

PODROBNÉ HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

VODOZÁDRŽNÉ OPATRENIA V OBCI JAKLOVCE

December 2018

PODROBNÉ HYDROTECHNICKÉ VÝPOČTY

Obsah

Metodika riešenia – teoretický úvod.....	3
Aplikácia simulačných modelov.....	4
Hydrologický simulačný model.....	6
Zaťažovací stav - dažďové udalosti.....	6
Hydrodynamický simulačný model	10
Rovnica kontinuity.....	10
Rovnica hybnosti	11
Výsledky simulácií.....	13

Metodika riešenia – teoretický úvod

Štandardný prístup k návrhu a posudzovaniu odvodnenia vychádzal v zásade z princípu racionálnych metód, ktoré pracujú s výdatnosťou dažďa určenou z čiary náhradných zrážok, kritickou dobou dotoku a teda s veľkými rezervami v dimenzovaní. Dochádza k návrhom veľkých objektov, navrhnutých na základe zjednodušených parametrov. Popritom celý technický aparát týchto metód postihuje reálny stav v systéme iba veľmi približne tým, že postihuje len jeden stav. Pre jednoduchú projektovú činnosť a základné návrhy objektov je však takýto spôsob výpočtu stále prijateľný s tým, že je následne možné návrh posúdiť simulačným modelom.

Komplexný prístup k celému odtokovému procesu v mestských aglomeráciách rozširuje v súčasnosti problematiku do rozmeru odvodnenia celých urbanizovaných povodí. V tomto zmysle sa tiež mení samotná metodika riešenia. Stále viac sú uplatňované metódy nestacionárne, založené na práci s matematickým modelom realisticky zobrazujúcim skutočné chovanie systému odvodnenia, vodných tokov a zrážkovo-odtokových procesov v povodí. Matematický model je program, ktorý je schopný „modelovať“ skutočný systém a to ako tvarovo (štruktúra a väzby siete, objekty na sieti, sklony, materiály potrubí, atď.) tak i funkčne (model reaguje na vonkajšie podnety, teda dažďovú zrážku, rovnako ako reálny systém - rovnaký priebeh prietokov a hladín).

Úroveň životného prostredia mesta z pohľadu vodného hospodárstva sa prejavuje v kvalite povrchových a podzemných vôd. Opomenutím tohto faktu vplyvom rozvoja spoločnosti došlo k tomu, že zmienená kvalita vôd sa dlhodobo neustále zhoršuje. Hlavným faktorom je produkcia a následné vypúšťanie odpadových vôd rôzneho charakteru do recipientov. Problematika zachytávania odpadových vôd, ich odvádzanie a následnej likvidácie a vypúšťania do povrchových tokov je súhrnne nazývaná nakladaním s odpadovými vodami a odbor, ktorý ju rieši, je odvodnenie urbanizovaných povodí.

So stúpajúcim využívaním stavebných zón a zvyšujúcou sa zástavbou sa stále výraznejšie prejavujú negatívne dôsledky nekonceptnosti niektorých rozhodnutí z minulosti a morálne zastaranie doterajších odvodňovacích zariadení. Urbanizácia územia zásadným spôsobom mení pomery zrážkovo-odtokového procesu v povodí. Intenzívna zástavbou územia sa zvyšuje množstvo nepriepustných plôch s rýchlym odtokom dažďových vôd. Tým sa pri každom daždi tok dažďovej vody zrýchli oproti prirodzenému povodiu a doba odtoku skrúti, čo spôsobuje v niektorých oblastiach nebezpečné povodňové stavy a zvyšuje potenciál erózných javov. Zároveň sa nestačí vsiaknuť dostatočné množstvo vody do podložia, čo spôsobuje zníženie vodnosti predovšetkým v malých vodných tokoch a pokles hladiny podzemných vôd.

Snaha chrániť recipienty pred znečistením z takto urbanizovaných plôch viedla k návrhom na zachytenie časti dažďových vôd v dažďových nádržiach, korytá recipientov v urbanizovaných územiach boli upravené, na mnohých miestach dokonca prevedené do potrubí (predovšetkým tých menších). Tým bol prirodzený pohyb vody v mestskom povodí nahradený technickým riešením povrchového odtoku, keď dažďová voda steká po spevnenom povrchu, ďalej pokračuje čo najrýchlejšie do umelého kanála stokovej siete a môže byť prevedená pri splnení určitých podmienok i do recipientu. Na celej tejto trase je obmedzené vsakovanie do podložia a hydraulicky hladké umelé povrchy niekoľkonásobne

zvýšia rýchlosť odtoku vody po povodí, takže sa zvýši hodnota Q_{max} pri dažďových prívaloch. Preto musia byť navrhnuté veľké korytá upravených urbanizovaných recipientov, ktoré sú ale po väčšinu roka temer bez vody a naplňajú sa vodou len pri dažďových prívaloch. Také korytá nespĺňajú moderné a prísne kritériá ekologov a základné podmienky života niektorých organizmov a rastlín.

Dôsledky urbanizácie a zlého hospodárenia v povodí na prirodzený obeh vody v prírode sú vo väčšine prípadov negatívne a je možné ich zhrnúť do nasledujúcich bodov :

- zhoršenie kvality vôd v recipientoch,
- zvýšenie súčiniteľa odtoku a tým zvýšenie množstva odvádzaných vôd do recipientu,
- urýchlenie odvádzania vody z povodí,
- zvýšenie frekvencie výskytu veľkých vôd,
- zmenšenie infiltrácie a z toho plynúce zníženie minimálnych prietokov v malých tokoch,
- odvádzanie vôd mimo prirodzeného povodia toku.

Základné problémy existujúceho systému odvodnenia spočívajú predovšetkým v tom, že nie je vykonaná analýza súčasného stavu systému odvodnenia ako celku. Preto možno len ťažko odpovedať na otázky, ktoré súvisia s rozvojom územia a územným plánovaním.

Pokiaľ sa pokúsime definovať základnú filozofiu mestského odvodnenia, tak jej cieľom je zvýšenie životného komfortu a odvedenia a primeraná likvidácia odpadových vôd akéhokoľvek charakteru. Zároveň je však odvodnenie budované s cieľom ochrániť recipienty pred znečistením. Hlavným cieľom integrálneho prístupu k mestskému odvodneniu je návrat k prirodzeným odtokovým pomeroch v povodí.

Aplikácia simulačných modelov

Rozvoj informačných technológií v druhej polovici 20. storočia so sebou prináša radikálne zmeny v prakticky všetkých oblastiach života. Informačné technológie znamenajú rozhodne podobnú radikálnu zmenu vo vývoji ľudstva akou bol vynález a priemyslové využitie parného stroja. V zmysle tohto trendu dochádza i vo vodnom hospodárstve k stále častejšiemu využitiu týchto technológií pre projektovú a konzultačnú prax. Nejde iba o komfort a efektivitu práce, ale predovšetkým o kvalitatívne vyššiu úroveň projekčnej činnosti v zmysle presnosti a systematickosti práce a nadväzujúcich výpočtov a z nich sa odvíjajúceho hospodárneho návrhu a technického využitia stavby.

Deterministické simulačné modely predstavujú jasný príklad prelínania sveta informačných technológií s klasickými technickými odbormi. Moderný prístup k riešeniu projektov a štúdií vo vodnom hospodárstve sa opiera o nové technológie vybudované na základe rastúcich možností súčasnej výpočtovej techniky. Základný nosný prvok tohto prístupu "deterministické simulačné modely" sú programové prostriedky, ktoré zohľadňujú spolupôsobenie geografických, hydrologických, hydraulických, chemických a iných činiteľov vo vzťahu k danému komplexnému problému. Pomocou týchto modelov je možné získať presnú predstavu o správaní vybraného systému (napr. systému odvodnenia) a analyzovať dôsledky alternatívne navrhovaných opatrení projektu v zmysle: "Keď realizujeme tieto zmeny na sieti, potom musíme počítať s týmito dôsledkami". To teda znamená, že v počítači

je k dispozícii model výseku skutočného sveta v digitálnej podobe, kde možno overovať rôzne varianty zamýšľaného riešenia bez ekonomických a ekologických dôsledkov.

Hydroinformatika je nový technologický odbor, ktorý je definovaný v oblasti vodného hospodárstva a ochrane životného prostredia. Cieľom hydroinformatiky je riešenie komplikovaných úloh v akvatických systémoch na základe princípu úplného spracovania dostupných informácií pri maximálnom použití deterministických simulačných modelov a ďalších podporných prostriedkov. Podstatou technológie hydroinformatiky je veľmi tesná a previazaná spolupráca simulačných nástrojov, databáz a informácií, ktoré možno získať monitoringom (meraním), alebo využitím informačných systémov. Využitie podporných nástrojov pre prezentáciu, archivovanie dát a následnú analýzu vytvára dôležitú súčasť projektov v zmienenej oblasti.

Vysoká efektivita práce sa dosahuje predovšetkým ľahkou prípravou a analýzou vstupných dát v moderných databázach, ktoré slúžia nielen projektantovi pre dobrú priestorovú orientáciu, ale môžu byť presne vykreslené v rámci projektovaného návrhu a zároveň na zhodných dátach možno vykonať simuláciu programovým prostriedkom. Z tohto pohľadu ide o komplexné a integrované riešenie, ktoré minimalizuje náhodné alebo systematické chyby. Výsledky prezentované nástrojmi hydroinformatiky umožňujú veľmi rýchlu orientáciu a pochopenie problematiky i neodbornou verejnosťou.

Simulačný prostriedok je matematický (digitálny) model, ktorý musí spĺňať predovšetkým tieto základné nároky :

- zahŕňa všetky podstatné procesy simulovaného prvku odvodnenia,
- umožňuje výpočet rozsiahlych vetvených i okruhových sietí a recipientov,
- vystihuje reálne chovanie systému behom bezdažďového obdobia i zrážkové udalosti vrátane plnenia a vyprázdňovania retenčného objemu, netlakového a tlakového prúdenia a pod.,
- simuluje prietokovú vlnu v systéme spôsobenú reálnou zrážkou s premennou intenzitou.

Matematické (deterministické) simulačné modely predstavujú jasný príklad prelínania sveta informačných technológií s klasickými technickými odbormi. Možno ich charakterizovať ako matematické analógy (virtuálne kópie) reálnych fyzikálnych procesov v urbanizovaných povodiach. Ich hlavnou nespornou výhodou je stupeň popisu daného javu na základe sústavy všeobecne nelineárnych parciálnych diferenciálnych rovníc. Riešenie riadiacich rovníc (analyticky väčšinou neriešiteľných) v čase a priestore je potom umožnené numerickými metódami (metóda konečných prvkov, metóda konečných diferencií,...). Vytvorený model stokovej siete poskytuje možnosť komplexného posudku celého zrážkovo-odtokového procesu vrátane hydrológie povrchového odtoku, hydrodynamiky transportu odvádzanej vody sieťou (spätné vzdutie, transformácia prietoku, retencia siete,...). Variabilita zaťažovacích stavov a okrajových podmienok modelu umožňuje ľahké definovanie alternatívnych scenárov možného budúceho stavu systému, od ktorých sa následne odvíja návrh technického riešenia. To teda znamená, že v počítači je k dispozícii model výseku skutočného sveta, kde možno overovať rôzne varianty zamýšľaného riešenia bez ekonomických a ekologických dôsledkov.

Pre riešenie predmetnej úlohy budú využité technológie spoločnosti DHI. Pre kvantitatívne riešenie zrážkovo-odtokového a transportného procesu bude použitý simulačný model MIKE SHE v zostave NAM (modelu povrchového odtoku) a HD (modul hydrodynamický).

Hydrologický simulačný model

Hydrologický simulačný model vychádza zo situácie, kde sú definované jednotlivé objekty a na ich základe sa stanovujú im prislúchajúce povodia, ich veľkosť, koeficient odtoku (reprezentovaný efektívnou nepriepustnou plochou) a prípadne ďalšie hydrologické parametre.

Súčasťou hydrologického modelu je aj definícia rady parametrov, ktorými sa stanoví počiatočná strata, retencia a retardácia povodia. Je možné voliť z niekoľkých rôznych spôsobov výpočtu odtoku z povodí.

Hydrologický model nezahŕňa simuláciu nehydrologických vôd, ako sú splaškové a priemyslové odpadové vody. Hydrologický model nerieši hydraulické správanie sa siete. To je predmetom nadväzujúceho hydrodynamického modelu stokové siete.

V rámci definície povodia rozlišujeme nasledujúce „plochy“ :

- Celková plocha povodia objektu - je definovaná hranicou urbanizovaného povodia.
- Efektívna nepriepustná plocha povodia tzv. „fastrunoffcomponent“ (FRC) - sú spevnené plochy povodí, z ktorých odteká zrážková voda priamo do navrhovaného objektu. Efektívna nepriepustná plocha je spravidla menšia než spevnená plocha povodí.

Zaťažovací stav - dažďové udalosti

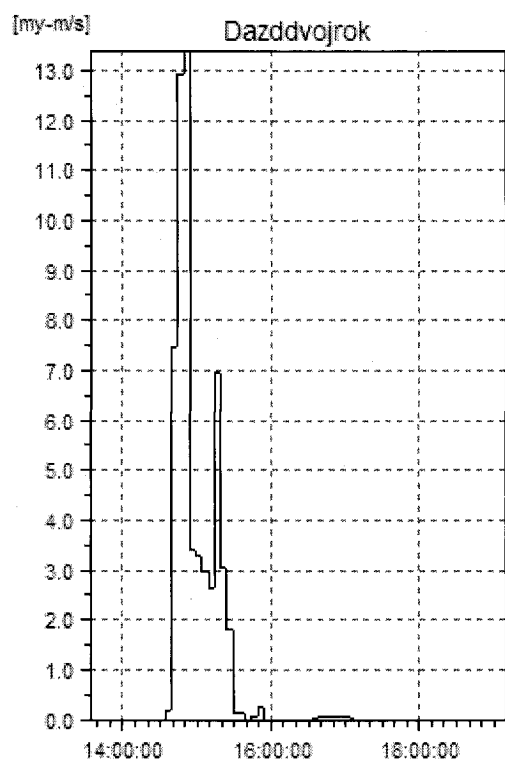
Minimálne zaťažovacie stavy nie sú z hľadiska dimenzovania objektov zaujímavé a ochrana povodia na maximálne extrémne zaťaženie (z dlhodobého hľadiska) je neefektívna vzhľadom k vyvolaným investíciám. Je teda treba nájsť určitý kompromis, ktorý je vždy predovšetkým politickým rozhodnutím, aj keď samozrejme technicky podloženým.

Riešenie problémov dimenzovania a posudzovania odovdnenia pre jednotlivé dažďové udalosti sa dosiaľ uskutočňovalo návrhovými metódami na tzv. návrhový dážď. Jedná sa o blokový dážď s intenzitou zodpovedajúcou početnosti výskytu udalosti raz za 2 roky ($p = 0,5$) s dĺžkou trvania 15 minút.

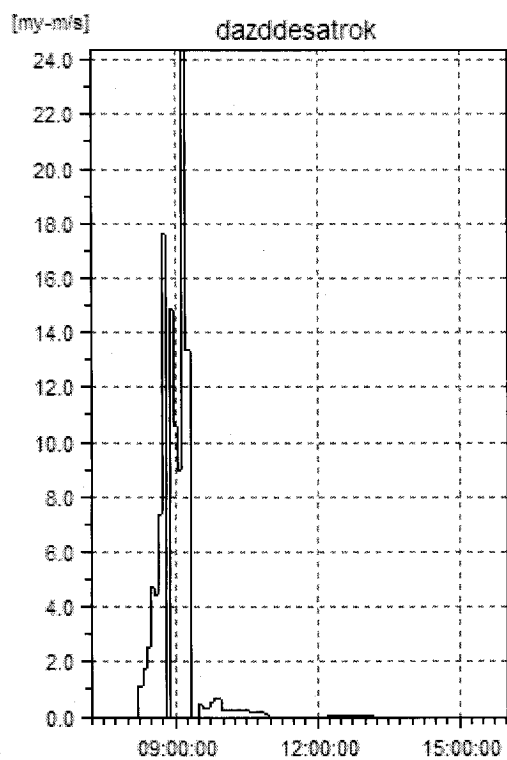
Pre uskutočnenie dlhodobých simulačných výpočtov nie je výpočet na jednu návrhovú udalosť vhodný.

Pre určenie základných parametrov návrhovej zrážky boli použité charakteristiky náhradných dažďov spracovaných pre územie Slovenska Šamajom a Valovičom (1973). Výpočet vychádzal z najbližších lokalít záujmového územia – Gelnica, Prešov a Košice - Bankov, pričom výdatnosť návrhového dažďa bola stanovená na hodnotu $q = 182,4 \text{ l.s}^{-1}.\text{ha}^{-1}$

Pre následné overenie navrhnutých parametrov sa využili aj reálne zrážky z desaťročného zrážkového radu, pričom boli vybraté zrážky s dobou opakovania raz za dva roky a raz za desať rokov – podľa nasledujúcich obrázkov:



Obr. Dvojročný reálny dážď



Obr. Desiatročný reálny dážď

Na takto zadefinovaných zrážkových udalostiach sa následne modelovo vykonal výpočet straty na priepustnom povrchu povodia podľa Hortonovej rovnice

$$v_i = v_c + (v_0 - v_c) \cdot e^{-kt}$$

kde

v_i okamžitá rýchlosť vsakovania (mm/min),

v_0 počiatočná (maximálna) rýchlosť vsakovania (mm/min), pre hlinité pôdy 1 mm/min

v_c ustálená rýchlosť vsakovania (rovná sa nasýtenej hydraulikej vodivosti) (mm/min),
pre hlinité pôdy 0.1 mm/min

k koeficient poklesu (1/min), pre hlinité pôdy 0.05

Následne sa určuje veľkosť povrchovej retencie, ktorá patrí k najvýznamnejším odtokovým stratám. Na nepriepustných plochách bez infiltrácie sa začne prejavovať hneď po zamokrení povrchu a na polopriepustných a priepustných plochách spolu s infiltráciou. Povrchová retencia sa prejaví vtedy, keď intenzita dažďa je vyššia ako nenasýtená hydraulická vodivosť pôdy a voda sa začne zhromažďovať v priehlbínach a nerovnostiach pôdy. Nerovnosti môžu mať rozmery od niekoľko štvorcových centimetrov až po niekoľko štorcových metrov. Je to objem, ktorý musí byť vyplnený vodou skôr, ako sa objaví povrchový odtok z plôch priehlbni. V tabuľke sú uvedené hodnoty povrchovej retencie pre rôzne druhy povrchov a rôzne sklony.

Tab. Povrchová retencia pre rôzne druhy pôd

Povrch	Kapacitné hodnoty povrchovej retencie h_k (mm)
veľmi hladký nepriepustný, bez vegetácie	0.4 - 0.6
hladký nepriepustný, bez vegetácie	0.7 - 0.9
holá pôda, trávnatý povrch, riedka vegetácia	0.8 - 2.7
povrch s hustým porastom	2.7 - 4.2

V uvedených hodnotách sú zahrnuté aj straty na zamokrenie povrchu, ktoré podľa Pechera (1969) treba uvažovať hodnotou 0.2 až 0.5 mm pre nepriepustné povrchy, a 0.2 až 2.0 mm na priepustných plochách. Kidd (1978) pre obytné štvrte odporúča uvažovať s priemernou kapacitnou hodnotou povrchovej retencie 1.5 mm. Pri stanovení účinného dažďa pre priepustné plochy sa povrchová retencia aplikuje nad krivkou infiltrácie.

Hĺbkú priehlbní a nerovností h_r , ktoré sa postupne naplňajú počas dažďa k určitému času t vypočítame pomocou rovnice

$$h_r = h_k \cdot R$$

kde

h_k kapacitná hĺbka povrchovej retencie (mm),

R miera postupného vyplňovania priehlbní a nerovností k určitému času t (-).

Postupné vyplňovanie priehlbní R počas dažďa sa asymptoticky približuje ku kapacite povrchovej retencie h_k podľa rovnice

$$R = 1 - \exp\left(\frac{-h_s(r_m - r_0)}{h_k}\right)$$

kde

r_0 podiel povrchovej plochy zúčastňujúcej sa aktívne na odtoku na začiatku dažďa (-),

r_m maximálny podiel povrchovej plochy zúčastňujúcej sa na odtoku (-),

h_s kumulatívna dažďová výška (mm) k určitému času t , od ktorej sa trvalé straty t_s a povrchového zamokrenia d_s . Je to potom dažďová výška zaplňujúca povrchové nerovnosti a spôsobujúca povrchový odtok. Od tohoto dažďa sa postupne odpočítavajú straty na vyplnenie povrchových retencií h_r a výsledný dážď je efektívny hyetogram h_e .

Čím je plocha zúčastňujúca sa na odtoku na začiatku dažďa menšia, tým menšia je možnosť vytvárania odtoku a tým intenzívnejšie pôsobí povrchová retencia na priebeh odtokového procesu.

Trvalé straty t_s vyjadrujú množstvo spadnutých zrážok, ktoré sa nikdy nedostane do kanalizačnej siete z dôvodu čiastočne priepustnej štruktúry povrchu (tiež asfaltu), výparom počas dažďa, upchatých vpustov, nesprávnych sklonových pomerov, časť dažďa z nepriepustných plôch sa môže dostať na trávniky a pod. Určitá časť povrchového odtoku v oblastiach s individuálnou zástavbou s oploštenými pozemkami sa do siete nedostane a infiltruje v predzáhradkách. Ďalej, v jesennom období sa časť dažďa zachytí na listoch nahromaždených na cestách popri obrubníkoch.

Trvalé straty sa môžu vyjadriť aj fyzikálnou závislosťou. Jej hodnotu možno stanoviť orientačne v závislosti od maximálnej hodnoty objemového odtokového súčiniteľa $\psi_{0,max}$

$$t_s = 1 - \psi_{0,max}$$

Trvalé straty môžu zohrať dôležitú úlohu hlavne pri kalibrácii času koncentrácie odtoku a celkového úhrnu efektívneho dažďa.

Hydrodynamický simulačný model

K vytvoreniu hydrodynamického modelu bol použitý simulačný prostriedok MIKE, slúžiaci k výpočtom pomaly sa meniaceho neustáleného prúdenia v potrubných sieťach a odvodňovacích kanáloch.

Základné dáta pre tvorbu modelu, t.j. topologické dáta, geometrické dáta objektov a informácie o ich napojení atď., boli do modelu prevedené z programu ArcGIS, ktorý slúžil ako prevodná a informačná báza.

Cieľom samotného modelu bolo simulovať transformáciu povrchového odtoku z hydrologického modelu na prúdenie vody do navrhovaného objektu formou hydrodynamického výpočtu. Tieto vychádzajú z dvoch základných rovníc nestacionárneho prúdenia v otvorených korytách, zo *Saint-Venantových rovníc*. Jedna z rovníc je rovnica kontinuity, ale druhá rovnica - rovnica hybnosti - už nie je empirická ale má tiež fyzikálny význam.

Metóda kinematickej vlny je najjednoduchším prípadom aplikácie Saint-Venantových rovníc na výpočet povrchového odtoku. Metóda kinematickej vlny používa ako vstup účinný hydrogram, ktorý vyvoláva na elementárnom povodí tvaru otvorenej knihy nestacionárny pohyb dažďového odtoku. Výstupom na konci elementárneho povodia je hydrogram dažďového odtoku pri vstupe do dažďového vpustu. Táto metóda je vhodná pre výpočet odtoku z menších povodí (napr. z parkovísk a pod) s jednotnými charakteristikami povodia (sklon, priepustnosť a pod). Metóda kinematickej vlny sa aplikuje za určitých podmienok aj vo výpočte nestacionárneho prúdenia dažďových vôd v kanalizačných zberačoch.

Rovnica kontinuity

$$\frac{\partial q}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = i - f \quad (1)$$

kde

q špecifický odtok (prietok z jednotkovej šírky povodia) ($\text{m}^3/\text{s}/\text{m} = \text{m}^2/\text{s}$)

x zmena polohy jednotkového objemu vody v smere toku (m)

y hĺbka plošného odtoku (m)

t čas (s)

i intenzita dažďa (m/s)

f hydrologické straty (m/s)

Rovnica hybnosti

V metóde kinematickej vlny (ktorá je zjednodušením úplných Saint-Venantových rovníc) predpokladáme, že medzi trecími silami a gravitačnými silami existuje rovnováha (sklon čiar energie i_t sa rovná sklonu povodia i_0):

$$i_t = i_0 \quad (2)$$

Rovnica hybnosti sa potom dá vyjadriť v tvare

$$q = \alpha \cdot y^m \quad (3)$$

alebo pre priemernú rýchlosť povrchového odtoku v tvare

$$v = \alpha \cdot y^{m-1} \quad (4)$$

kde

m konštanta vyjadrujúca typ prúdenia (-)

α konštanta vyjadrujúca charakteristiky povodia a typ prúdenia (m^{2-m}/s)

Rovnice (1) a (3) sú dve základné rovnice metódy kinematickej vlny.

Parametre α a m sa dajú vyjadriť pomocou rôznych rovníc. Pri použití Manningovej rovnice α dostaneme v tvare

$$\alpha = \frac{k}{n} \sqrt{i_0} \quad (5)$$

$$m = 5/3 \quad (6)$$

kde

k konštanta s hodnotou $1.0 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$

n Manningov koeficient drsnosti (pre nepriepustné mestské plochy $n = 0.011$ až 0.014).

Dôležitým parametrom metódy kinematickej vlny je čas t_e , za ktorý plošný povrchový odtok dosiahne rovnováhu (prítok = odtok) za predpokladu konštantného efektívneho dažďa.

$$t_e = \frac{L^{1/m}}{(\alpha \cdot i_e^{m-1})^{1/m}} \quad (7)$$

kde

L dĺžka povodia (m)

i_e intenzita efektívneho dažďa: $i - f$ (m/s)

Tvar odtokového hydrogramu na dolnom konci povodia bude závisieť od dĺžky trvania efektívneho dažďa t_d . Môžu nastať dva prípady:

1. $t_d \geq t_e$, trvanie dažďa je dlhšie ako čas potrebný na dosiahnutie rovnovážneho odtoku

a) čas $t \leq t_e$ – výstupná vetva hydrogramu

$$q_L = \alpha(i_e t)^m \quad (8)$$

kde

q_L špecifický odtok na dolnom konci povodia (m^2/s)

t čas (s)

b) čas $t_e < t < t_d$ – rovnovážny odtok

$$q_L = i_e L \quad (9)$$

c) čas $t \geq t_d$ – klesajúca vetva hydrogramu

$$t = t_d + \frac{\frac{L}{\alpha y_L^{m-1}} - \frac{y_L}{i_e}}{m} \quad (10)$$

kde

y_L je hĺbka plošného odtoku (m).

$$y_L = \left(\frac{q_L}{\alpha} \right)^{1/m} \quad (11)$$

Pri výpočte klesajúcej vetvy hydrogramu y_L a následne aj príslušný čas t môžeme vypočítať na základe vopred volenej hodnoty q_L .

2. $t_d < t_e$, trvanie dažďa je kratšie ako čas potrebný na dosiahnutie rovnovážneho odtoku

a) čas $0 < t < t_d$ – výstupná vetva hydrogramu po koniec dažďa (podľa rov. (8), podobne ako v prípade 1.)

$$q_L = \alpha(i_e t)^m \quad (12 = 8)$$

b) čas $t_d < t < t_p$ – dobíehanie odtoku po povodí až po vyčerpanie odtoku v čase t_p

$$q_L = \alpha(i_e t_d)^m \quad (13)$$

$$t_p = t_d - \frac{t_d}{m} + \frac{L}{m\alpha(i_e t_d)^{m-1}} \quad (14)$$

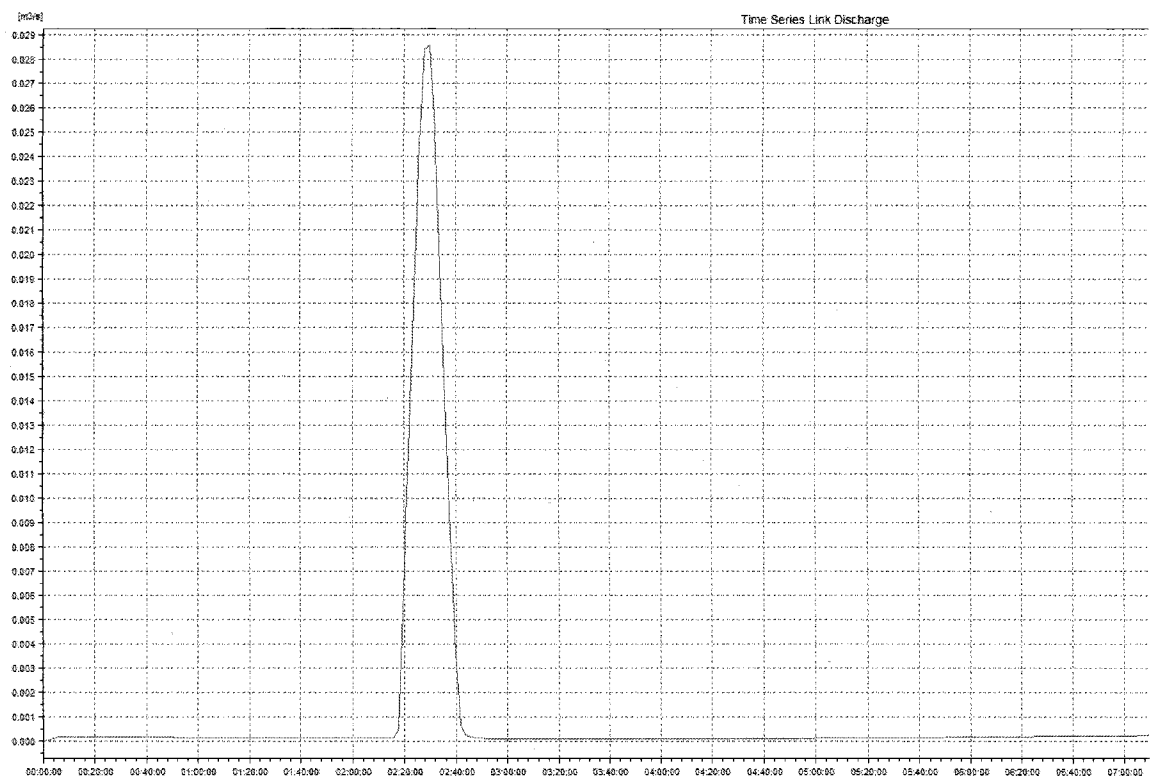
c) čas $t \geq t_p$ – klesajúca vetva hydrogramu (podľa rov. (10), podobne ako v prípade 1.)

$$t = t_d + \frac{\frac{L}{\alpha y_L^{m-1}} - \frac{y_L}{i_e}}{m} \quad (15 = 10)$$

Výsledky simulácií

Na základe situácie navrhovaných objektov boli výpočty na modeli vykonané pre navrhnuté opatrenie

Výstupom výpočtu je prietokový hydrogram:



Sumarizácia jednotlivých výpočtov je v nasledujúcej tabuľke:

P.č.	Názov opatrenia	Plocha vodozádržného opatrenia (m ²)	Plocha povodia (m ²)	Návrhový prietok (l/s)	Požadovaný retenčný objem (m ³)
1.	vodozádržné opatrenia	519	3168	28,69	20,66

Pozn.

v tabuľke uvedená plocha vodozádržného opatrenia 519m2 je plochou stavby.

Plocha povodia 3168m2 je celková plocha, z ktorej vodozádržné opatrenie zachytáva zrážkovú vodu, alebo ju odvádza na miesto jej zadržania alebo vsaku.