

ZÁPLAVOVÝ MODEL ÚZEMÍ

Jiří Stodola *)

ABSTRAKT

Príspevok stručne pojednáva o problematike modelovania záplav a záplavového územia. Podstatou zjednodušeného modelu je nález obsahu rezu, kolmého na vodný tok a dĺžky k ďalšiemu kolmému rezu tak, aby bolo možno vypočítať objemový prietok vody medzi jednotlivými kolmými rezmi, resp. výšku hladiny vody v jednotlivých bodoch s aplikáciou na záplavové územie.

Kľúčové slová:

digitálny model, časová a priestorová analýza zaplavovania

ABSTRACT

Article briefly discussed the problems of floods modeling and flood territory. The essence of the simplified model is to find the content cut, perpendicular to the watercourse and further perpendicular to the length of cut, so that it was possible to calculate the volumetric flow rate of water between each vertical section or water level in the individual points with applications to the flood territory.

Key words:

digital model, temporal and spatial analysis of flooding

1 ÚVOD

Človek od počiatku své existence zápasí s živelným pôsobením prírodných síl. Ohrožujú nás požáry, zemetřesení, sopečné výbuchy, laviny, uragány, tornáda, tsunami, bleskové povodně, záplavy, aj. Vědeckotechnický pokrok přinesl další velká nebezpečí vzniku mimořádných událostí. Jsou jimi např. hromadná neštěstí v dopravě, úniky nebezpečných látek, výbuchy, teroristické akce apod. Rizika, která nás ohrožují

*) Jiří Stodola, Prof. Ing. DrSc., Univerzita obrany Brno, Kounicova 65, 662 10 Brno, Česká republika, tel. +420 973 442 278, E-mail: jiri.stodola@unob.cz

si však člověk uvědomuje obvykle až ex post, tj. po nehodě, havárii či přírodní katastrofě. Mimořádné události si nevybírají a nevyhýbají se ani našim zemím. Povodně u nás již postihly celou řadu míst a některá z nich i opakovaně. Většinou si relativně dobře uvědomujeme nebezpečí, která představují velká jaderná a chemická zařízení. Málokdo si však uvědomuje, že např. důsledky havárie automobilní či vlakové cisterny, které na našich silnicích a železnicích denně potkáváme, mohou představovat větší nebezpečí a ohrozit daleko více osob. Z analýzy mimořádných událostí všeho druhu vyplývá, že vzniklá panika spolu s neznalostí toho co dělat, způsobí často více ztrát na životech a škod na majetku, než mimořádná událost sama. Proto je ve vyspělých zemích světa kladen značný důraz na znalosti a výchovu obyvatel, na jejich připravenost pro případ vzniku mimořádné události. Nebezpečí je celá řada a nelze nikdy dát vyčerpávající návod co dělat při všech možných mimořádných událostech. Snad je možné alespoň upozornit na možná nebezpečí, dát stručný návod, jak se připravit na možnost vzniku mimořádné události a co dělat, když k ní dojde. Povodně jsou mimořádné události, při kterých se následkem prudkých dešťů, táním sněhu nebo např. náhlým uvolněním překážky ve vodním toku – tzv. zvláštní povodně (protržení hráze přehrady, sesuv svahu během dešťů, aj.) zvětší průtok vody a zvedne hladina tak, že se voda z koryt vylévá a zaplavuje okolní území. Nejčastějšími příčinami povodní jsou: dlouhotrvající deště, přívalové deště, rychlé tání sněhu, zmrzlá půda, nepropustný povrch nebo nasáklá půda, hromadění ledových ker, nedostatečnost kanalizačního systému, nadbytek zpevněných ploch aj. Rychlost vody během povodní je vysoká, dochází k ohrožení životů a zdraví lidí, ohrožuje životní prostředí a majetek. Povodně jsou často doprovázeny ztrátami na životech, životním prostředí a majetku a na infrastruktuře s následnými škodami v podnikání. Povodeň v ČR v roce 2002 (průtok Vltavy v Praze 5300 m³/s) byla jednou z největších událostí svého druhu v historii ČR, spolu s povodněmi na Moravě v roce 1997, patří k nejtěžším přírodním katastrofám moderní české historie. Přitom je historicky zaznamenáno a doloženo 11 velkých povodní od roku 1774 do roku 2005. Tyto důvody byly motivací pro zpracování předloženého příspěvku, který se zabývá možnostmi vytvoření modelu záplavového území poblíž vodního toku.

2 MATEMATICKÝ MODEL ZÁPLAVY ÚZEMÍ

Model využívá rozměrovou analýzu k určení vztahu pro hmotnostní průtok (intenzita proudu) vody, platný obecně pro všechny vazké kapaliny, proudící ekvivalentním půlkruhovým potrubím, podrobnosti v [1], [4]. Hmotnostní průtok (kg · s⁻¹) je definován jako hmotnost vody, která proteče za jednotku času daným průřezem kolmým ke směru toku. Z hmotnostního průtoku snadno určíme objemový průtok (m³ · s⁻¹), který můžeme definovat jako objem vody, která proteče příčným průřezem za jednotku času. Podstatou modelu je nalezení obsahu příčného průřezu vodního toku a vzdálenosti dalšího příčného průřezu tak, aby bylo možno vypočítat objemový průtok vody mezi jednotlivými příčnými průřezy, resp. výšku hladiny vody v jednotlivých bodech. Tyto hodnoty potom vymezí hranici záplavového území. Veličiny použité v modelu jsou uvedeny v tabulce 1. Pro hmotnostní tok platí obecně vztah

$$Q_m = f(p, \rho, \eta, r), \quad (1)$$

což můžeme konkrétně vyjádřit

$$Q_m = k \cdot p^a \cdot \rho^b \cdot \eta^c \cdot r^d. \quad (2)$$

Tuto rovnici můžeme vyjádřit v rozměrovém tvaru

$$m \cdot t^{-1} = (l^{-1} \cdot m \cdot t^{-2})^a \cdot (l^{-3} \cdot m)^b \cdot (l^{-1} \cdot m \cdot t^{-1})^c \cdot l^d. \quad (3)$$

Tabulka 1 Veličiny použité k modelování hmotnostního průtoku

Veličina	Označení	Jednotka	Rozměrový exponent		
			l	m	t
Hmotnostní průtok	Q_m	$\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$	0	1	-1
Tlak	p	Pa	-1	1	-2
Hustota	ρ	$\text{kg} \cdot \text{m}^3$	-3	1	0
Dynamická viskozita	η	$\text{Pa} \cdot \text{s}$	-1	1	-1
Poloměr ekvivalent. kruhu	r	m	1	0	0

Poznámka: V rozměrovém exponentu (matici) jsou vyjádřeny fyzikální veličiny takto: l je délka se základní jednotkou metr, m je hmotnost se základní jednotkou kilogram a t je čas se základní jednotkou sekunda.

Přitom rozměrová analýza představuje jednoduché operace s jednotkami nebo rozměry fyzikálních veličin, s cílem získání bezrozměrných kritérií nebo funkčních závislostí mezi působícími veličinami. Analýza je založena na dvou teoremech. První vyjadřuje rozměrovou nezávislost na zvolené soustavě základních jednotek. Druhý potom tzv. princip homogenosti, což je požadavek, aby všechny veličiny, vstupující do matematického modelu, byly vyjádřeny ve stejné soustavě jednotek. Pro náš případ porovnáním čtyř rozměrových exponentů a příslušných symbolů dostaneme

$$\left. \begin{aligned} l: \quad 0 &= -1 - 3b - c + d \\ m: \quad 1 &= a + b + c \\ t: \quad -1 &= -2a - c \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Výsledkem je: $b = c$, $c = 1 - 2a$, $d = 2a + 1$; Rovnici pro hmotnostní tok můžeme napsat ve tvaru

$$q_m = k \cdot p^a \cdot \rho^b \cdot \eta^{1-2a} \cdot r^{2a+1}. \quad (5)$$

Toto řešení je neúplné, protože např. vedle konstanty k zůstává neurčen i mocnitel a . Ukazuje se, že v tomto případě lze použít Pí–teorému, což vede v případě hmotnosti k rozšíření tohoto pojmu jako míry množství látky (m) a míry setrvačnosti (m_s). Tím zvýšíme počet základních rozměrů o jeden a o stejnou hodnotu se sníží počet neznámých v rozměrové rovnici (3). Dostaneme

$$m \cdot t^{-1} = (l^{-1} \cdot m_s \cdot t^{-2})^a \cdot (l^{-3} \cdot m)^b \cdot (l^{-1} \cdot m_s \cdot t^{-1})^c \cdot l^d \quad (6)$$

a dále platí

$$\begin{aligned}
 l: \quad 0 &= -a - 3b - c + d \\
 m: \quad 1 &= b \\
 m_s: \quad 0 &= a + c \\
 t: \quad -1 &= -2a - c
 \end{aligned} \tag{7}$$


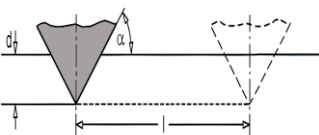
S využitím např. Gaussovy eliminační metody dostaneme $a = 1, b = 1, c = -1, d = 3$.

Výsledná rovnice má tvar

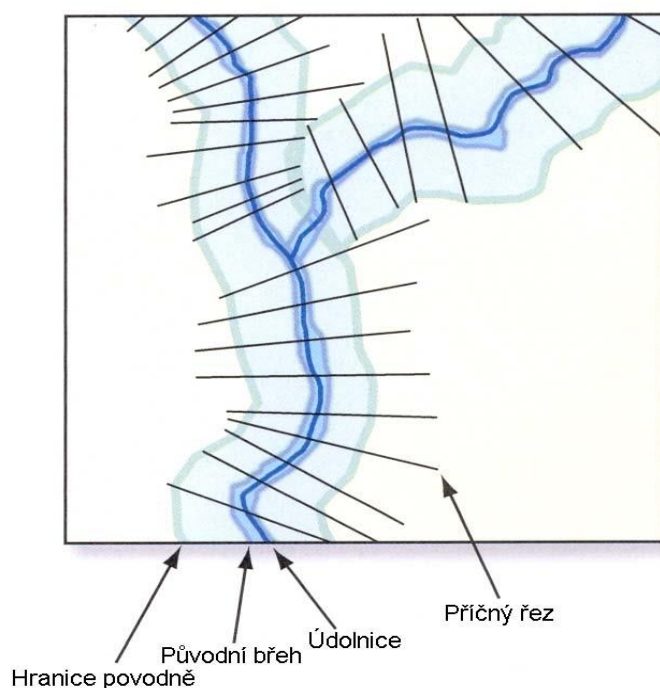
$$Q_m = k \cdot p \cdot \rho \cdot \eta^{-1} \cdot r^3. \tag{8}$$

Naznačený jednoduchý model vyžaduje relativně důkladnou znalost fyzikální podstaty jednotlivých veličin a jejich působení ve zkoumaném procesu. Jediná neznámá v rovnici k se obvykle určuje experimentálně. Model je značně zjednodušen a naznačený postup se týká pouze poloviny tzv. ekvivalentního půlkruhového potrubí, které aproximuje příčný průřez skutečného říčního koryta. V tabulce 2 je uvedena další možnost modelování příčných průřezů koryta a nalezení jejich plochy.

Tabulka 2 Příklady velikostních tvarových parametrů příčného průřezu koryta

Název	Tvar	Vztah	Poznámka
Průměr ekvivalent. kruhu D_E		$D_E = 2\sqrt{\frac{P_E}{\pi}}$	P_E – stejný obsah koryta, jako kružnice průměru D_E
d – hloubka α – úhel l – šířka profilu		$P_E = l \cdot d^2 \cdot \cot \alpha$	P_E – obsah koryta toku tvořený lichoběžníkem [m^3]

Obrázek 1 [3] znázorňuje 3D pohled na modelové záplavové území. Obrázek 2 [2] uvádí relativně komplexní postup časově prostorové analýzy zaplavení území a možnosti využití dalších metod, které umožňují zpřesňování modelu, např. metody konverze a využití čtvercových rastrů aj. Základem těchto metod je obvykle skutečnost, že terénní plochy, obecně záplavové území, můžeme charakterizovat jako funkce popisných souřadnic x, y . Jim pak lze přiřadit pouze jednu výškovou souřadnici z .



Obrázek 1 Model záplavového území tvořeného dvěma řekami

Současné geografické informační systémy (GIS) umožňují využití relativně dokonalých digitálních modelů terénu (DTM), modelů povrchu (DSM) a digitálních výškových modelů (DEM), které např. obsahují výškové body (2,5D rastrový model, vektorové modely) aj. Obecně lze konstatovat, že takto pojatá časově prostorová analýza obsahuje čtyři systémové navazující postupy, a to:

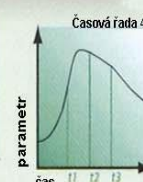
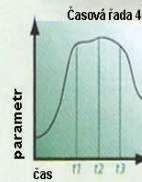
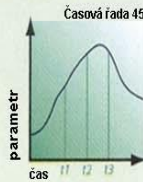
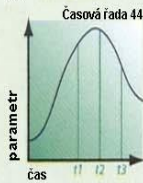
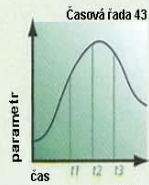
1. Spojení využití databází a datových souborů,
2. Prostorovou interpolaci jako proceduru odhadu neznámých hodnot ze známých hodnot v okolí, příklady vybraných metod interpolace jsou uvedeny na obrázcích 3 a 4 [5],
3. Vytvoření klasifikační mřížky a její konverzi do polygonů,
4. Statistické výpočty, jejich možné ověření na zmenšených modelech terénu, popř. přímo ve skutečném terénu.

Časově-prostorová analýza zaplavení charakteristické rysy

Tabulka časových řad

Jedna časová řada může souvázat s mnoha vlastnostmi

{hodnota, velikost, čas}



Tabulka časových řad

Časová řada	Hodnota	Čas
43	433.1	t1
43	437.4	t2
43	436.5	t3
44	446.6	t1
44	448.2	t2
44	445.8	t3
45	440.0	t1
45	446.5	t2
45	446.9	t3
46	433.1	t1
46	433.5	t2
46	432.4	t3
47	437.5	t1
47	441.9	t2
47	440.6	t3

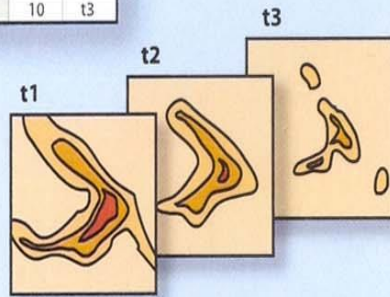
Polygon úrovně (hloubky)

Polygon úrovně (hloubky)

{zaplavení, časová proměnlivost tvaru}

Třídění vlastností záplavového polygonu

Objekt	Tvar	Hloubka	Čas
31		12	t1
32		10	t1
33		8	t1
34		12	t2
35		10	t2
36		8	t2
37		12	t3
38		10	t3



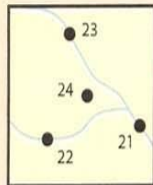
1 Spojení databází a datových souborů

time series are non-spatial but can be related by intermediate tables

řady znaků

statické vlastnosti s časově zrušnými znaky

{charakteristiky, hodnoty, čas}



Sledování třídy vlastností

Objekt	Tvar	Vlastnosti
		21
		22
		23
		24

2 prostorová interpolace

Odvození povrchu s použitím inverzní váhy vzdálenosti

Tabulka výšek

Objekt	Vlastnosti	Hodnota	Čas
21		433.1	t1
21		432.1	t2
21		431.7	t3
22		446.6	t1
22		446.2	t2
22		445.8	t3
23		440.0	t1
23		439.5	t2
23		439.7	t3
24		442.2	t1
24		441.9	t2
24		440.6	t3

Maximální hodnota zaplavení

- Kritická
- Střední
- Nepatrné
- Žádné

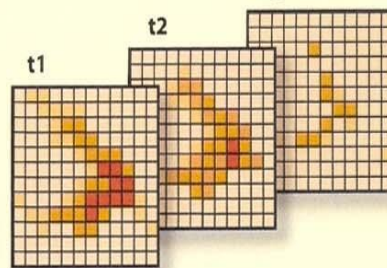
3 Klasifikační mřížka a konverze (převedení) do polygonu

polygon hloubek odvozený z klasifikace hloubek

mřížkové řady

Přibližné prostorové indexování pramenných v čase

{mřížka, čas}



hloubka

- 10-12
- 8-10
- 6-8

Klasifikace (kódování) oblastí hodnot datového typu

Klasifikace	Popis
1	Okamžitý
2	Součtový
3	Prírůstkový
4	Průměrný
5	Maximální
6	Minimální

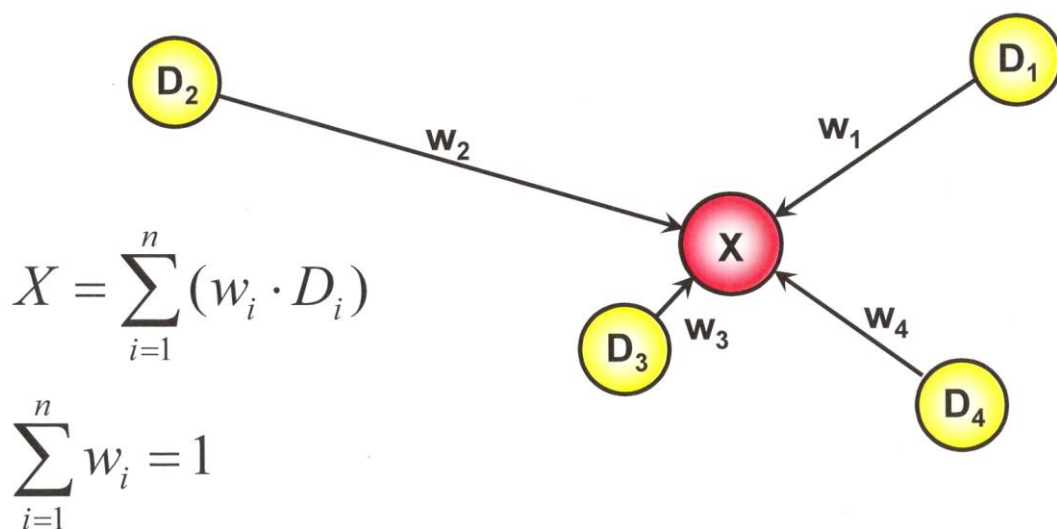
Mřížkový katalog

Objekt	Tvar	Mřížka	Název	Datování	Typ
				t1	5
				t2	5
				t3	5

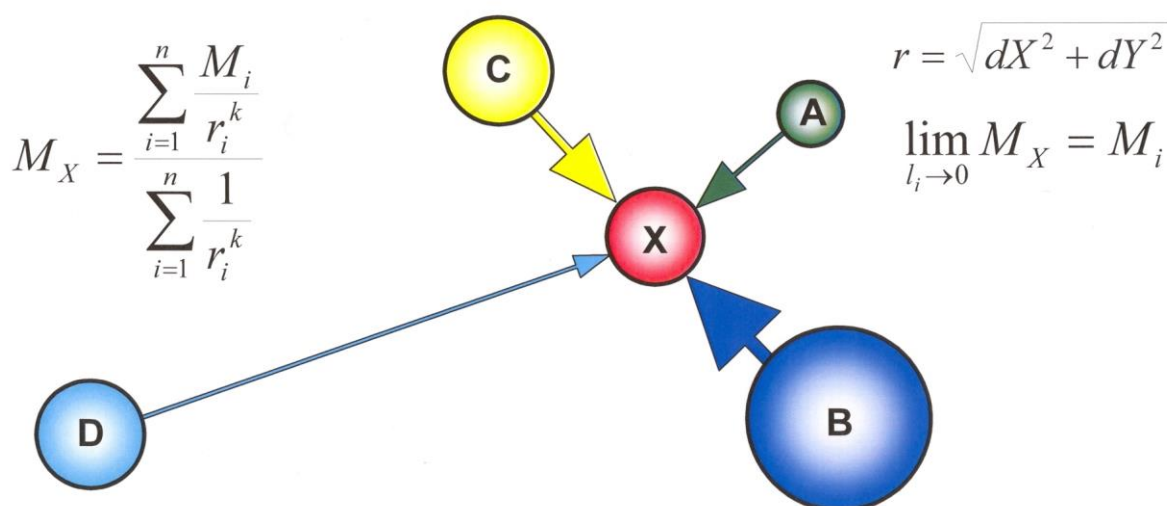
4 Pásmové statistické výpočty

průměrná hloubka a extrémní hodnoty jsou počítány pro jednotlivá přírodní pásma

Obrázek 2 Postup časově prostorové analýzy zaplavení



Obrázek 3 Příklad interpolační metody (vážený průměr)



Obrázek 4 Příklad metody interpolace (metoda inverzních vzdáleností)

3 ZÁVĚR

Podle zkušeností je možné včasným varováním a fungujícím systémem operativních opatření lépe ochránit obyvatelstvo a zabránit až 30% povodňových škod. Bohužel předpovídání povodní, vzniklých v důsledku prudkých bouřkových a přivalových dešťů na malých tocích je prakticky nemožné. Tyto deště zpravidla zasahují relativně malá území a nejsou ve většině případů podchyceny sítí operativně hlásících srážkoměrných stanic. Jde o tzv. bleskové povodně. Povodňová odezva v povodí malých vodních toků či v městských intravilánech je prakticky okamžitá. Orientační výstrahy pro větší územní celky, ale bez přesnější lokalizace výskytu, jsou vydávány na podkladě analýzy modelů nebezpečných synoptických situací, údajů

meteorologického radaru, popřípadě informací o spadlých srážkách. Za intenzivní srážky způsobující přívalové povodně lze v podmínkách ČR zhruba považovat množství od 30 mm/1 hodinu do 60 mm/4 hodinu. Pro tyto případy se na místní úrovni připravuje monitorování vývoje povodňového ohrožení v reálném čase, včasné varování obyvatelstva a případná evakuace z ohroženého území [5]. Zpracovaný model spolu s relativně jednoduchým automatickým měřením srážek a příslušným software může být příspěvkem k problematice včasného varování před povodní. Všechny tyto tři organické součásti jsou ve stadiu přípravy počítačové simulace a ověřování na zmenšeném modelu vodního toku.

LITERATURA

- [1] KUNEŠ, J. – VAVROCH, O. – FRANTA, V.: *Základy modelování*. TKI SNTL Praha, 1989 ISBN 80-03-00147-1
- [2] ARCTUR, D. – ZEILER, M.: *Streams and River Networks*. In: *Designing Geotatabases. Case Studies in GIS Data Modeling*. ESRI U.S.A. 2004
- [3] HOFMAN, A.: *Animace zaplavování části území povodí Radostínka – Balinka*. Univerzita obrany, Brno 2009
- [4] STODOLA, J.: *Vybrané matematické nástroje rozhodování v krizových situacích*. 5. mezinárodní vědecká konference RIEŠENIE KRIZOVÝCH SITUACÍ V ŠPECIFICKOM PROSTREDÍ. Žilina 2010. ISBN 978-80-554-0204-8 (str. 653 – 660)
- [5] Geografický informační systém: GIS integrované využití, UGT. Dostupné z WWW: <<http://mapserver.mendelu.cz/gisiv>>

Článek recenzovali dvaja nezávislí recenzenti.