GEOGRAFICKÝ ČASOPIS

47 1995 4

*Ján Hanušin**

ANALÝZA VPLYVU URBÁNNEJ KRAJINY NA HYDROLOGICKÝ CYKLUS ÚZEMIA

Ján Hanušin: The analysis of the impact of urban landscape on hydrologic cycle of the area. Geogr. čas., *47*, 4, 1995, 15 refs.

The study suggests at complicated problems in relation between artifical system of urban landscape and natural hydrological cycle. On the background of definition of natural hydrological cycle, watermanagement and technological cycle of water it is claimed that urban landscape is a place of their mutual interacion and at the same time a specific urban hydrological system is arising here. In the next part of the study specificity of hydrological cycle in urban landscape, especially precipitation and runoff are analysed. Both these balance elements are considerably modified in urban landscape. In towns precipitation sums are higher and runoff is more quick comparing with those in adjacent natural landscape. Values of specific discharge from intravilan of mid size Slovak town is of the same value as that from the highest parts of Slovak dissected highlands. As mitigation measure of negative impact of urban landscape on runoff it is necessary to prolong the retention period by infiltration of precipitation but also by multiple and reduced use of water.

Key words: urban hydrology, hydrological cycle, impact of urban landscape on hydrological cycle

ÚVOD

Štúdium miest (urbánnych systémov) a sídiel bolo a vo veľkej miere stále je doménou disciplín humánnej geografie.

Prirodzenou prioritou týchto výskumov sú sociálne, demografické, urbanistické či hospodárske problémy miest (urbánnych systémov) vo vzťahu k priestoru (krajine).

*Geografický ústav SAV, Štefánikova 49, 814 73 Bratislava

V súvislosti so zvyšujúcim sa tlakom človeka na prírodu, a s postupujúcou urbanizáciou možno zaznamenať vznik a rozvoj ďalších vedných odborov interdisciplinárnej povahy, v ktorých je objektom výskumu mesto (urbánna, mestská krajina). Tieto vedné odbory sa konštituujú na rozhraní prírodovedných, technických a čiastočne spoločenskovedných disciplín.

Jednou z vedných disciplín, ktoré sa prakticky dotvárajú len v posledných desaťročiach, je aj urbánna hydrológia - vedný odbor stojaci na rozmedzí vodohospodárskeho inžinierstva, hydrológie, urbanizmu a čiastočne aj krajinnej ekológie. Narastajúca urbanizácia vo väčšine krajín sveta prináša celý rad nežiadúcich antropogénnych vplyvov na všetky zložky prírodnej krajiny, vodu nevynímajúc. Mesto ako umelý a do značnej miery človekom kontrolovaný systém ovplyvňuje hydrologický cyklus územia prostredníctvom celého súboru väzieb rôznej kvality a intenzity, premenlivý v čase.

Úlohou predkladaného príspevku je analýza vplyvu urbánnej krajiny na hydrologický cyklus územia. Po vymedzení základných pojmov analyzujeme vzťah mesto (sídlo) - hydrologický cyklus, ktorý sa historicky etapovite vyvíjal v podstate od momentu vzniku prvého ľudského sídla. Človek - vodohospodár komunikuje s prírodnou krajinou (resp. jej časťou hydrosférou) cez systém procesov, ktorý označujeme ako vodohospodársky alebo technologický cyklus vody. Ich prostredníctvom sa modifikuje prírodný hydrologický cyklus. Analýze vplyvu urbánnej krajiny na základné bilančné zložky prírodného hydrologického cyklu je venovaná druhá časť príspevku.

VYMEDZENIE ZÁKLADNÝCH POJMOV

Hydrologický cyklus chápeme v zmysle Spiridonova (1980) ako neustále premiestňovanie vody na Zemi (v atmosfére, hydrosfére, zemskej kôre), ktoré prebieha pod vplyvom slnečnej radiácie a gravitačných síl. Tento proces má prirodzene veľmi variabilné kvantitatívne a kvalitatívne vlastnosti a zreteľnú časovú a priestorovú dynamiku, vyplývajúcu zo štruktúry krajiny príslušného územia. Na základe stupňa premeny pôvodnej krajiny môžeme rozlíšiť tri základné krajinné typy, ktorým zodpovedá príslušný hydrologický cyklus:

- prírodná krajina,
- kultúrna krajina,
- mestská (urbánna) krajina a
- priemyselná krajina, ktorú kvôli jednoduchosti v ďalšom texte budeme implicitne považovať za súčasť mestskej krajiny aj keď je zrejmé, že v mnohých prípadoch predstavuje tento typ krajiny samostatný fenomén.

Popri všeobecnom pojme hydrologický cyklus budeme tam kde si to kontext vyžaduje, používať prívlastok "prírodný" hydrologický cyklus, tzn. hydrologický cyklus prírodnej, prípadne kultúrnej (neurbanizovanej) krajiny v zmysle už uvedeného členenia.

Z dostupných definícií a diskusií je zrejmé, že presné vymedzenie spomínaných základných krajinných typov je nejednoznačné. Napríklad Mičian (1984) rozoznáva tri základné typy geosystémov (v skutočnosti zodpovedajúce krajinným typom), a to prírodné, prírodno-technické a socioekonomické, pričom urbánna krajina je súčasťou socioekonomických geosystémov. Podľa niektorých autorov z krajinnoekologickej školy bývalej NDR (cf. Mičian 1984, s. 69) sú mestské sídla súčasťou kultúrnej

krajiny. Forman a Godron (1993) ponúkajú ďalší príklad vymedzenia základných krajinných typov, keď rozlišujú prírodnú, obhospodarovanú, obrábanú, prímestskú a mestskú krajinu.

Ako je z vyššie uvedených členení zrejmé, mestská (urbánna) krajina reprezentuje najvyšší stupeň premeny pôvodnej prírodnej krajiny. V tomto zmysle sa niekedy v Holandsku ako protiklad termínu landscape (alebo *wildscape* v zmysle nedotknutá prírodná krajina) používa termín *townscape* (cf. Hengeveld, De Vocht 1982, s. 10).

Funkcie urbánneho priestoru sú natoľko diverzifikované, že komplexná definícia urbánnej krajiny by pravdepodobne nevyjadrila rozmanitosť takého mnohovrstvového fenoménu, akým je mesto. Z tohto dôvodu sa obmedzíme len na všeobecnú charakteristiku urbánnej krajiny, ako ju uvádzajú napr. Hengeveld a De Vocht (1982): Urbánna krajina je charakterizovaná koncentráciou obyvateľstva na relatívne malom priestore s veľkou diverzitou aktivít a vysokou frekvenciou interakcii, vyznačujúca sa koncentráciou rôznych zastavaných a nezastavaných priestorov.

V historickom vývoji sa mestá konštituovali ako centrá osídlenia spočiatku s obrannou funkciou, ku ktorej sa veľmi skoro pridali ďalšie typicky mestské funkcie ako napr.výroba, obchod, vzdelanie, vznik a šírenie informácii a pod. Zaujímavý prehľad vývojových štádií rastu miest a ich sprievodného vplyvu na hydrologický cyklus udávajú Savini a Kammerer (cf. Goodie 1986 s. 195), ktorí rozlišujú 4 štádiá - prechody vo vývoji miest vzhľadom na hydrologický cyklus územia, a to predurbánne, ranourbánne, stredourbánne a neskoro urbánne štádium. Prechod od predurbánneho do ranourbánneho štádia je charakterizovaný odstraňovaním stromov a vegetačného krytu, stavbou rozptýlených obydlí, budovaním studní a pod. Sprievodnými vplyvmi na hydrologický cyklus bol pokles transpirácie, nárast odtoku, mierne znižovanie hladín podzemných vôd a minimálna kontaminácia. Prechod od ranourbánneho do stredourbánneho štádia charakterizujú terénne úpravy, hromadná výstavba budov, presmerovanie niektorých tokov za účelom verejného zásobovania a odvádzanie nečistených odpadových vôd do riečnej siete. Sprievodnými negatívnymi vplyvmi boli zrýchlená erózia, znížená infiltrácia a zvýšené znečistenie vôd. Prechod od stredourbánneho štádia do štádia rozvinutej urbanizácie charakterizuje zintenzívnenie prevažne negatívnych zásahov z hľadiska hydrologického cyklu územia (rozmach výstavby, zvýšené vypúšťanie nečistených odpadových vôd a s tým spojené narastanie stupňa kontaminácie hydrosféry, z čoho vyplýva potreba postupne vyraďovať z užívania najdostupnejšie, resp. najľahšie kontaminovateľné vodné zdroje). Tu dopĺňame citovaných autorov konštatovaním, že po zavŕšení extenzívnej fázy nasleduje v rozvinutých spoločnostiach fáza intenzifikácie a racionalizácie rozvoja, prejavujúca sa napr. v súčasnosti v snahe o trvale udržateľné vodné hospodárstvo. Jeho hlavnými znakmi sú intenzifikácia a racionalizácia potreby a spotreby vody, dôkladné odvádzanie a čistenie odpadových vôd, redukcia rozlohy nepriepustných povrchov v mestách a pod. Možno tvrdiť, že všetky uvedené štádiá nájdeme v globále aj v súčasnosti (od etablovania miest, resp. sídiel mestského typu v málorozvinutých krajinách až po efektívne fungujúce mestá v najrozvinutejších krajinách s racionálnym vodným hospodárstvom).

Urbánnu krajinu môžeme z hľadiska pohybu a väzieb vody v jej rámci označiť ako zložito štrukturovaný systém, v rámci ktorého rozlišujeme viaceré subsystémy s časovo a priestorovo diferencovanou mierou interakcií. Táto diferenciácia vyplýva zo stretu, resp. koncentrácie prírodných a človekom do rôznej miery kontrolovaných procesov na relatívne malej ploche. Keď vychádzame z našich predošlých úvah (Hanušin 1994, 1995) urbánna krajina je miestom prieniku troch cyklov obehu vody: prírodného hydrologického cyklu, vodohospodárskeho cyklu a technologického cyk-

lu vody, ktoré sa rôznou mierou podieľajú na tvorbe priestorovo limitovaného urbánneho hydrologického cyklu. Tu považujeme za potrebné zdôrazniť rozdiel medzi prírodným hydrologickým cyklom, vodohospodárskym a technologickým cyklom vody. Prírodný hydrologický cyklus chápeme v zmysle prirodzeného obehu vody, ktorý je vlastný prírodnej krajine. Ak do takto chápaného prírodného hydrologického cyklu vstupuje človek svojimi priamymi a nepriamymi antropogénnymi vplyvmi, prírodný hydrologický cyklus sa modifikuje a vtedy hovoríme o vodohospodárskom cykle, ktorý je vlastný kultúrnej a urbánnej krajine. Vodohospodársky cyklus chápeme ako pojítko medzi prírodným hydrologickým cyklom a technologickým cyklom vody, ktorý je vlastne špecifickým prípadom vodohospodárskeho cyklu. V rámci vodohospodárskeho cyklu môžeme rozlíšiť dve úrovne intenzity zapojenia vody do tohto cyklu, ktoré súčasne reprezentujú aj jeho identifikačné znaky. Sú nimi pohyb vody v umelom systéme a pohyb vody v umelom systéme pomocou permanentne dodávanej energie. Príkladom prvej úrovne môže byť umelá nádrž, odvodňovací alebo závlahový systém (gravitačný), príkladom druhej úrovne môže byť odvodňovací alebo závlahový systém založený na čerpaní vody. Technologický cyklus vody je kontrolovaný prakticky úplne človekom, je vlastný priemyselnej krajine. Prostredníctvom procesov vodohospodárskeho cyklu (odbery, vypúšťania) je napojený na prírodný hydrologický cyklus. Pri prestupe vody z vodohospodárskeho cyklu do technologického cyklu sa okrem permanentne dodávanej energie naviac predpokladajú aj vedomé, do istej miery kontrolované, dočasné alebo nežiadúce trvalé zmeny fyzikálnych, chemických a biologických vlastností vody.

Opísané členenie je do istej miery zidealizované, zodpovedá environmentálne optimálnemu stavu, ktorý najčastejšie nachádzame vo vyspelých krajinách. V takýchto prípadoch voda odobratá z prírodného hydrologického cyklu prechádza cez vodohospodársky cyklus (komunálny, alebo podnikový, ak príslušný podnik má vlastné zdroje vody) do technologického cyklu a cez vodohospodársky cyklus (kanalizácia, ČOV) naspäť do prírodného hydrologického cyklu.

Vodohospodársky cyklus v modernom ponímaní (t.j. cyklus zabezpečujúci racionálne potrebné množstvo vody a jej dostatočné čistenie pred vypustením do prírodného hydrologického cyklu) absentuje napr. aj v prípade sídiel bez vodohospodárskej infraštruktúry (vodovody, kanalizácie, ČOV), kde je potreba vody saturovaná systémom priamych, prevažne individuálnych odberov a vypúšťaní z a do toku resp. zdrojov podzemných vôd. Takýto relatívne veľmi primitívny vodohospodársky cyklus existoval v mnohých našich mestách ešte začiatkom tohto storočia. Opačným extrémom sú urbánne krajiny väčšinou však len ich časti, kde v dôsledku absencie kvázi prírodných alebo iných priepustných povrchov (parky, záhrady a pod.), so 100 % podielom odberateľov zásobovaných z verejných vodovodov, úplne odkanalizovaných, sú súčasťou hydrologického cyklu len zrážky a výpar.

Urbánna krajina pôsobí na prírodný hydrologický cyklus aktívne a pasívne. Aktívne pôsobenie spočíva v odberoch vody, skanalizovaní (zrýchlení) odtoku a vo vypúšťaní vody, čo sú procesy vlastné vodohospodárskemu cyklu, realizované prostredníctvom vodohospodárskej infraštruktúry (odberné objekty, rozvody vody, kanalizácie, výpustné objekty, ČOV). Tu je dôležité zdôrazniť, že aktívne pôsobenie sídla na prírodný hydrologický cyklus možno veľakrát pozorovať aj v bližšom alebo vzdialenejšom zázemí miest v prírodnej krajine, menovite na miestach kde sú situované odberné objekty (studne, vodárenské nádrže, odberné profily na tokoch) alebo aj miesta vypúšťania odpadových vôd, ktoré sú takisto situované v mnohých prípadoch mimo intravilán mesta. Tento jav je starý takmer ako samotné mestá, pretože už mnohé staroveké mestá privádzali vodu dômyselnými privádzacími systémami zo

svojho okolia. Pasívne pôsobenie urbánnej krajiny vyplýva z viac-menej fyzickej existencie sídla ako takého. Prítomnosť budov, ich základov, nepriepustných povrchov (cesty, parkoviská a pod.) vytvára súbor faktorov transformujúcich najmä odtokové procesy a výpar.

Iný pohľad na urbánny hydrologický cyklus ponúkajú napr. Carlsson a Falk (1977) (cf.Hengeveld,de Vocht 1982 s.28), ktorí rozoznávajú vnútorný a vonkajší subsystém pri pohybe vody v urbánnej krajine. Vstupom vnútorného subsystému sú zdroje vody pre zásobovanie sídla, výstupom je čistička vody. Vstupom vonkajšieho subsystému sú zrážky, výstupom je výpar, prestup do podzemných vôd a čiastočne prestup do vnútorného subsystému (odtok do kanalizačných zberačov a do ČOV. Tjallingii (1988) rozlišuje vo vzťahu urbánna krajina - zázemie z vodohospodárskeho hľadiska problém zdrojov (získavania vody), problém vypúšťania vody a interné problémy. Zatiaľ čo prvé dva problémy sa dotýkajú aj nemestskej krajiny (zázemia miest), posledný - interný - zodpovedá technickému systému vodohospodárskej infraštruktúry.

ŠPECIFIKÁ PROCESOV HYDROLOGICKÉHO CYKLU V URBÁNNEJ KRAJINE

Urbánna krajina sa popri iných špecifikách vyznačuje aj výraznou heterogenitou aktívnych povrchov a odlišnosťou ich fyzikálnych vlastností v porovnaní s prírodnou krajinou, z čoho vyplývajú aj diferencované, veľakrát ťažko stanoviteľné charakteristiky jednotlivých zložiek hydrologickej bilancie. V ďalšom texte sa zameriame na čiastočnú analýzu základných bilančných zložiek - zrážok, odtoku a výparu v urbánnej krajine. V tejto súvislosti pripomíname, že vo svetovej literatúre sa najväčšia pozornosť venuje vplyvu urbanizovanej krajiny na odtok, a to najmä z dôvodov praktických inžinierskych činností (dimenzovanie kanalizačných sietí a čističiek), ale čiastočne aj z dôvodov relatívne ľahšieho merania a vyhodnocovania odtokového procesu.

Vymedzenie vplyvu urbánnej krajiny na zrážky je pomerne zložité, napriek tomu sa väčšina autorov zhoduje na narastaní zrážkových úhrnov v mestách. Kuprianov (1988) udáva nárast zrážkových úhrnov nad mestami o 5-10 %, k podobným hodnotám dospel aj Landsberg (cf. Goudie 1986, s. 323), ktorý navyše predpokladá nárast počtu dní so zrážkami v mestách o 10 % , na druhej strane však udáva pokles počtu dní so snežením o 14 % zrejme v dôsledku zvýšenej priemernej teploty v mestách. Changnon (cf. Goudie 1986, s. 320) udáva nárast zrážkových úhrnov v mestách v porovnaní s okolitou krajinou o 9-27 %, nárast búrok o 10-42 % a krupobití dokonca o 67-430 %. Ten istý autor udáva hlavné príčiny narastania zrážkových úhrnov v mestách, ktoré by sme mohli voľne charakterizovať ako

- zvýšené vertikálne pohyby vzduchu z nadmerne prehriatych povrchov a zo zvýšenej turbulencie,
- zvýšený výskyt kondenzačných jadier nad mestami,
- zvýšený výskyt vodných pár, najmä z priemyselných podnikov.

Pri hodnotení odtoku z urbánnej krajiny do recipientu musíme mať na zreteli, že odtok z miest pozostáva z dvoch častí: odtok zo zrážok, ktorý má epizodický charakter a odtok z umelého kanalizačného systému, ktorý je viac-menej permanentný. Je zrejmé, že časť zrážkového odtoku sa do recipientu dostane aj prirodzenou cestou, ale jeho veľká časť zvyčajne odteká prostredníctvom umelého systému - kanalizácie.

Týmto spôsobom odteká aj použitá voda, ktorá sa do kanalizačného systému dostala cez vodovodný systém zásobovaný spravidla zdrojmi pochádzajúcimi z nemestskej krajiny. Urbánna krajina takto koncentruje odtok, ktorý by prirodzeným spôsobom odtiekol mimo územia mesta v rámci prírodného hydrologického cyklu. Ak predpokladáme, že mesto (napr. Trenčín r. 1994) získava približne 200 $l.s^{-1}$ vody, z ktorej môžu straty v sieti, výparom a spotrebou dosiahnuť asi tretinu, potom približne viac než 140 $l.s^{-1}$ z takto získanej vody odteká kanalizáciou, čo pri priemernej hodnote špecifického odtoku na Slovensku 8,3 $l.s^{-1}.km^{-2}$ (Porubský 1991) predstavuje ekvivalent odtoku z územia s rozlohou takmer 17 km^2. Pri zohľadnení miestneho špecifického odtoku, čo sú asi 3 $l.s^{-1}.km^{-2}$, (Hlubocký 1980) táto hodnota vzrastie na ekvivalent odtoku z plochy takmer 47 km^2, pričom sa ďalej zvýši prirátaním podielu zrážok spadnutých priamo na územie mesta. Vyššie uvedená hodnota odtoku použitej vody v kanalizácii (t.j. 140 $l.s^{-1}$) pri rozlohe časti intravilánu, ktorý je priamo odvodňovaný kanalizáciou (asi 50-60 % z celkovej rozlohy intravilánu, t.j. v našom príklade 5-6 km^2), zodpovedá špecifickému odtoku asi 23-28 $l.s^{-1}.km^{-2}$. Ak pripočítame podiel odtoku tvorený miestnymi zrážkami odtečený takisto vo veľkej mierc cez kanalizáciu (uvažujeme s hodnotou miestneho špecifického odtoku, t.j. asi 3 $l.s^{-1}.km^{-2}$) môžeme uvažovať s ekvivalentom špecifického odtoku z časti mesta napojenej na kanalizáciu 25-30 $l.s^{-1}.km^{-2}$, čo je porovnateľné s prirodzenými hodnotami na chrbátoch Nízkych Tatier alebo Veľkej Fatry. Ak chceme mať predstavu o veľkosti odtoku z urbánnej krajiny úplnú, musíme k takto stanoveným hodnotám pripočítať tú časť odtoku, ktorá odtečie do recipienta priamo, bez prestupu do kanalizačného systému, čím sa výsledný efekt urbánnej krajiny (v danom prípade celého intravilánu, teda vrátane plôch nenapojených na kanalizáciu) na odtok zmierni. V našom konkrétnom prípade po uplatnení váženého priemeru získame výslednú hodnotu špecifického odtoku pre celý intravilán Trenčína (asi 10 km^2) približne 16 $l.s^{-1}.km^{-2}$, čo zodpovedá polohám 1000-1300 m n.m. v pohoriach severného a stredného Slovenska. Uvedené hodnoty závisia od prírodných vlastností podmieňujúcich zrážkovoodtokové charakteristiky príslušnej urbánnej krajiny, od pomeru priepustných a nepriepustných plôch a od podielu plôch napojených na kanalizáciu. Inú analýzu vplyvu urbanizovanej a industriálnej krajiny na vodný režim spracoval na príklade ostravskej priemyselnej oblasti V. Kříž (1981). Vidíme teda, že urbánna krajina výrazným spôsobom zvyšuje koncentráciu odtokového procesu nielen v tradične chápaných procesoch odtoku zo spevnených resp. nepriepustných povrchov, ale prostredníctvom vodohospodárskej infraštruktúry "sťahuje" odtok zo širšieho zázemia, čím pochopiteľne o príslušný podiel znižuje prirodzený odtok v nemestskej krajine.

Odtok zo spevnených povrchov, zaberajúcich v mestách veľké rozlohy (napr. v Bratislave 47 % (Benetin et al. 1988), v anglickom Milton Keynes 28 % (Hengeveld, de Vocht 1982)) má v porovnaní s charakteristikami bežného odtoku v prírodnej krajine viacero všeobecne akceptovaných špecifík. Odtokový hydrogram v zrážkovom období sa vyznačuje väčšou strmosťou rastovej i poklesovej časti, odtokové maximá dosahujú vyššie hodnoty, podzemné zložky odtoku sú redukované v závislosti od podielu spevnených (nepriepustných) a nespevnených (priepustných) plôch, povodňové situácie sú častejšie. Je to podobná situácia, aká sa v prírodnej krajine vyskytuje pri odtoku zo zrážok spadnutých na pôdu prevlhčenú na poľnú vodnú kapacitu.

Typické charakteristiky odtoku v mestách sa zvýrazňujú s narastajúcim podielom odkanalizovaného územia a s narastajúcim podielom vody odobranej z územia mimo mesta a odtekajúcej v kanalizačnom systéme. Benetin et al. (1988) udávajú pre

Bratislavu na územiach so spevneným povrchom až takmer 10-násobne vyšší odtok v porovnaní s územiami s nespevneným povrchom (platí pre vegetačné obdobie r.1959). Kuprianov (1988) udáva pre mestá nárast odtoku 100-200%, trojnásobný nárast odtoku uvádza aj K.V.Wilson (cf. Goudie 1986 s. 197). Naproti tomu Chandler et al. (1976) pripisuje nárast povodňového rizika na Temži v Londýne zníženiu kapacity jej koryta vplyvom nevhodných zásahov a poklesu priľahlej časti nivy čiastočne aj nadmernými odbermi podzemnej vody. Nepredpokladá negatívny vplyv postupujúcej urbanizácie v povodí.

Urbánna krajina mení nielen kvantitatívne, ale aj kvalitatívne vlastnosti odtoku. Mestá predstavujúce výraznú koncentráciu aktivít rôzneho druhu prirodzene ovplyvňujú aj kvalitu odtečenej vody, a to takmer výlučne v negatívnom zmysle slova. Negatívne vplyvy urbánnej krajiny na kvalitatívny režim vôd by sme mohli rozdeliť takto:

- produkcia nedostatočne čistených alebo dokonca nečistených odpadových vôd z miestneho priemyslu, domácností a zo znečistených povrchov, odvádzané kanalizačným systémom,

- prienik polutantov rôzneho druhu do podzemných vôd a odtiaľ do hydrologického cyklu (napr. pri manipuláciách v priemysle, skladoch, doprave, haváriach rôzneho druhu, prieniky znečistenej vody z nedostatočne izolovanej kanalizácie a pod.).

Tieto dva spôsoby znečistenia hydrosféry majú bodový charakter.

- imisný spád z priemyslu, dopravy, vykurovania a pod., ktorý má charakter plošného znečistenia.

Chemické zloženie polutantov závisí od charakteru odpadových vôd v danom meste, počtu motorových vozidiel a od kvality vodohospodárskej infraštruktúry. Ich koncentrácia okrem iného závisí aj od dĺžky bezzrážkového obdobia, počas ktorého dochádza ku akumulácii polutantov napr. na uliciach, parkoviskách, od rozlohy nepriepustných odkanalizovaných povrchov (najmä ciest a parkovísk) a pod. Wanielista (cf. Hengeveld, de Vocht 1982, s. 167) udáva tieto hodnoty priemerného odnosu z urbánnej krajiny a z ornej pôdy (v zátvorke)(v $kg.ha^{-1}.rok^{-1}$): nerozpustné látky 1700 (4200), BSK_5 75 (18), fosfor 2,0 (1,0), dusík vcelku 8,5 (26). Aj keď variabilita odnosu a zvlášť geochemického odnosu z jednotlivých krajinných typov (krajinných indivíduí) je značne variabilná, možno predpokladať, že dynamika týchto procesov v urbánnej krajine v niektorých ukazovateľoch dosahuje hodnoty porovnateľné s ornou pôdou v poľnohospodárskej krajine, pričom však hodnota BSK_5 (biologická spotreba kyslíka za 5 dní), považovaná za komplexný ukazovateľ kvality vody, dosahuje v odtoku z urbánnej krajiny niekoľkonásobne vyššie hodnoty. Tento rozdiel spôsobuje najmä vysoký podiel splaškových vôd, ktorých rozklad je náročný na spotrebu kyslíka.

Na elimináciu nežiadúcich vlastností odtoku z urbánnej krajiny je vypracované množstvo technických riešení, ktoré sa aplikujú v závislosti od lokálnych prírodných a technických podmienok a prirodzene v rámci príslušných inštitucionálnych a finančných možností. Spoločným princípom takýchto opatrení je minimalizácia priamych spojení nepriepustných plôch s odtokovým médiom (kanalizačným systémom, povrchovým zberným jarkom, vodným tokom a pod.). Účelom je spomalenie odtoku transformáciou časti povrchového odtoku na podpovrchový alebo podzemný odok či akumuláciou v nádržiach. Prvotná snaha by však mala viesť k maximálne možnému obmedzeniu vytvárania nepriepustných povrchov v mestách. Ich budovanie bez opatrení eliminujúcich odtok vedie k nadmernému preťažovaniu čistiarní odpadových vôd relatívne málo znečistenými vodami zrážkového odtoku. Azda jeden z najlepšie roz-

pracovaných systémov riadenia kvantitatívneho i kvalitatívneho režimu odtoku z urbánnej krajiny majú v štáte Florida v USA. Toto územie vyznačujúce sa vysokou koncentráciou obyvateľstva v mestách má zrážkové úhrny 1100-1300 mm ročne čo pri charakteristickom vysokom podiele nepriepustných povrchov v mestách USA (rozsiahle parkoviská, cestné stavby) vytváralo najmä počas prívalových dažďov ťažko riešiteľné problémy. Preto sa tu postupne vytvoril systém opatrení na zlepšenie kvality odtokovej vody a zníženie objemu odtoku, označovaný pojmom *"Treatment Train"* (Urbones B.R. et al. In Maidment (1993). Tento postup, ktorý by sa dal s istými úpravami aplikovať aj na riadenie odtoku z urbánnej krajiny v našich podmienkach, pozostáva zo 4 krokov (opatrení), z ktorých každý zodpovedá určitej rozlohe územia. Jeho podstatou je minimalizácia kontaktu polutantov s vodou, budovanie plytkých priehlbenín, infiltračných pásov, inštalácia pórových a blokových dlažieb, zasakovacích rigolov, infiltračných a akumulačných nádrží, budovanie nenáročných koreňových čističiek predčisťujúcich odtokovú vodu a pod. Čo je mimoriadne dôležité, na mnohých miestach je aplikácia príslušného opatrenia zákonne povinná.

Výpar (evapotranspirácia), ako posledná základná zložka hydrologickej bilancie, stojí v urbánnej krajine trochu bokom záujmu urbánnej hydrológie jednak vzhľadom na objektívne ťažkosti pri jeho stanovovaní a jednak pre predpokladané zanedbateľné hodnoty, ktorými ovplyvňuje výslednú hodnotu bilancie.

ZÁVER

Urbánna krajina ako fenomén predstavujúci koncentráciu prírodných, technických a socioekonomických vzťahov je napriek pokroku vedy a techniky stále systémom závislým od systému prírodnej, resp. neurbánnej krajiny, ba možno predpokladať, že táto závislosť sa paradoxne skryte zvyšuje. Dôkazom je o.i. potreba privádzať vodu do miest z čoraz väčších vzdialeností, nakoľko zdroje v ich blízkosti buď nestačia, alebo sú nepoužiteľné. Týmto spôsobom sa rozširuje sféra vplyvu urbánnej krajiny, ovplyvňuje sa prírodný hydrologický cyklus. Takéto tendencie je potrebné eliminovať. Systém viac vody mestám, a teda aj viac odtoku z nich by sa mal zmeniť. Urbánna krajina by nemala pôsobiť v zmysle splachovacieho efektu, t.j. veľké množstvá vody sa krátkodobo a jednorázovo využijú, pričom väčšinou sa znehodnotia a vypustia do recipienta, v ktorom často negatívne pôsobia na nižších úsekoch. Voda privedená alebo iným spôsobom určená na potrebu v mestách či spadnutá vo forme zrážok na mesto by sa mala v urbánnej krajine zadržať či spomaliť jej odtok napr. viacnásobným použitím, infiltráciou zrážkovej vody alebo iným primeraným spôsobom, čím by sa minimalizovali negatívne účinky urbánnej krajiny na prírodný hydrologický cyklus územia.

LITERATÚRA

BENETIN, J., ŠOLTÉSZ, A., MARTOŇ, J. (1988). Hydrological balance changes in urbanized territory. In *Urban Water 88. Proceedings of the Conference hydrological processes and water management in urban areas, Duisburg 1988.* Duisburg (IHP, UNESCO), pp. 23-28.

FORMAN, R.T.T., GODRON, M. (1993). *Krajinná ekologie.* Praha (Academia).

GOUDIE, A.(1986). *The Human Impact. Man's Role in Environmental Change.* Oxford (Basil Blackwell).

HANUŠIN, J. (1994). Niektoré problémy hodnotenia antropogénneho vplyvu na hydrologický cyklus. *Geographia Slovaca, 7,* 29-34.

HANUŠIN, J. (1995). Stanovenie vplyvu mestskej krajiny na hydrologický cyklus územia na príklade Bratislavy. In *Zborník z konferencie pri príležitosti 75. narodenín prof. P. Plesníka*, Bratislava, marec 1995. Bratislava (Univerzita Komenského), pp. 147-152.

HENGEVELD, H., DE VOCHT, C., eds. (1982). Role of water in urban ecology. *Developments in landscape management and urban planning 5.* Amsterdam (Elsevier).

HLUBOCKÝ, B. (1980). Elementárny odtok (rok). Mapa 1:2 mil. In *Atlas SSR.* Bratislava (GÚ SAV a SÚGK).

CHANDLER,T.J., COOKE, R.U., DOUGLAS,I. (1976). Physical Problems of the Urban Environment. *Geographical Journal*, 142, 57-80.

KŘÍŽ, V. (1981). Vliv urbanizace a industrializace na vodní režim ostravské průmyslové oblasti. *Vodohospodársky časopis,* 29, 256-288.

KUPRIANOV, V.V. (1988). Principles of urban hydrology. In *Urban Water 88. Proceedings of the Conference hydrological processes and water management in urban areas, Duisburg 1988.* Duisburg (IHP, UNESCO), pp. 61-67.

MAIDMENT, D.R. (ed.) (1993). *Handbook of Hydrology.* New York (Mc Graw-Hill).

MIČIAN, Ľ., ZATKALÍK, F.(1984). *Náuka o krajine a starostlivosť o životné prostredie.* Vysokoškolské skriptá, Bratislava, Univerzita Komenského.

PORUBSKÝ, A. (1991). *Vodné bohatstvo Slovenska.* Bratislava (Veda).

SPIRIDONOV, A.I. et al. (1980). *Četyrechjazyčnyj encyklopedičeskij slovar terminov po fyzičeskoj geografii.* Moskva (Sovetskaja encyklopedija).

TJALLINGII, S.P. (1988). Strategies in urban water design. In *Urban Water 88. Proceedings of the Conference hydrological processes and water management in urban areas, Duisburg 1988.* Duisburg (IHP, UNESCO), pp. 791-798.

Ján Hanušin

THE ANALYSIS OF THE IMPACT OF URBAN LANDSCAPE ON HYDROLOGIC CYCLE OF THE AREA

Urban areas as artifical systems with complicated interactions of various nature have also impact on elements of natural landscape water inclusive. The science which is dealing with relations between urban landscape and water is urban hydrology, a science positioned on divide among water management engineering, hydrology, town-planning and partly landscape ecology. Urban landscape represents the highest level of transformation of natural landscape. In its impact on hydrological cycle several historical phases can be distinguished as they are described e.g. by Savini and Kammerer (cf.Goodie 1986). The urban landscape is a meeting point of three water cycles: natural hydrological cycle, watermanagement and technological cycle which are in different level participating on formation spatially limited urban hydrological cycle. The distinctive feature of watermanagement cycle is movement of water within artifical system, technological cycle of water, which is a part of watermanagement one, is in addition typical for permanent or temporal changes in physical, chemical or biological qualities of water. Through withdravals and discharges of water is urban landscape connected to natural landscape, i.e. that urban landscape through these processes impacts on qualitative and quantitative regime of hydrological cycle in its hinterland.

The next part of the study deals with the specificities of processes of hydrological cycle in urban landscape. They are determined by distinct heterogeneity and by differencies of physical properties of active surfaces comparing those in natural landscape which causes different problems in setting up of characteristics of individual water balance elements. It is generally accepted that urban landscape determines rise in precipitation sums comparing with adjacent natural landscape, but at the same time the portion of snowfalls is falling down probably as a result of higher temperature in towns. Perhaps the most transformed balance element is runoff. On the example of mid size Slovak town (Trenčín, 58 000 inhabitants) it is shown, that outflow through sewerage system converted to intravilan corresponds nearly to two-fold mean specific discharge for the

whole Slovak territory and can be compared with natural values in high altitudes in massive highlands in Slovakia. In this way urban landscape concentrates outflow to relatively smaller areas, lowering runoff in natural landscape at the same time. Also rising and falling of flood discharge is in urban landscape faster and its peak is bigger, subsurface runoff components are reduced. Distinctly changed is also water quality. Regarding to these unfavourable impact of urban landscape to outflow it is necessary to assume measures for their mitigation, which consists in minimizing of paved surfaces, improving infiltration properties of unpaved ones, in supporting recycling of water and its rational use and last but not least in ensuring proper function of standard equipment like waste water treatment and well functioned water pipe and sewerage systems.

Translated by the author