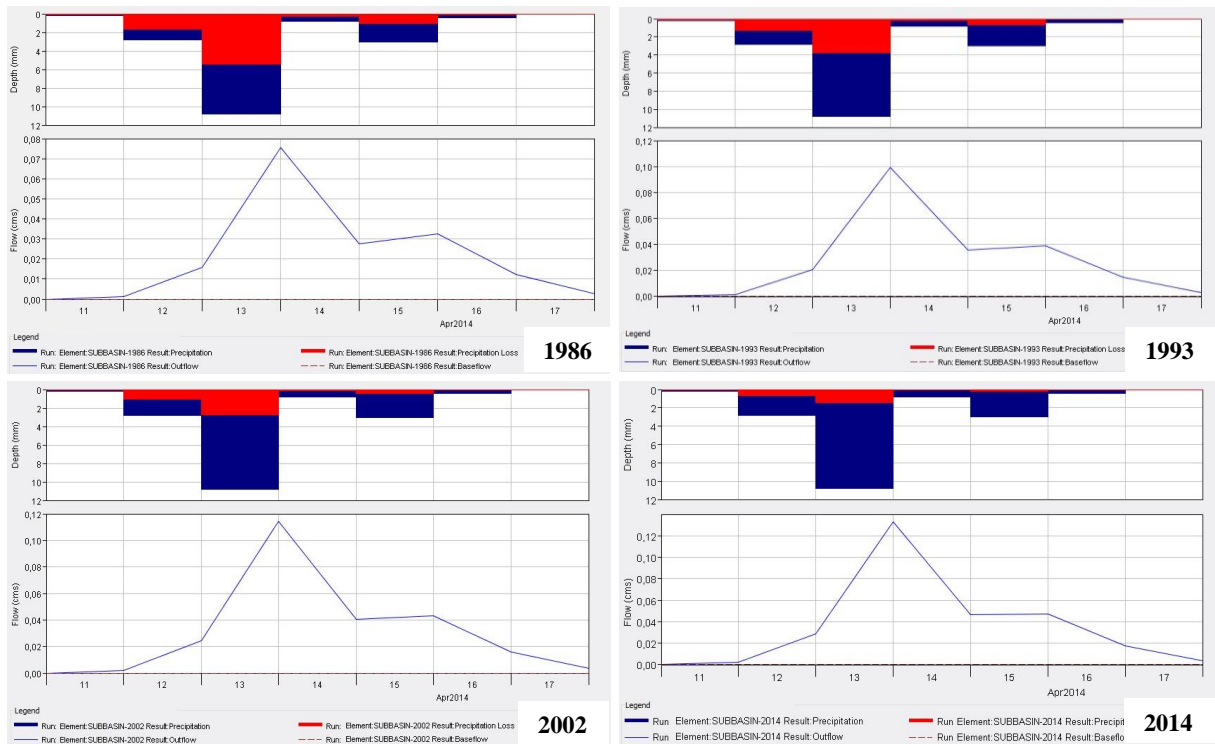


Fig. 6. 1 Hietogramele și hidrografele de scurgere corespunzătoare subbazinului B1 (1986-2014).

Aceste rezultate sunt concretizate sub forma hidrografelor de scurgere corespunzătoare fiecărui an de referință în parte (Haidu și Ivan, 2016 b) (Fig. 6.1).

În perioada 1986-2014 variația fluxurilor de vârf și a volumului de apă scurs, a înregistrat diferențe mai mari în subbazinul B1, iar în subbazinul B2 aceste diferențe au fost mai mici (Fig. 6.2).

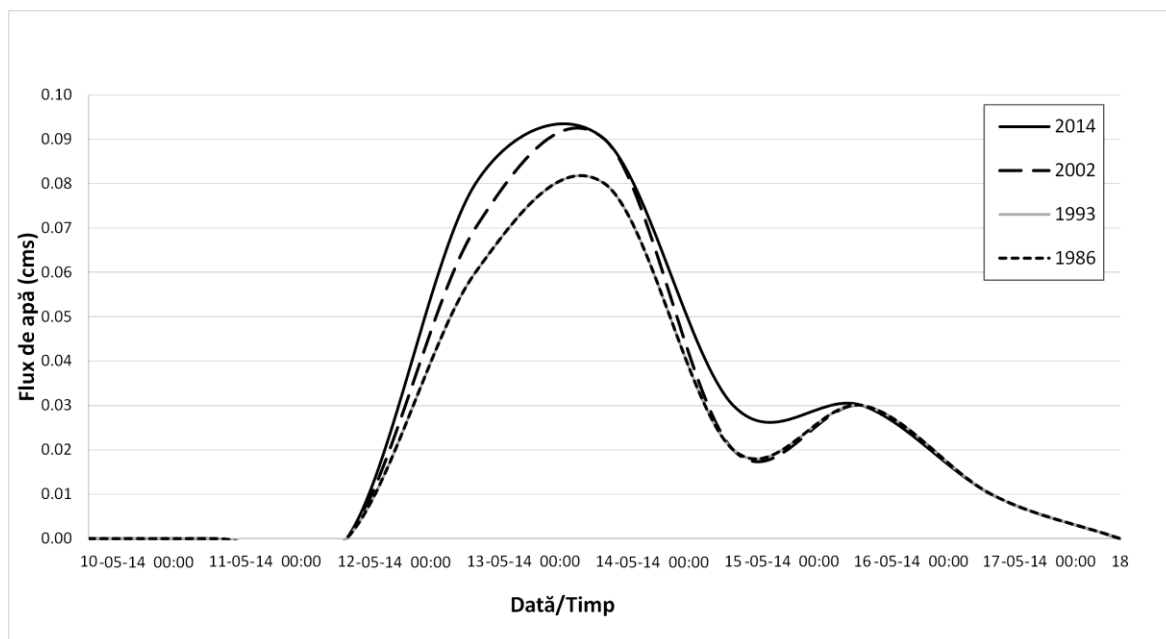


Fig. 6. 2 Seriiile de hidrografe rezultate pentru subbazinul B2 (1986-2014).

În subbazinul B1 diferențele mai mari se datorează variabilității ridicate a suprafețelor impermeabile de la 41.7% în 1986 la 76.1% în 2014, iar în subbazinul B2 diferențele mici se datorează arealelor mai mici ocupate cu suprafețe impermeabile și a variabilității scăzute a acestora în perioada analizată, de la 25.8% în 1986 la 32.0 % în 2014.

6.5 Analiza statistică a rezultatelor

În vederea stabilirii unei relații de dependență între variabilele : procentul suprafețelor impermeabile și volum total de apă scurs, respectiv totalul de pierderi, acestea au fost repartizate într-un sistem de axe XOY, formând astfel un câmp de corelație.

În ambele subbazine analizate, rezultatele modelării hidrologice au evidențiat o tendință de creștere a volumului total de apă scurs concomitent cu creșterea suprafețelor impermeabile în perioada 1986-2014. Această tendință este evidențiată în modelul de regresie din Fig. 6.3. Intensitatea dependenței liniare dintre variabilele, suprafețe

impermeabile și volumul total de apă scurs, pentru cele două subbazine analizate, este dată de coeficienții de corelație Pearson, pozitivi de 0.99 respectiv 0.97 (Haidu și Ivan, 2016 b).

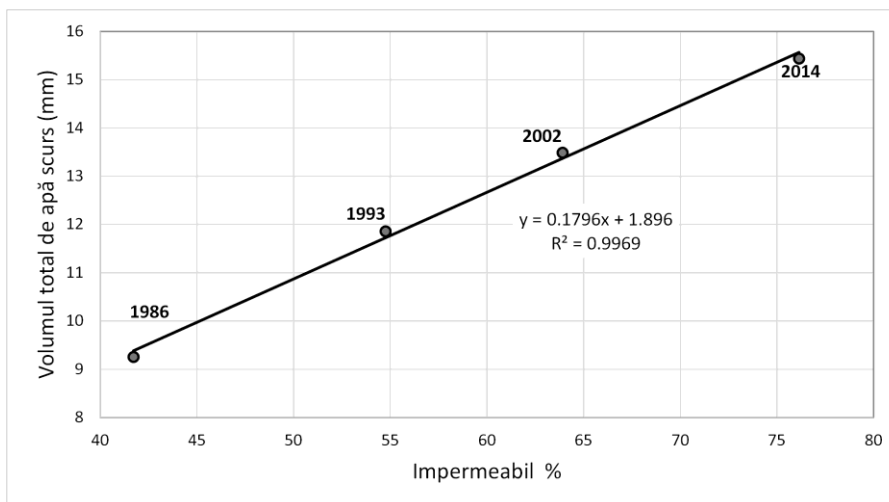


Fig. 6.3 Graficul de corelație dintre variabilele suprafețe impermeabile și volumul total de apă scurs, subbazinul B1 (Haidu și Ivan, 2016 b).

Cercetarea relației statistice între variabilele, suprafețe impermeabile și pierderi totale, au evidențiat faptul că odată cu creșterea suprafețelor impermeabile scad concomitent și pierderile totale, în cadrul celor două subbazine analizate. Între aceste două variabile există o legătură liniară indirectă. Coeficienții de determinare de 0.99 respectiv 0.94, indică faptul că variabila (X) suprafețe impermeabile explică variația variabilei (Y) totalul de pierderi, în proporție de 99%, respectiv 94%.

Toate aceste tendințe de creștere a volumului de apă scurs, respectiv a fluxurilor de vârf trebuie să vină ca un semnal de alarmă pentru autoritățile locale în vederea implementării unor măsuri în vederea atenuării acestor tendințe în viitor (Haidu și Ivan, 2016 c).

7. IDENTIFICAREA REȚELELOR DE SCURGERE A APEI DE LA SUPRAFAȚA AREALULUI URBAN

Urbanizarea și industrializarea au condus la creșterea suprafețelor impermeabile, reducerea infiltrației apei în sol și creșterea volumului de apă scurs.

Pe suprafețele permeabile o parte din cantitatea de apă pluvială se infiltrează, iar în prezența suprafețelor impermeabile, în zonele joase ale terenului, apa are tendința de a se acumula în mici zone depresionare. În urma intensificării precipitațiilor capacitatea acestor zone depresionare este depășită, apa se revarsă și are tendința de a se scurge de-a lungul

rețelei stradale, între clădiri sau alte spații deschise, urmând anumite căi preferențiale de transport al apei în funcție de panta terenului (Haidu și Ivan, 2016 a).

7.1. Modelarea fluxurilor de apă de la suprafața terenului

Modelarea fluxurilor de apă de la suprafața terenului presupune identificarea căilor preferențiale de scurgere și a zonelor depresionare, în situația în care gurile de scurgere sunt înfundate sau rețeaua de canalizare nu mai face față debitului de apă, fără a lua în considerare posibilitatea de interacțiune a acestora cu curgerea din rețeaua de canalizare. Cunoașterea acestor zone depresionare și a căilor de transport al apei este importantă în conturarea zonelor expuse la inundații (Haidu și Ivan, 2016 c).

- *identificarea căilor preferențiale de scurgere*

Metodologia aplicată în vederea identificării căilor preferențiale de scurgere a apei de la suprafața terenului, a fost cea bazată pe tehnica rolling ball (DEFRA, 2008) sau numită și metoda D8 (Evans, 2008). Această metodă presupune identificarea căilor preferențiale de scurgere pe baza direcțiilor de scurgere și de acumulare a apei prin utilizarea instrumentelor GIS și a datelor altitudinale (Haidu și Ivan, 2016 a). Pentru a obține o reprezentare corectă a direcției de scurgere, chiuvetele existente în cadrul DEM-ului trebuie umplute (Haidu și Ivan, 2016 a). În cadrul studiului umplerea acestor chiuvete s-a realizat cu ajutorul funcției Fill (Haidu și Ivan, 2016 a), iar direcția de scurgere și acumularea scurgerii au fost determinate pe baza DEM-ului cu chiuvetele umplute, cu ajutorul instrumentului Arc Hydro (Fig. 7.1).

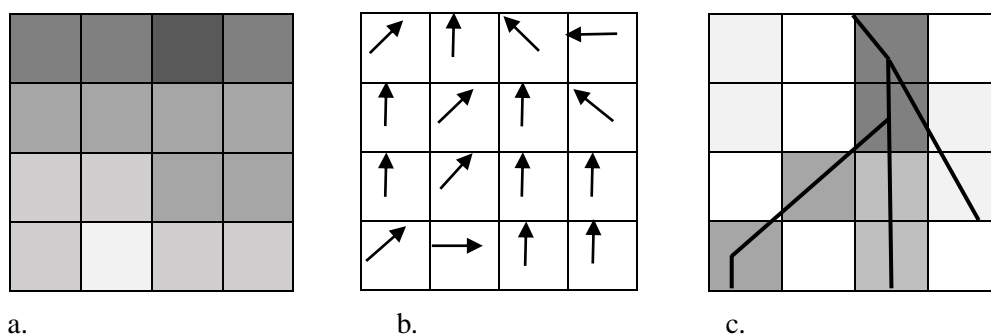


Fig. 7. 1 Ilustrarea delimitării căilor de scurgere a) Setul de date altitudinale b) Stratul tematic privind direcția de scurgere c) Stratul tematic privind acumularea scurgerii și definirea fluxurilor.

Pentru a reda o reprezentare mai apropiată de realitate a căilor de scurgere în mediul urban, acestea au fost delimitate și pe baza Modelului Digital de Suprafață (Haidu și Ivan, 2016 a).

- *identificarea zonelor depresionare*

Zonele depresionare reprezintă areale naturale sau realizate de om și au rolul de a depozita apa în timpul sau după precipitații (Haidu și Ivan, 2016 a). În cadrul lucrării am urmărit delimitarea zonelor depresionare în funcție de topografia terenului, adică arealele unde apa pluvială ar putea să se acumuleze în timpul precipitațiilor la suprafața terenului.

Zonele depresionare din arealul de studiu au fost identificate prin adaptarea și dezvoltarea metodei *Contour Polygon Screening* (DEFRA, 2008) pe baza unui set de date altitudinale (Haidu și Ivan, 2016 a). Instrumentul GIS folosit în delimitarea acestora a fost extensia Spatial Analyst în cadrul programului ArcGIS 10.1. Procedura a constat în identificarea arealelor cele mai joase ale terenului pe baza conturilor derivate din DEM (Haidu și Ivan, 2016 a). S-a realizat o delimitare a tuturor celulelor conturate de polilinie (limita monticulului sau a zonelor depresionare). Unde valoarea medie a celulelor de pe cuprinsul poligoanelor a fost mai mare ca valoarea medie a poliliniilor, s-a luat în considerare în delimitarea zonelor depresionare și a monticului valoarea minimă a poliliniilor, în caz contrar valoarea maximă (Haidu și Ivan, 2016 a) (Fig. 7.2).

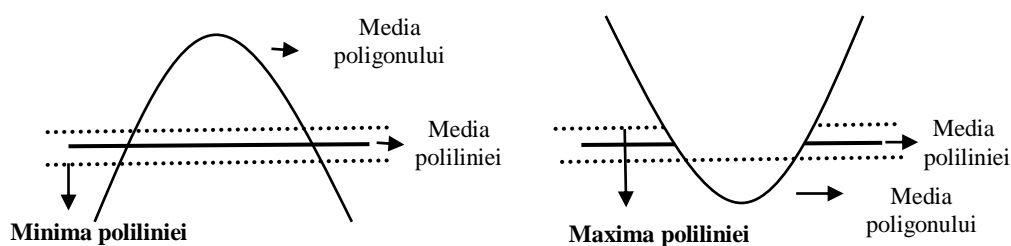


Fig. 7.2 . Ilustrarea delimitării zonelor depresionare: (stânga) în cazul valorii medii a poligoanelor mai mare decât valoarea medie a poliliniilor; (dreapta) în cazul valorii medii a poligoanelor mai mici decât valoarea medie a poliliniilor (Haidu și Ivan, 2016 a).

Pe baza volumului și a ariei rezultate în urma aplicării funcției *Cut/Fill* a fost calculată adâncimea fiecărei zone depresionare pentru zona de studiu (Haidu și Ivan, 2016 a).

7.2 Aplicații Cluj-Napoca

În cadrul capitolului de față aplicațiile s-au realizat asupra unui areal de 5.4 km² din cadrul municipiului Cluj-Napoca (Haidu și Ivan, 2016 a), care cuprinde cartierele Mănăștur, Zorilor, Grădinile Mănăștur și zona Plopilor, localizate în partea sudică a orașului.

- *Căile preferențiale de scurgere identificate*

Identificarea căilor de scurgere a apei de la suprafața arealului urban, a evidențiat faptul că, acestea se formează de regulă pe suprafața străzilor, trotuarelor, în apropierea gurilor de scurgere și urmează sensul liniilor de cea mai mare pantă a terenului.

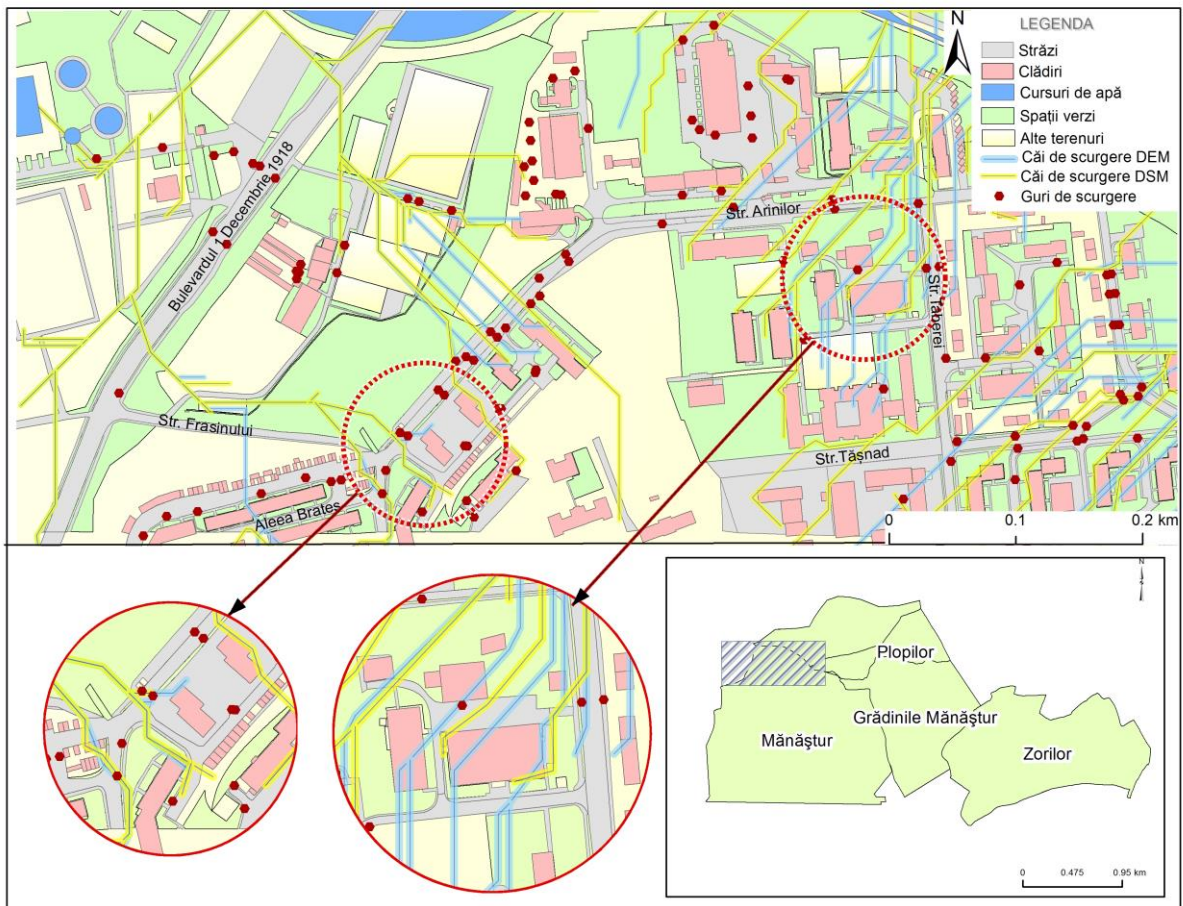


Fig. 7. 3 Căile preferențiale de scurgere rezultate pe baza DEM (albastru) și DSM (galben) (Haidu și Ivan, 2016 a).

În delimitarea căilor de scurgere pe lângă Modelul Digital de Elevație, care reprezintă suprafața neacoperită al terenului, am utilizat și un Model Digital de Suprafață care cuprinde și clădirile de la suprafața terenului. Rezultatele obținute pe baza celor două

seturi de date altitudinale au evidențiat faptul că, căile de scurgere rezultate pe baza DSM (galben) ocolesc clădirile și urmează în general linia străzilor, iar cele obținute doar pe baza DEM (albastru) în unele locații se suprapun peste clădiri (Haidu și Ivan, 2016 a) (Fig. 7.3). Astfel se poate remarca faptul că rezultatele obținute pe baza Modelului Digital de Suprafață, care redă pe lângă reprezentarea numerică a suprafeței terenului și înălțimea clădirilor din cadrul arealului de studiu, ne-a permis obținerea unor rezultate mult mai apropiate de realitate, decât pe baza DEM-ului.

- *zonele depresionare identificate*

Zonele depresionare se acumulează la suprafața terenului, de regulă în urma unor precipitații torențiale și pot staționa o perioadă mai scurtă sau mai lungă de timp la suprafața terenului, în funcție de cantitatea de precipitații, volumul acestora și capacitatea rețelei de canalizare.



Fig. 7. 4 Zonă depresionară propriu zisă în lunca urbanizată, 22 iunie 2013, Str. Plopilor, Cluj-Napoca (Haidu și Ivan, 2016 a).

În urma delimitării zonelor depresionare în lunca urbanizată din Cluj-Napoca (zona Plopilor) pe baza DEM-ului (5 m x 5m), au rezultat un număr de 32 de areale depresionare, cu adâncimi cuprinse între 0.2 m și 1.57 m (Haidu și Ivan, 2016 a).

O zonă depresionară de acest fel cu adâncimi mari, s-a format în data de 1 august 2012 în jurul orei 16.30 datorită intrării rețelei de canalizare sub presiune, în urma unei ploi torențiale. Zona depresionară acumulată a afectat traficul rutier pe strada Plopilor timp de aproximativ 20 de minute. O altă zonă depresionară de adâncimi mari, s-a format în Cluj-Napoca în data de 22 iunie 2013 la aproximativ ora 20.30 pe strada Plopilor și a afectat în mod direct șoferii din trafic și pietonii (Fig. 7.4).

Pe versanții și terasele urbanizate (cartierul Mănăștur) au fost delimitate cu ajutorul tehnicii GIS un număr de 5 zone depresionare cu adâncimi ce variază de la între 0.08 m și 1.55 m (Fig. 7.5), care reprezintă 0.029% din suprafața totală de 5.35 km² și au capacitatea de a stoca un volum de 787 m³ de apă (Haidu și Ivan, 2016 a). În acest areal zonele depresionare au un caracter temporar, datorită pantelor mai mari și se formează pe suprafața străzilor sau în apropierea gurilor de scurgere.

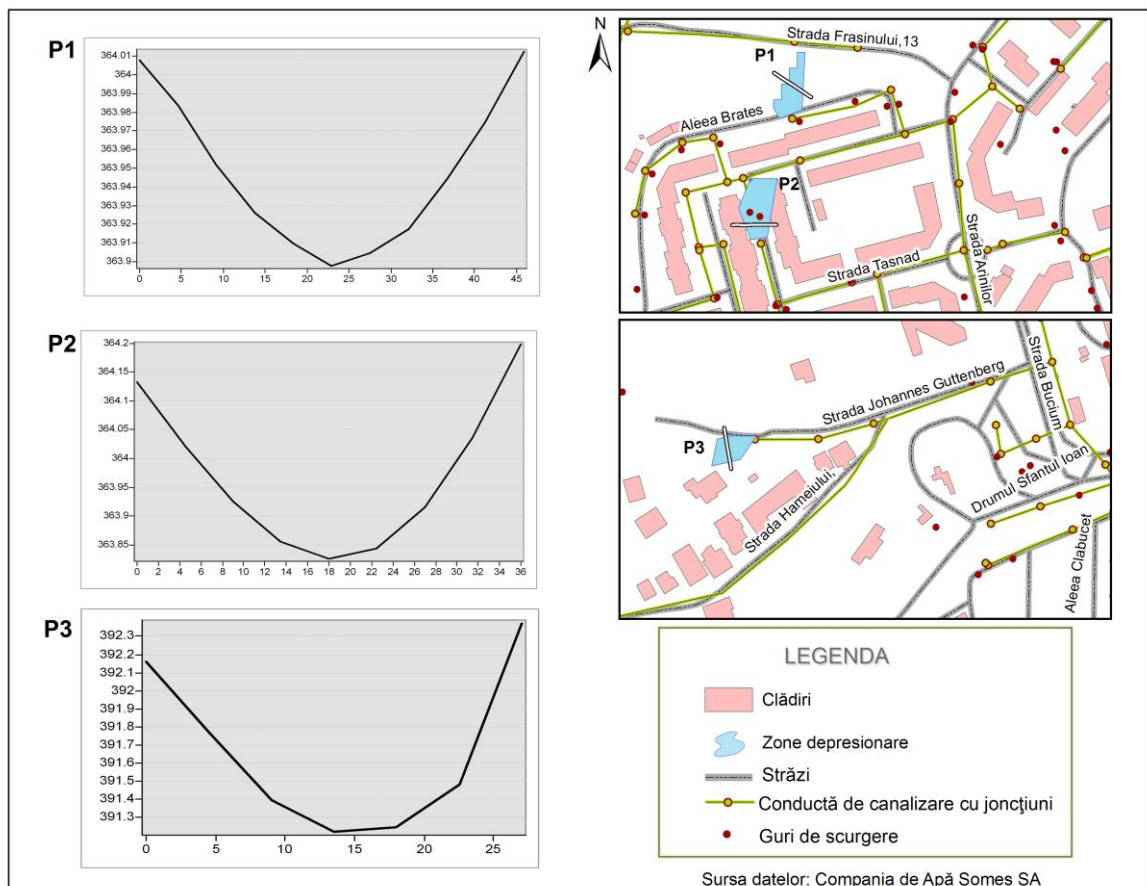


Fig. 7. 5 Zone depresionare temporare pe versanți și terase urbanizate (Haidu și Ivan, 2016 a).

Zonele depresionare în interfluviul urbanizat (cartierul Zorilor) nu au un caracter propriu zis, staționează puțin la suprafața terenului, datorită reliefului accidentat (pante

între 10-25°) și a străzilor perpendiculare pe axa longitudinală a orașului dispusă pe direcția vest-est. În urma delimitării acestor zone depresionare, a rezultat doar o singură zonă depresionară în interfluviul urbanizat, care are o adâncime de 1.99 m și o capacitate de a stoca un volum de 67 m³ de apă (Haidu și Ivan, 2016 a).

În urma unor precipitații torențiale, o zonă depresionară de acest fel s-a acumulat în cartierul Zorilor din Cluj-Napoca în data de 5 august 2010 la aproximativ ora 20:00, iar o altă zonă depresionară s-a acumulat pe strada Observator din cartierul Zorilor, în data de 25 septembrie 2015, ambele au afectat pietonii și șoferii din trafic.

- *Efectul rezoluției spațiale în delimitarea fluxurilor de apă în mediul urban*

Identificarea căilor de scurgere și a zonelor depresionare pe baza a patru seturi de date altitudinale cu rezoluții spațiale diferite SRTM DEM, ASTER DEM, DEM (5 x 5 m și 25 x 25 m), rezultatele au evidențiat o relație liniară între scăderea numărului de zone depresionare și a căilor de scurgere concomitent cu scăderea rezoluției spațiale a seturilor de date utilizate (Haidu și Ivan, 2016 a). Aceste diferențe privind numărul căilor preferențiale de scurgere și a zonelor depresionare rezultate pe baza celor patru seturi de date altitudinale, reflectă importanța rezoluției spațiale a DEM-ului în delimitarea fluxurilor de apă de la suprafața terenului (Haidu și Ivan, 2016 a).

Identificarea locațiilor de acumulare a apei pe diverse tipuri de relief din arealul urban, poate veni în ajutorul autorităților locale în vederea verificării dacă sistemul de canalizare mai face față la debitele de apă din ce în ce mai mari datorate urbanizării (impermeabilizării). Pe baza observațiilor și a prognozelor, în funcție de evoluția suprafețelor impermeabile, se pot găsi și implementa unele soluții durabile cum ar fi, redimensionarea rețelei de canalizare sau reabilitarea tramei stradale.

8. EVALUAREA CALITĂȚII APEI PLUVIALE ACUMULATĂ PE SUPRAFAȚA AREALULUI URBAN

În cadrul capitolului de față am evaluat calitatea apei pluviale acumulată pe suprafața drumurilor în urma precipitațiilor, în trei zone diferite din municipiul Cluj-Napoca (industrial, comercial și rezidențial) (Ivan et al., 2016). S-au ales locații cu diferite tipuri de utilizare a terenului pentru a elimina influența unui anumit tip de areal asupra concentrațiilor de poluanți (Ivan et al., 2016).

Evaluarea calității apei s-a realizat de asemenea pentru două perioade diferite (rece și cald) cu scopul de a evidenția variația poluanților și sursa posibilă a acestora în apa pluvială acumulată pe suprafața drumurilor în cele două perioade diferite.

8.1. Poluarea urbană

Apa pluvială de la suprafața terenului poate transporta o serie de poluanți înainte de a se acumula în rețeaua de canalizare. Poluarea apei pluviale urbane de suprafață se realizează prin intermediul a două procese:

- **acumularea poluanților ("build-up")** presupune depunerea poluanților pe suprafața terenului în timpul perioadei uscate, adică antecedente perioadei ploioase (Herngren, 2005).
- **spălarea poluanților ("wash-up")** se realizează odată cu apa pluvială căzută din precipitații.

8.2. Metodologia de evaluarea a calității apei pluviale de la suprafața arealului urban

În evaluarea calității apei pluviale acumulată la suprafața arealului urban au fost selectate trei artere de circulație situate în zone cu diferite moduri de utilizare a terenului (industrială, comercială și rezidențială) din municipiul Cluj-Napoca (Table 8.1).

Apa pluvială din cadrul celor trei areale a fost colectată din acumulările localizate lângă bordura drumului în cazul zonei industriale și rezidențiale, iar în cazul celei comerciale din acumularea apei localizată în mijlocul parcerii, pentru două sezoane diferite, cald și rece.

Tabel 8. 1 Caracteristicile zonei de studiu (Ivan et al., 2016).

Zona	Industrială	Comercială	Rezidențială
Strada	Str. Oașului	Parcare Iulius Mall	Bd. Nicolae Titulescu
Coordonate geografice	46° 47' 42.8" 23° 36' 07.19"	46° 46' 21.2" 23° 37' 35.1"	46° 46' 10.5" 23° 36' 34.1"
Traficul mediu zilnic	977	559	1155

Din fiecare punct de prelevare a fost colectat 1.5 l de apă care ulterior a fost transportată la laboratorul acreditat al Stației de Epurare din Budapesta, Ungaria pentru analizele de laborator.

- **Perioada rece**

Probele de apă corespunzătoare sezonului rece au fost colectate în perioada 23-25 februarie, 2015 după un număr de 12 zile anterioare uscate.

- **Perioada caldă**

Probele de apă corespunzătoare perioadei calde au fost colectate în perioada 22-24 mai, 2015 după 4 zile anterioare uscate.

Probele de apă au fost colectate în fiecare zi, dimineața la ore aproximativ egale, iar la fața locului a fost măsurată pH-ul, conductivitatea electrică și temperatura apei, cu ajutorul unui pH/Cond 340i metru (Fig. 8.1) și temperatura asfaltului cu ajutorul unui termometru cu laser.



Fig. 8. 1 Măsurătorile realizate în teren cu ajutorul unui pH/Cond 340i metru (WTW Handheld Multi-Parameter Instrument) (Ivan et al., 2016).

Apa pluvială scursă și acumulată la suprafața arealului urban, poate fi contaminată cu metale grele sau alți compuși toxici. În cadrul studiului de față au fost analizați următorii indicatori ai calității apei asociate mediului urban:

- Consumul chimic de oxigen (CCO_{Cr});
- Consumul biochimic de oxigen la 5 zile (CBO_5);
- Carbonul organic total (COT);

- Materiile în suspensie (MS);
- Materiile în suspensie sedimentabile (MSS);
- Clorurile (Cl^-);
- Sodiul (Na^+);
- Fosforul total (P);
- Ortofosfații (PO_4);
- Azotul total (NT);
- Azot total Kjeldahl (TKN);
- Azotul organic (Norg);
- Azotul amoniacal ($\text{NH}_4 - \text{N}$);
- Azotiții ($\text{NO}_2\text{-N}$);
- Azotații ($\text{NO}_3\text{-N}$);
- Bacteriile Coliforme;
- Metale grele:
 - Fierul (Fe);
 - Cuprul (Cu);
 - Nichelul (Ni);
 - Zincul (Zn);
 - Plumbul (Pb);
 - Mercurul (Hg).

Toți acești indicatori ai calității apei au fost analizați în cadrul laboratorului Stației de Epurare din Budapesta, iar pH, conductivitatea electrică și temperatura apei la fața locului.

8.3 Analiza Componentelor Principale

Datorită numărului ridicat de parametri analizați în cadrul studiului (în total 24 de parametri) o analiza bivariată nu ar fi fost suficient de relevantă, motiv pentru care s-a recurs la folosirea unei metode multivariate. Din cadrul metodelor multivariate a fost aplicată metoda Analizei Componentelor Principale (PCA). Analiza și prelucrarea datelor s-a realizat cu ajutorul extensiei XLSTAT în cadrul programului Microsoft Excel și SPSS.

8.4 Identificarea sursei poluanților pe perioade de timp

- *Perioada rece*

Rezultatele analizei PCA (Fig. 8.2) au evidențiat o relație puternică între majoritatea metalelor grele (cu excepția mercurului) în apa pluvială acumulată la suprafața drumurilor ceea ce denotă o sursă comună a acestora (Ivan et al., 2016).

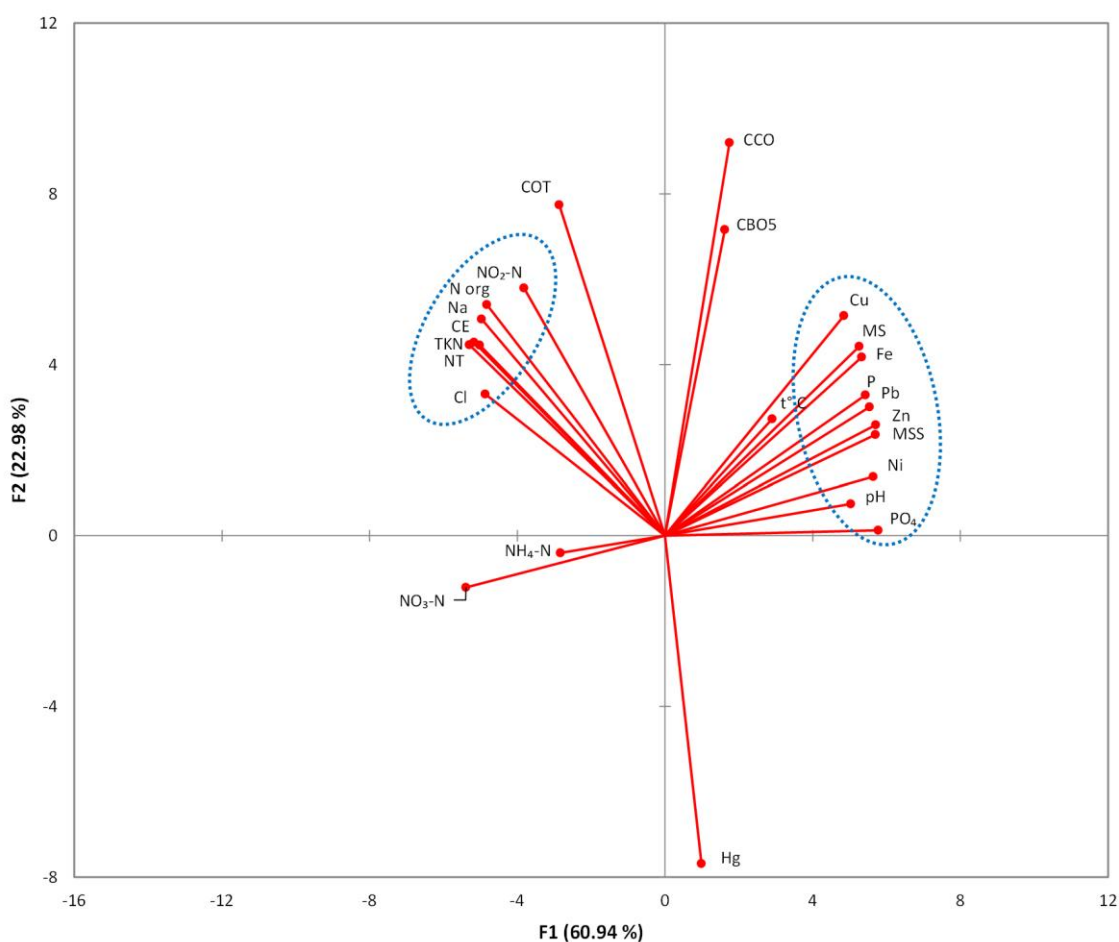


Fig. 8. 2 Analiza componentelor principale pentru parametrii fizico-chimici analizați în perioada rece (Ivan et al., 2016).

Sursa metalelor grele în apa pluvială scursă de la suprafața terenului includ transportul rutier, activitățile industriale (US EPA, 1999), corозиunea clădirilor, depunerile atmosferice, diverse scurgeri intenționate sau accidentale (Herngren et al., 2005). Sursa principală a Zn și Cu în apa de la suprafața arealului urban o reprezintă acoperișurile (Bannerman et al., 1993; Brown și Peake, 2006; Chow et al., 2013; Gnecco et al., 2005). Lipsa corelației dintre mercur și parametrii analizați evidențiază faptul că sursa mercurului în scurgerile urbane de suprafață este alta decât a celorlalte metale grele. Conform studiilor

realizate de Eckley și Branfireun (2009), Hengren (2005) sursa mercurului în apă pluvială urbană de suprafață sunt depunerile atmosferice.

Legătură puternică între metalele grele (Fe, Cu, Ni, Zn și Pb) și materiile solide în suspensie (MS) evidențiază faptul că aceste metale grele prezente în apa pluvială de pe suprafața drumurilor sunt insolubile și sunt acumulate în materiile solide în suspensie (Ivan et al., 2016). Sursele materiilor solide în suspensie în apa pluvială urbană pot fi activitățile umane, eroziunea suprafețelor permeabile sau depuneri atmosferice (US EPA, 1999).

Corelația directă dintre metalele grele respectiv TP și PO₄ evidențiază faptul că majoritatea metalelor grele analizate sunt prezente în formă de fosfați și sunt insolubile. Sursa fosforului și azotului în apa urbană de suprafață sunt detergenții, depunerile atmosferice sau resturile animale (US EPA, 1999).

Relația dintre compușii azotului, evidențiază o legătură puternică între acestea, ceea ce indică o altă sursă a acestora în apa pluvială acumulată la suprafața drumului (resturile vegetale sau animale), în perioada rece (Ivan et al., 2016).

- *perioada caldă*

Rezultatele analizei PCA evidențiază o relație între metalele grele analizate (cu excepția Hg) respectiv MS și P, ceea ce denotă faptul că aceste metale grele prezente în apa pluvială de pe suprafața drumurilor în perioada caldă sunt insolubile și sunt acumulate în materiile solide în suspensie în formă de fosfați, similar perioadei reci.

Această relație dintre metalele grele, respectiv MS și P este observată în cadrul analizei de regresie din Fig. 8.3 unde se poate observa că între concentrația Zn, respectiv MS și P existând o relație directă.

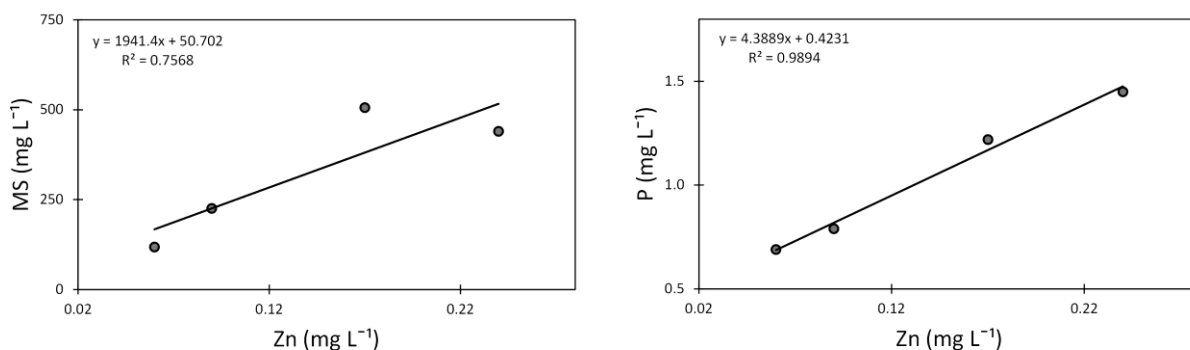


Fig. 8. 3 Ilustrarea relației dintre Zn respectiv MS și P în perioada caldă.

Un alt indicator important al calității apei o reprezintă bacteriile Coliforme. Bacteriile Coliforme au fost analizate pentru fiecare probă de apă prelevată din cele trei zone (industrial, rezidențial și comercial) corespunzătoare perioadei calde. Sursa bacteriilor Coliforme în apa acumulată pe suprafața drumurilor o pot reprezenta păsările, acestea provenind din intestinale animale (în special homeoterme).

În perioada caldă materiile solide în suspensie au un impact chimic asupra calității apei pluviale acumulate la suprafața arealului urban datorită metalelor grele și a unor nutrienți acumulați în acestea. Rezultatele analizei componentelor principale au evidențiat o relație puternică între Fe, Cu, Pb și Zn în această perioadă, ceea ce denotă de asemenea o sursă comună a acestora (traficul rutier). Excepție face mercurul a cărui sursă ar putea fi și în perioada caldă depunerile atmosferice.

8.5 Evaluarea gradului de poluare a apei pluviale de pe suprafața drumurilor

Gradul de poluare a apei pluviale urbane de suprafață este dată de valorile indicatorilor de calitate ai apei.

Pentru a evalua gradul de poluare a apei pluviale în condițiile evacuării acesteia în rețeaua de canalizare am comparat valorile indicatorilor de calitate apei măsurate, cu valorile maxime admise prevăzute în *Normativul NTPA – 002* (H.G. 352/2005). În cadrul Normativului NTPA-002 au fost stabilite valorile maxime admise doar pentru 11 indicatori ai calității apei din cei 24 analizați.

În condițiile *evacuării apei în rețeaua de canalizare*, gradul de poluare a acesteia, cu materie organică a fost ridicat în zona rezidențială pentru perioada rece și în zona industrială pentru perioada caldă. Valorile scăzute a $\text{NH}_4^+\text{-N}$ și P în cele două perioade indică un grad foarte scăzut de poluare a apei acumulate la suprafața drumurilor cu aceste substanțe.

Gradul de poluare a apei cu Cu a fost ridicat în perioade rece în toate cele trei zonele de eșantionare, iar în perioada caldă doar în zona industrială (Fig. 8.4). În cele două perioade influența zincului și plumbului asupra degradării calității apei a fost minimă.

Poluarea apei cu MS a fost ridicată în zona industrială în ambele perioade și scăzută în zona comercială. Influența MS asupra degradării calității apei în zona rezidențială a fost mai mare în perioada rece decât în cea caldă.

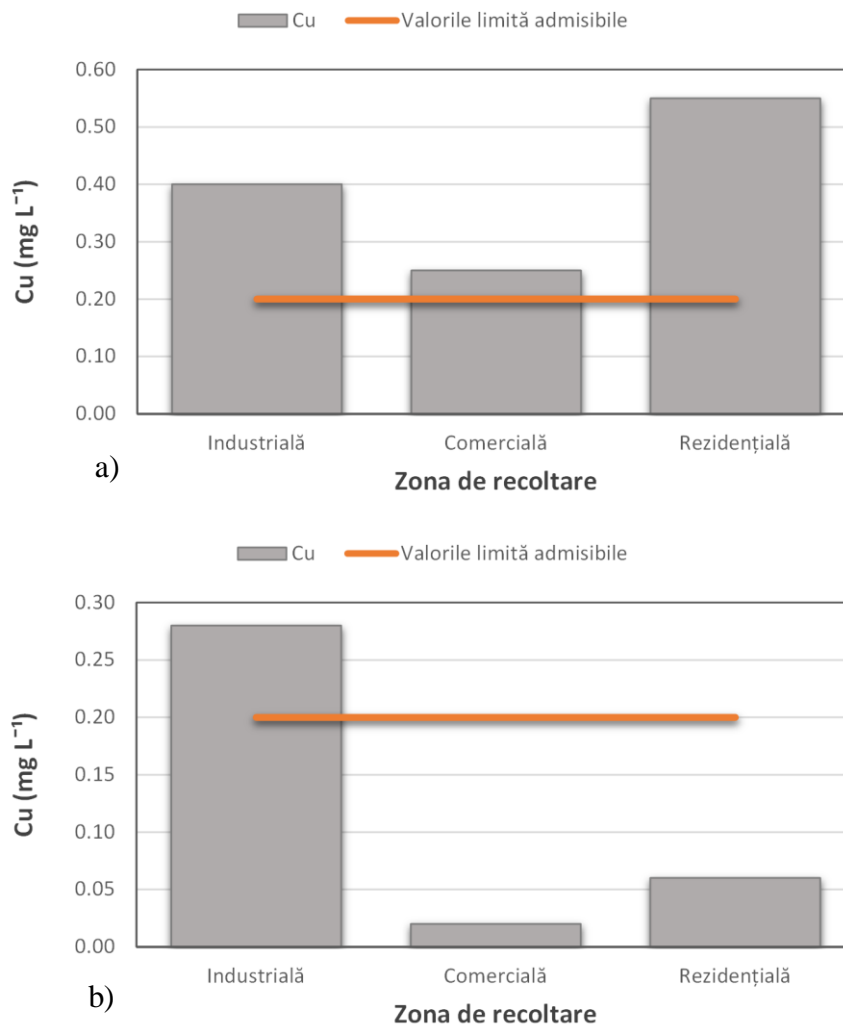


Fig. 8. 4 Variația Cu în cele trei zone urbane și limita maximă admisă. a) perioada rece; b) perioada caldă (Haidu și Ivan, 2015).

Pentru a evalua gradul de poluare a apei pluviale scursă de pe suprafața drumurilor direct în receptorii naturali, am comparat valorile indicatorilor de calitate a apei măsurate, cu valorile maxime admise pentru 17 indicatori ai calității apei, conform legislației naționale în vigoare (H.G. 352/2005).

În condițiile *descărcării apei în receptori naturali* gradul de poluare a apei ar fi ridicat cu Cloruri în perioada rece, pentru toate zonele de eșantionare. Gradul de poluare a apei cu Cloruri în perioada rece se datorează folosirii lor în îndepărtarea formării zăpezii sau gheții pe suprafața drumurilor cu amestec de sare și nisip, iar o altă sursă o reprezintă soluțiile destinate curățării parbrizelor.

Din cadrul metalelor grele, gradul de poluare a apei ar fi ridicat cu Zn în perioada rece în zonele industrială și rezidențială, iar în perioada caldă doar în zona industrială. Conținutul de Fe ar fi ridicat în perioada rece în toate zonele de eșantionare, iar în perioada

caldă doar în zona industrială și în proporții scăzute în zona rezidențială. De asemenea, în condițiile deversării apei pluviale în receptori naturali gradul de poluare a apei cu Hg, ar depăși valoarea maximă admisă doar în perioada verii, în toate zonele de eșantionare, în perioada iernii influența mercurului asupra degradării calității apei ar fi minimă (Fig. 8.5). Poluarea apei cu MS ar fi ridicată în perioada rece, în toate zonele de eșantionare, iar în perioada caldă în zona industrială și în proporții scăzute în cea rezidențială.

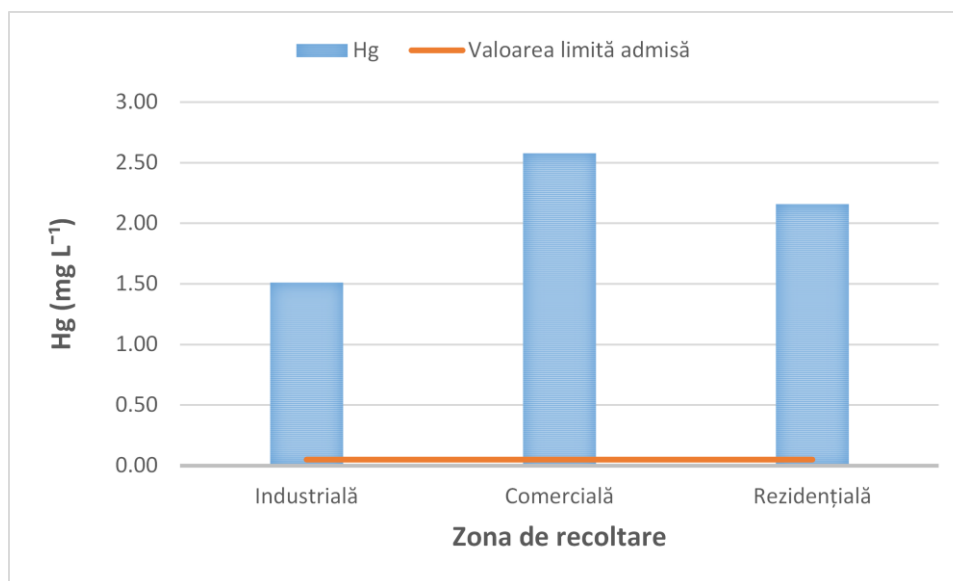


Fig. 8. 5 Variația Hg în cele trei zone urbane și limita maximă admisă în situația evacuării apei în receptori naturali. a) perioada rece; b) perioada caldă.

Analizele arată că apa pluvială scursă pe suprafața drumurilor de multe ori conține poluanți care depășesc limita maximă admisă, în cazul în care ar fi descărcate direct în receptori naturali. Astfel chiar și în cazul folosirii unor sisteme separate de evacuare a apei, ar fi indicată o tratare a apei pluviale înainte de descărcarea acestuia în receptori naturali.

9. MANAGEMENTUL APEI PLUVIALE ÎN VEDEREA REDUCERII VOLUMULUI DE APĂ SCURS ȘI ÎMBUNĂȚIREA CALITĂȚII APEI DE LA SUPRAFAȚA AREALUL URBAN

În prezent multe areale urbane se confruntă cu degradarea calității apei scurse și acumulate la suprafața arealului, iar volumul ridicat de apă scurs la suprafața arealului urban se datorează de cele mai multe ori ariei mari ocupate cu suprafețe impermeabile.

În vederea reducerii volumului de apă scurs și îmbunătățirii calității apei de la suprafața terenului, pot fi implementate o serie de soluții, din care am putea aminti implementarea unor tehnici de captare și stocare a apei pluviale de pe acoperișuri.

9.1. Metodologia de estimare a volumului de apă scurs de pe o zonă de captare impermeabilă (acoperișuri)

În cadrul capitolului de față am urmărit estimarea volumului de apă scurs de pe acoperișuri pentru un areal de 0,68 km² din municipiul Cluj-Napoca, care poate veni în ajutorul autorităților locale în vederea implementării unor tehnici de colectare și stocare durabilă a acesteia.

- *Modelul Michel Simplified SCS-CN (MSCN)*

Pe baza modelului SCS-CN, a fost dezvoltat modelul Michel Simplified SCS-CN (MSCN). Acest model se bazează pe condițiile de umiditate ale solului (Haidu și Ivan, 2015) și a fost dezvoltat pentru trei condiții de umiditate ale solului sub forma (Michel et al. (2005) citat de Singh et al., 2013):

$$\text{Pentru AMC I : } Q = P \frac{P}{S + P} \quad (9.1)$$

$$\text{Pentru AMC II : } Q = P \frac{(0.48S + 0.72P)}{(S + 0.72P)} \quad (9.2)$$

$$\text{Pentru AMC III: } Q = P \frac{(0.79S + 0.46P)}{(S + 0.46P)} \quad (9.3)$$

Unde,

Q –scurgerea directă

P –precipitațiile totale

S – potențialul maxim de retenție

AMCI - condițiile uscate

AMC II – condițiile normale

AMC III - condițiile umede ale bazinului.

Estimarea volumului de apă care ar putea fi ulterior captată de pe acoperișuri, s-a realizat pe baza datelor zilnice de precipitații, colectate și analizate pentru perioada 1969-2013 (ECA&D), aplicând modelului (9.3) care este adaptat suprafețelor umede sau complet impermeabile (Sahu et al, 2007; Singh et al, 2013).

În cadrul perioadei analizate, în ceea ce privește media lunară a precipitațiilor cele mai ridicate valori au corespuns lunilor iunie (95,3 mm), iulie (93 mm), mai (75 mm) și august (66,8 mm), ceea ce denotă faptul că în sezonul de vară s-ar putea capta cele mai mari volume de apă scurse de pe acoperișuri și care ulterior ar putea fi revalorificate (Haidu și Ivan, 2015).

În estimarea volumului de apă scurs de pe acoperișuri pe lângă datele zilnice de precipitații utilizate, a fost atribuit un indice CN 98 suprafețelor complet impermeabile (clădiri) (Haidu și Ivan, 2015).

9.2. Potențialul de apă scurs de pe acoperișurile clădirilor, estimată pe zile și luni

Rezultatele estimării volumului de apă scurs de pe cuprinsul acoperișurilor pentru fiecare zi a anului 2013, au evidențiat o cantitate mare de apă în sezonul de vară (Haidu și Ivan, 2015). Cantitatea cea mai mare de apă pluvială scursă pe zi de pe suprafața acoperișurilor corespunde evenimentului ($P = 25$ mm) înregistrat în luna iulie cu o cantitate de 23,3 mm (Fig. 9.3c).

Pentru luna iunie cantitatea cea mai mare de apă scursă (21,6 mm) corespunde evenimentului ($P = 23,2$ mm) (Fig. 9.3b), iar în lunile mai și august cantitățile cele mai mari de apă scurse au fost de 12,6 mm, respectiv 19,4 mm (Haidu și Ivan, 2015).

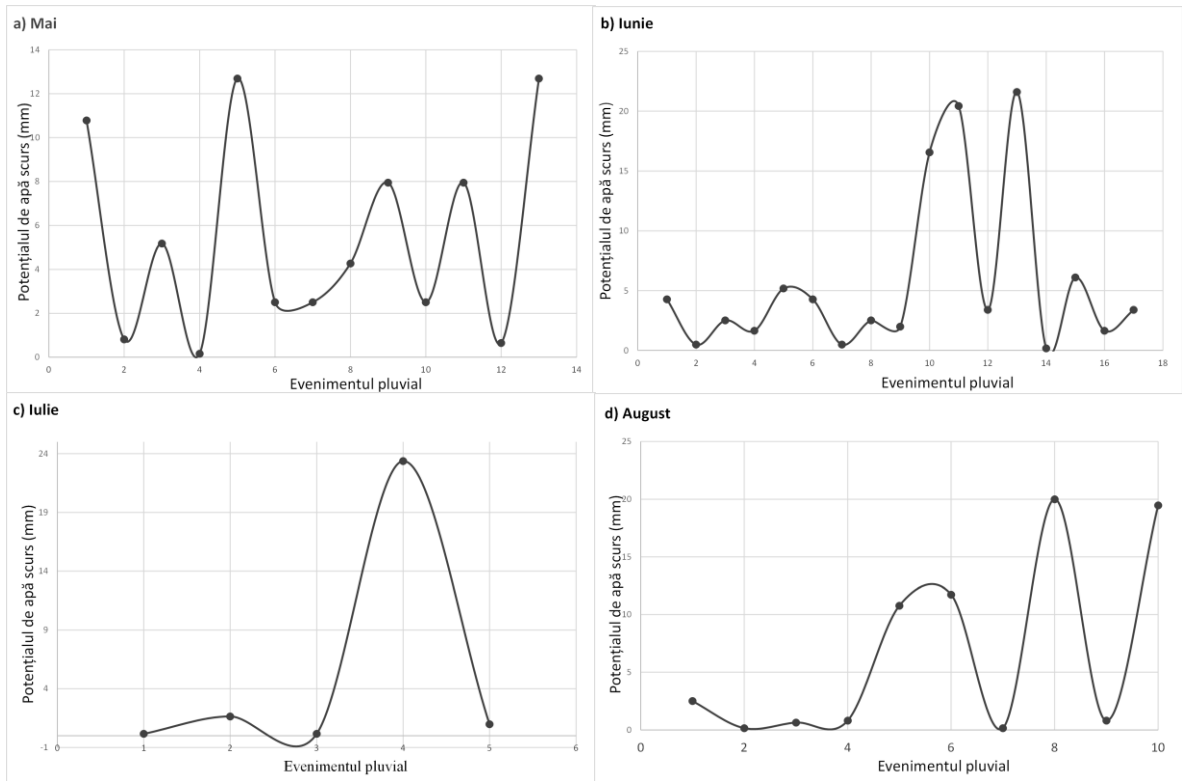


Fig. 9. 1 Potențialul zilnic de apă scurs de pe acoperișuri corespunzător lunilor Mai, Iunie, Iulie, August (Haidu și Ivan, 2015).

Acoperișurile prezintă un procent mare de suprafețe impermeabile din cadrul unui areal urban și sunt cele mai folosite în colectarea apei pluviale în zonele urbane. Colectarea apei pluviale de pe acoperișuri poate aduce o serie de beneficii, cum ar fi: utilizarea acesteia la spălarea drumurilor, la irigarea grădinilor, la reducerea volumului de apă scurs la nivelul suprafeței urbane (Haidu și Ivan, 2015), respectiv la reducerea costurilor de tratare a apei uzate. Reutilizarea apei captate în perioada uscată pentru spălarea drumurilor ar fi utilă deoarece, verile uscate sau perioadele uscate dintre evenimentele ploioase, permit acumularea poluanților pe rețelele rutiere sau pe acoperișurile clădirilor (Haidu și Ivan, 2015).

CONCLUZII

În cadrul lucrării am urmărit, estimarea impactului urbanizării asupra scurgerii de suprafață, precum și analizarea calității apei pluviale acumulate pe suprafața arealului urban.

Prelucrarea și analizarea datelor obținute prin teledetecție pentru perioada cuprinsă între 1986-2014 au evidențiat o creștere a suprafețelor impermeabile de 6% (1986-1993), 5% (1993-2002) și 8% (2002-2014).

În urma evaluării răspunsului hidrologic la creșterea suprafețelor impermeabile în perioada cuprinsă între 1986-2014, rezultatele au evidențiat o creștere a fluxurilor de vârf, a volumului de apă scurs și o scădere a pierderilor totale, concomitent cu creșterea acestor suprafețe.

În urma delimitării fluxurilor de apă pe baza unui DSM și DEM, rezultatele au evidențiat o tendință a căilor de scurgere rezultate pe baza DSM care urmează în general linia străzilor, trotuarelor, ocolind clădirile, iar cele obținute pe baza DEM în anumite areale se suprapun peste clădiri. Identificarea zonelor depresionare pe lunca, versantul și interfluviul urbanizat din Cluj-Napoca a evidențiat un număr ridicat de depresiuni în lunca urbanizată, pe terasele și versanții urbanizați, zonele depresionare au un caracter temporar. Identificarea căilor de scurgere și a zonelor depresionare pe baza a patru seturi de date altitudinale cu rezoluții spațiale diferite (SRTM DEM, ASTER DEM, DEM 5x5 și 20x20 m) au reliefat o relație liniară directă între scăderea numărului de zone depresionare și de căi de scurgere concomitent cu scăderea rezoluției spațiale a seturilor de date.

Evaluarea calității apei pluviale acumulate pe suprafața drumurilor au evidențiat o serie de posibile surse a poluanților prezenți în apa pluvială: (1) traficul rutier pentru metalele grele Fe, Cu, Zn, Ni și Pb, (2) depunerile atmosferice pentru Hg, (3) resturile vegetale și animale pentru compușii azotului, (4) acoperișurile pentru Zn și Cu, (5) detergenții folosiți la spălarea mașinilor pentru fosfor, (6) soluțiile destinate curățării parbrizelor și amestecul folosit în dezăpezire pentru cloruri. Analizând gradul de poluare a apei în condițiile evacuării acesteia în rețeaua de canalizate, rezultatele au evidențiat un grad ridicat de poluare a apei cu Cu în perioade rece în toate cele trei zonele de eșantionare, iar în perioada caldă doar în zona industrială. Gradul de poluare a apei cu Zn și Pb a fost minimă. Poluarea apei cu MS a fost ridicată în zona industrială în ambele perioade și scăzută în zona comercială. Evaluarea gradului de poluare a apei pluviale urbane în condițiile deversării acesteia direct în receptorii naturali, a evidențiat un grad

ridicat de poluare cu Cloruri în perioada rece. Gradul de poluare a apei cu Zn ar fi ridicat în perioada rece în zona industrială și rezidențială, cu Fe ar fi ridicat în perioada rece în toate zonele de eșantionare, cu Hg ar depăși valoarea maximă admisă doar în perioada verii, în toate zonele de eșantionare, iar poluarea apei cu MS ar fi ridicat în perioada rece, în toate zonele de eșantionare.

Estimarea volumului de apă scurs de pe acoperișuri, în vederea colectării și stocării ei ulterioare, a evidențiat un potențial de apă scurs ridicat corespunzătoare lunilor de vară. Cantitatea cea mai ridicată de apă scursă într-o zi (23 mm) a fost înregistrată în luna iulie pentru anul 2013, iar cantitatea cea mai ridicată apă scursă pe lună a corespuns lunii iunie (96,5 mm). Apa colectată poate fi utilizată pentru spălarea străzilor, irigarea grădinilor.

În vederea reducerii volumului de apă scurs și a îmbunătățirii calității apei de la suprafața terenului, în viitor ar trebui găsite și implementate unele soluții durabile de către autoritățile locale, cum ar fi redimensionarea rețelei de canalizare sau reabilitarea tramei stradale, pavarea trotuarelor și a parcarilor cu pavaj permeabil, pentru a permite infiltrația apei în sol, implementarea unor tehnici de colectare a apei, respectiv extinderea spațiilor urbane verzi (a terenurilor de agrement, parcurilor, a zonelor verzi din apropierea străzilor și trotuarelor).

BIBLIOGRAFIE SELECTIVĂ

- Bannerman R. T., Owens D. W., Dodds R. B., Hornewer N. J. (1993) Sources of pollutants in Wisconsin stormwater. – *Water Sci Technol*, 28 (3-5), 241–59.
- Biali G. (2012), The layer “Hydrogeology” necessary for elaborating landslide hazard maps 21 using GIS, *Geographia Napocensis*, Anul VI, Nr. 2, Academia Română - filiala Cluj-22 Napoca, Editura Casa Cărții de Știință, p. 158-163, ISSN 1843-5920, 2012.
- Biali G., Statescu Fl., Pavel V.L. (2013) Using GIS technique in evaluation of a terrain affected by 1 heavy metal pollution, *Proceedings of Global Conference on Environmental Studies 2 (CENVISU-2013)*, 1, 825-836, 24-27, Turkey.
- Brown J. N., Peake B. M. (2006) Sources of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons in urban stormwater runoff. *Sci. Total Environ.*, 359, 145–1.
- Chow M. F., Yusop Z., Shirazi S. M (2013) Storm runoff quality and pollutant loading from commercial, residential, and industrial catchments in the tropic. *Environmental Monitoring and Assessment*, 185, 8321-8331.

- Coțiu H. V. (2007) Culoarul Mureșului dintre Reghin și confluența cu Arieșul. Studiu de hidrologie urbană, Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca.
- De Carvalho O., Guimarães R., Montgomery D., Gillespie A., Trancoso Gomes R. (2013) Karst Depression Detection Using ASTER, ALOS/PRISM and SRTM-Derived Digital Elevation Models in the Bambuí Group, Brazil. *Remote Sens.*, 6, 330–351.
- DEFRA (2008) UK Department of Environment, Food and Rural Affairs, River Hogsmill Integrated Urban Drainage DEFRA Pilot Study Ref: SLD 2303, 1, p. 8.
- Deng Y., Fan F., Chen R. (2012) Extraction and Analysis of Impervious Surfaces Based on a Spectral Un-Mixing Method Using Pearl River Delta of China Landsat TM/ETM+ Imagery from 1998 to 2008. *Sensors* 2012, 12, 1846-1862.
- Dobos E., Daroussin J., (2005) The derivation of the potential drainage density Index (PDD). In Dobos, D. (Eds.), *An SRTM-based procedure to delineate SOTER terrain units on 1:1 and 1:5 million scales*, Luxemburg: Office of Official Publications of the European Communities.
- Eckley C. S., Branfireun B. (2009) Simulated rain events on an urban roadway to understand the dynamics of mercury mobilization in stormwater runoff. *Water Res.* 43, 3635–3646.
- Egodawatta P., Goonetilleke A. (2008) Understanding urban road surface pollutant wash-off and underlying physical processes using simulated rainfall. *Water Science and Technology*, 57 (8), 1241-1246.
- Egodawatta P., Thomas E., Goonetilleke A. (2007) Mathematical interpretation of pollutant wash-off from urban road surfaces using simulated rainfall. *Water Research*, 41, 3025– 3031.
- Evans B. (2008) Automated bridge detection in DEMs via LiDAR data sources for urban flood modelling. *Proc 11th Int.Conf. on Urban Drainage*. August 2008 Edinburgh. IWA London, UK. ISBN 978 1899796 212.
- Gnecco I., Berretta C., LanZa L. G. (2005) Stormwater pollution in the urban environment of Genoa, Italy. *Atmospheric Research*, 77, 60–73.
- Haidu I., Ivan K. (2015) Rainwater management aiming to improve the quality of urban surface runoff. *Studia Universitatis „Babeș-Bolyai”, Geographia*, 60 (2). (accepted).
- Haidu I., Ivan K. (2016 a) Overland flow delineation in various urban landforms. *Environmental Engineering and Management Journal* (under review).

- Haidu I., Ivan K. (2016 b) The assessment of the impact induced by the increase of impervious areas on surface runoff. Case study the city of Cluj-Napoca, Romania. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. (under review).
- Haidu I., Ivan K. (2016 c) La tendance du ruissellement et du volume d'eau ruisselé en surface urbaine. Étude de cas: Bordeaux, France. *La Houille Blanche* (under review).
- Helmreich B., Hilliges R., Schriewer A., Horn H. (2010) Runoff pollutants of a highly trafficked urban road – Correlation analysis and seasonal influences. *Chemosphere*, 80(9), 991-997.
- Herngren L. (2005) Build-up and Wash-off Process Kinetics of PAHs and Heavy Metals on 34 Paved Surfaces Using Simulated Rainfall. – PhD Dissertation, Queensland University 35 of Technology, Brisbane.
- Herngren L., Goonetilleke A., Ayoko G. A. (2005) Understanding heavy metal and suspended solids relationships in urban stormwater using simulated rainfall. – *Journal of Environmental Management*, 76, 149-158.
- Hilliges R., Schriewer A., Helmreich B. (2013) A threestage treatment system for highly polluted urban road runoff. *J. Environ. Manage.*, 128, 306-312.
- Hodgson M. E., Jensen J. R., Tullis J. A., Riordan K. D., Archer C. M. (2003) Synergistic use of LiDAR and color aerial photography for mapping urban parcel imperviousness. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 69, 973–980.
- Ivan K. (2015) The spatio-temporal analysis of impervious surfaces in Cluj-Napoca, Romania. *Geographia Technica*, 10 (2), 50-58.
- Ivan K., Barabás Gy., Haidu, I. (2016) Urban road runoff quality from three different surfaces in the cold season. *Urban Water Journal*. (submitted).
- Jenson S. K., Domingue J. O. (1988) Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogramm. Engng Remote Sens.*, 54 (11), 1593–1600.
- Jones T., Johnston C. Kipkie C. (2003) Using Annual Hydrographs to Determine Effective Impervious Area. Chapter 14 in: *Practical Modeling of Urban Water Systems*, Monograph, 11, 291-306.
- Liu X., Zhang Z. (2010) Extracting drainage network from high resolution DEM in Toowoomba, Queensland, *Proceedings of Queensland Surveying and Spatial Conference*, Brisbane, Queensland, Australia.
- Lu D., Moran E., Hetrick S., Li G. (2012) Mapping Impervious Surface Distribution with the Integration of Landsat TM and QuickBird Images in a Complex Urban-Rural

- Frontier in Brazil (Chapter 13) In: Chang Ni-B., editor. *Environmental Remote Sensing and Systems Analysis*. Boca Raton, FL: CRC Press/Taylor and Francis, 2012, 277–296.
- Lu D., Song K., Zeng L., Liu D., Khan S., Zhang B., Wang Z., Jin C. (2008) Estimating impervious surface for the urban area expansion: Examples from changchun, northeast China. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36 (Part B8), 385-391.
- Lu D., Weng Q. (2006) Use of impervious surface in urban land-use classification. *Remote Sensing of Environment*, 102, 146–160.
- Lu D., Weng Q. (2009) Extraction of urban impervious surfaces from IKONOS imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 30(5), 1297–1311.
- Mahbub P., Ayoko G. A., Goonetilleke A., Egodawatta P. (2001) Analysis of the Build-up of Semi and Non Volatile Organic Compounds on Urban Roads. – *Water Res.*, 45, 2835-2844.
- O'Callaghan J. F., Mark D. M. (1984) The extraction of drainage networks from Digital Elevation Data. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 28, 323-344.
- Parece T. E., Campbell J. B. (2013) Comparing Urban Impervious Surface Identification Using Landsat and High Resolution Aerial Photography. *Remote Sensing*, 5, 4942-4960.
- Podobnikar T. (2012) Detecting mountain peaks and delineating their shapes using digital elevation models, remote sensing and geographic information systems using autometric methodological procedures. *Remote Sens.*, 4, 784–809.
- Pourali H., Arrowsmith C., Mitchell D., Matkan A. (2014) Modelling and overland water flow path in an urban catchment using GIS. *Geoinformatica*, 4 (1), 1-19.
- Sahu R. K, Mishra S. K., Eldho T. I., Jain M. K. (2007) An advanced soil moisture accounting procedure for SCS curve number method. *Hydrol. Process.* 21, 2872–2881.
- Shahtahmassebi A., Zhou L., Wang K., Xu H., Deng J., Li J., Luo R., Wu J., Moore N. (2012) Monitoring rapid urban expansion using a multi-temporal RGB-impervious surface model. *Environmental Engineering*, 13 (2), 146-158.
- Singh P. K., Yaduvanshi B. K., Patel S., Ray S. (2013) SCS-CN Based Quantification of Potential of Rooftop Catchments and Computation of ASRC for Rainwater Harvesting. *Water Resour Manage*, 27, 2001-2012.
- Stănescu V. Al. (1995) *Hidrologie urbană*. Edit. Didactică și Pedagogică, București.

- Sutherland R. C. (2000) Methods for Estimating the Effective Impervious Area of Urban Watersheds. *The Practice of Watershed Protection*, Article 32, 193-195.
- Tarboton D. G., Ames D. P. (2001) Advances in mapping of flow networks from digital elevation data. *World Water and Environmental Resources Congress*, May 24, Orlando, Florida, USA.
- US EPA (1999). *Preliminary data summary of urban storm water best management practices*. EPA-821-R-99-012, U. S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
- USACE (2000) U. S. Army Corps of Engineers - Hydrologic Modeling System HECHMS – Technical Reference Manual, U. S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Weng Q. (2001) Modelling urban growth effects on surface run-off with the Integration of Remote Sensing and GIS. *Environ. Manage.* 28, 737–748.
- Westerlund C., Viklander M., Backstrom M. (2003) Seasonal variations in road runoff quality in Lulea, Sweden. *Water Sci. Technol.* 48, 93–101.
- Xu H. Q. (2007) Extraction of urban built-up land features from Landsat imagery using a thematic-oriented index combination technique. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(12), 1381–1391.
- Yuan F., Bauer M. E. (2007) Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 106 (3), 375–386.
- Zaharia L. (2006) Tehnicile alternative la sistemele clasice de canalizare și rolul lor în diminuarea riscului la inundațiile pluviale urbane. *Riscuri și Catastrofe*, 3, 43 – 54.
- *** GEONET (2004) Planuri topografice 1:500. Executant GEONET s.r.l. - Târgoviște.
- ***ECA&D (2015) European Climate Assessment, [Disponibil online la] : <http://eca.knmi.nl/> [Accesat iunie 2015].
- ***GMES Urban Atlas (2009). European Environment Agency. [Disponibil online la]: www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas [Accesat mai 2015].
- ***Google Earth (2014). Google Earth Images. [Disponibil online la]: www.google.ro [Accesat mai 2014].
- ***H.G. 352/2005 - Hotărârea Guvernului nr. 352/2005 privind modificarea și completarea Hotărârii Guvernului nr. 188/2002 pentru aprobarea unor norme privind condițiile de descărcare în mediul acvatic a apelor uzate, publicată în Monitorul Oficial al României, nr. 398 din 11/05/2005.

- ***IGFCOT (1974) Planuri topografice 1:5000. Institutul de Geodezie, Fotogrametrie, Cartografie și Organizarea teritoriului.
- ***INS (2015). Institutul Național de Statistică. [Disponibil online la] <http://www.insse.ro/> [Accesat iulie 2015].
- ***SIGSTAR-200 (2011). Sistemul Informatic Geografic al Resurselor De Sol. [Accesat martie 2014].
- ***UA CDC (2010). Low Impact Development Manual for Arkansas, University of Arkansas Community Design Center. [Disponibil online la] <http://uacdc.uark.edu>. [Accesat martie 2015].
- ***USGS (2014) U.S. Geological Survey. [Disponibil online la] www.landsat.usgs.gov. [Accesat noiembrie 2014].