

ANALÝZA POVODŇOVÝCH RIZIK V PROCESU ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ S VYUŽITÍM GIS

Aleš Dráb

Analýza povodňových rizik se postupem času stává nedílnou součástí územního plánování. Jedním z nezbytných nástrojů pro praktickou realizaci metod rizikové analýzy záplavových území jsou geografické informační systémy (GIS). Jejich úloha spočívá ve správě vstupních podkladů, jejich analýze a prezentaci výsledků. Cílem článku je demonstrovat možnosti využití GIS v procesu rizikové analýzy záplavových území s důrazem na aplikace v územním plánování. Pro praktickou ukázkou byla vybrána metoda rizikové matice, která je díky své relativní jednoduchosti a nenáročnosti na vstupní data vhodná např. jako součást územně analytických podkladů. Úvodní část článku je věnována otázce vstupních dat, kterými jsou údaje o hloubkách a rychlostech proudění vody v záplavovém území. Následuje postup zpracování vstupních dat metodou rizikové matice s využitím GIS. Závěr je věnován interpretaci výsledků metody matice rizika a jejímu celkovému zhodnocení.

1. Úvod

Identifikace problémů souvisejících s potenciálním ohrožením území povodněmi a jejich následné řešení nástroji územního plánování vyžaduje nezbytně aplikaci vhodných metod a postupů. Na základě aktuálních poznatků a zkušeností z oblasti ochrany proti povodním lze k tomuto účelu jednoznačně doporučit metody rizikové analýzy záplavových území (RA). Volba vhodné metody RA by měla být podřízena požadovaným výsledkům analýz, dostupným podkladům, finančním a časovým možnostem pro zpracování a celé řadě dalších faktorů. Nezbytná je rovněž správná volba nástrojů, které umožní prakticky realizovat postup daný zvolenou metodou RA. Z nejdůležitějších nástrojů jmenujme např. matematické modelování proudění vody v záplavových územích a geografické informační systémy (GIS).

V současnosti se při zpracování územně plánovací dokumentace (ÚPD) k řešení otázek spojených povodňovou problematikou v převážné většině případů využívají především podklady vycházející z dokumentace záplavových území (ZÚ), popř. studií odtokových poměrů (SOP) [6] [11].

Zmiňované postupy a dokumenty (ZÚ, SOP), podporované stávající legislativou [9] [11], jsou základním krokem při hodnocení záplavového území a poskytují první informace týkající se možného celkového rozsahu záplavy (viz obr. 1) a hrubého stanovení více a méně nebezpečných zón (viz tzv. aktivní zóny [11]).

Definici a koncepci jmenovaných tzv. aktivních zón z dnešního pohledu na analýzu povodňových rizik považují za překonanou [4]. Nabízí se proto jejich nahrazení některou z metod RA, přičemž jako nejvhodnější se v současnosti jeví níže popsaná me-

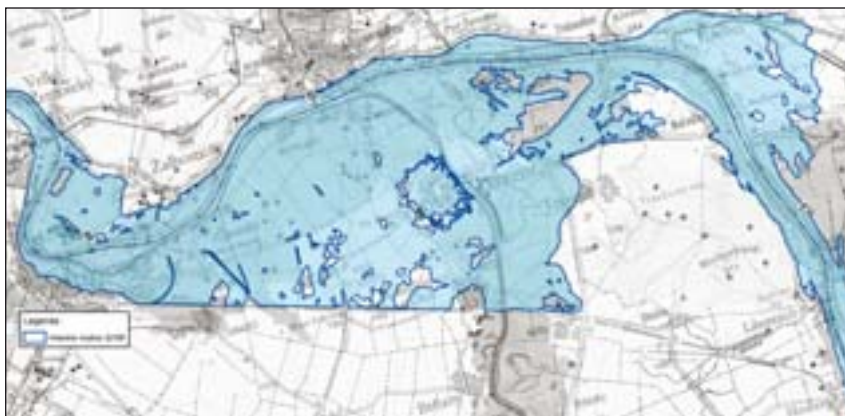
toda rizikové matice. Uvedená metoda umožňuje rozčlenění potenciálního záplavového území z hlediska povodňového rizika, na které je samozřejmě vázáno i možné funkční využití území. Výsledky uvedené metody mohou být vhodnou součástí územně analytických podkladů (ÚAP), definovaných v novém stavebním zákoně [10].

Z výše zmiňovaných důvodů se v dalším textu zaměříme na popis postupu zpracování RA metodou rizikové matice, vč. doporučení nezbytných vstupních podkladů. Pro usnadnění zavedení metody do procesu zpracování ÚPD je připojen postup jejího zpracování s využitím GIS, který je demonstrován s programovým vybavením ArcGIS firmy ESRI. Realizace naznačeného postupu je samozřejmě možná i za použití jiného programového vybavení pro GIS, které umožňuje základní operace s rastrovými daty.

2. Základní terminologie z oboru RA

Pro snadnější orientaci v řešené problematice uvádíme zkrácené definice několika základních pojmů z oboru RA. Podrobnější informace z oblasti terminologie RA lze získat např. v podkladech [3], [8]. Mezi základní pojmy RA patří především tzv. nebezpečí, zranitelnost, expozice a riziko.

Nebezpečí lze dle [8] definovat jako „hrozbu“ jevu, který vyvolá ztráty na lidských životech a majetku. Pří-



Obr. 1: Hranice záplavového území pro průtok Q_{100}

rodní nebezpečí jsou obvykle nezávislá na lidské činnosti. Jsou jimi např. povodně, zemětřesení, tornáda atd. V této souvislosti definujeme veličinu nazývanou potenciální povodňové nebezpečí, která je vyjádřitelná hodnotami tzv. charakteristik průběhu povodně. Jsou to např.: parametry povodně (kulminační průtok a hydrogram povodně), hloubka a rychlost proudění vody v záplavovém území, doba zaplavení, teplota vody atd.

Zranitelnost je dle [8] vlastnost objektu, tj. např. konstrukce nebo zařízení, která se projevuje náchylností ke škodám jako důsledku malé odolnosti vůči působení extrémního zatížení a expozic. Je ji možno charakterizovat mírou možných poškození způsobených daným zatížením mechanického nebo chemického původu.

Expozice je dle [8] doba, po kterou jsou příroda a krajina (zejména pak lidé a jejich majetek) vystaveny působení nepříznivého jevu (např. povodni). Ztráty na lidských životech, škody na majetku, na přírodě a krajině jsou závislé na délce expozice.

Riziko je dle [8] vyjádřeno pravděpodobností výskytu nežádoucího jevu (zde povodně) a jeho nepříznivých dopadů na životy, zdraví, majetek nebo životní prostředí. Obecně je riziko spřažením nebezpečí, zranitelnosti a expozice. Riziko je tím větší, čím větší je nebezpečí, čím delší je expozice a čím větší je zranitelnost objektu. Protože riziko je spřažením nebezpečí, zranitelnosti a expozice, je zřejmé, že riziko neexistuje, resp. je nulové, pokud nejsou naplněny současně všechny tři uvedené pojmy.

3. Metoda rizikové matice

Prezentovaná metoda rizikové matice pochází původem ze Švýcarska [5] a v současnosti je poměrně rozšířená např. i v sousedním Německu. Tato metoda již byla úspěšně aplikována i v podmínkách ČR, a to např. v rámci projektů VaV/650/5/02, GAČR reg. č.: 103/02/0018, GAČR reg. č.: 103/02/D100. Dosavadní zkušenosti, které jsou shrnuty v materiálech [3], [4], [8],

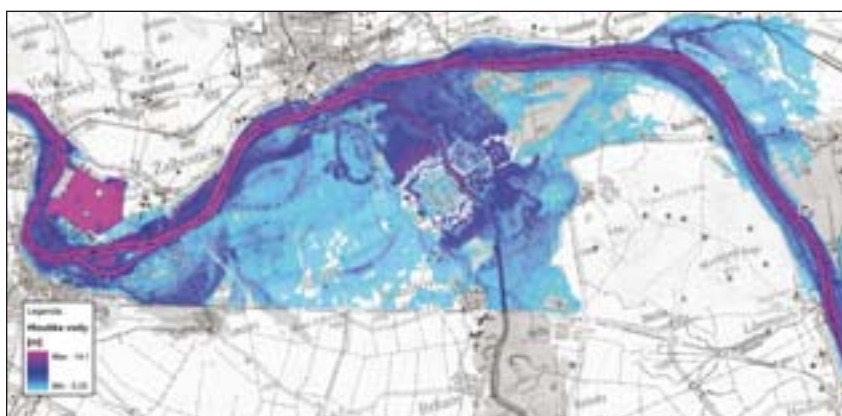
ukazují, že metoda je vhodná pro hodnocení intenzity povodně a stanovení rizika i v našich podmínkách a lze ji doporučit především pro účely územního plánování, např. jako již zmiňovanou součást ÚAP.

3.1 VSTUPNÍ DATA

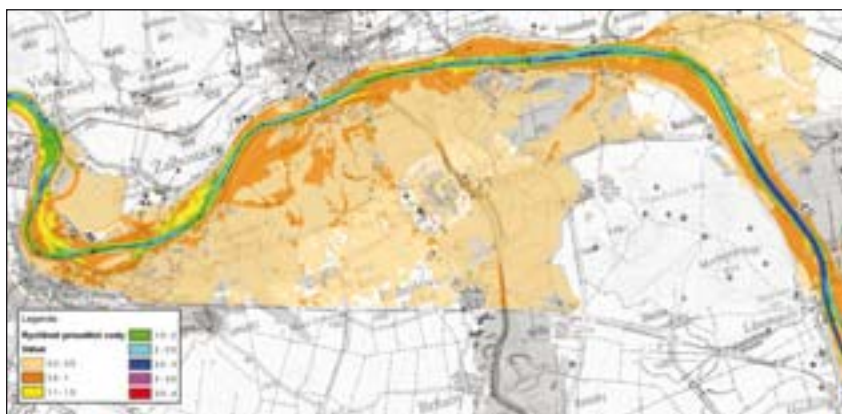
Metoda rizikové matice je ve srovnání s dalšími metodami RA [3], [4], [8] relativně nejméně náročná na vstupní data. Při zajišťování podkladů je možné předpokládat, že jejich převážná část je již součástí ÚAP [6], [7] (např. mapové podklady apod.). Zaměříme se tedy pouze na ta data, která jsou nezbytná přímo pro metodu rizikové matice a v ÚAP se běžně nevyskytují. Nejdůležitějším podkladem jsou z tohoto pohledu výsledky hydraulických výpočtů proudění vody v toku a záplavovém území, které jsou potřebné ke stanovení hloubek a rychlostí proudění vody (tzv. charakteristik průběhu povodně). Výpočty by měly být provedeny pomocí dvojdimenzio-

nálního (2D) hydrodynamického modelu. Alternativně lze použít pro odhad hloubek a rychlostí proudění i výsledky jednodimenzionálního (1D) hydrodynamického modelu. Toto řešení lze však ve spojení s metodou rizikové matice chápat jako nouzové, a proto jeho aplikace je možná jen ve zvláštních a odůvodněných případech. Hydraulické výpočty musejí být provedeny pro řadu povodňových scénářů.

Pro metodu rizikové matice je tedy třeba zajistit mapy hloubek a rychlostí proudění vody (viz obr. 2 a 3), které by měly být vyhotoveny vždy pro celou škálu scénářů nebezpečí, tj. např. pro průchod kulminačních průtoků přesahujících kapacitu toku (minimálně pro N-leté průtoky Q_5 , Q_{20} , Q_{100}) [4]. Pro podrobnější hodnocení, např. na úrovni ÚPD obcí, je vhodné uvedenou průtokovou řadu rozšířit např. na $Q_{0,33}$, $Q_{0,5}$, Q_1 , Q_2 , Q_5 , Q_{10} , Q_{100} , Q_{500} . Hodnocení rizika při průchodu průtoků vyšších N-letostí než $N = 500$ let není účelné z důvodu jejich nízké pravděpodobnosti výskytu [4].



Obr. 2: Příklad mapy hloubek vody



Obr. 3: Příklad mapy rychlostí proudění vody

Z hlediska dalšího zpracování výše uvedených dat v GIS je třeba dodržet několik doporučení, týkajících se jejich formátu. Je nezbytné, aby údaje o hloubkách a rychlostech proudění vody byly v podobě rastrových dat. Přitom každá buňka rastru musí mít přiřazen údaj o hloubce vody (popř. rychlosti proudění) ve formě reálného čísla. Z tohoto pohledu nejlépe vyhovuje rastrový formát ESRI GRID. Vhodný je rovněž rastrový formát ASCII, který podporuje většina GIS. Rozlišení

rastru (velikost jedné buňky) musí odpovídat charakteru řešené oblasti a podrobnosti zpracovávané analýzy.

3.2 POSTUP METODY RIZIKOVÉ MATICE

Metoda založená na matici rizika je jedním z nejjednodušších postupů pro předběžné hodnocení potenciálního rizika v záplavových územích. Metoda nevyžaduje kvantitativní odhad škody

způsobené vyběžením vody z koryta, ale vhodným způsobem vyjadřuje povodňové *nebezpečí*. Při vyjádření *rizika* tato metoda nepostihuje *zranitelnost* území. Ta se do hry dostává až následně ve formě přijatelného rizika, resp. nezbytných opatření pro jednotlivé typy objektů a omezení aktivit ve vybraných částech území. Tato skutečnost naznačuje využití této metody zejména v oblasti územního plánování [8].

V metodě rizikové matice je riziko považováno za funkci pravděpodobnosti výskytu příslušného povodňového scénáře a tzv. *intenzity povodně*. Intenzita povodně přitom vyjadřuje ničivé účinky povodně, které závisí především na rychlosti proudění vody a hloubce zaplavení. Riziko je definováno *maticí rizika* vycházející z již zmiňované. „Švýcarské metodiky“ [5].

Metoda spočívá ve dvou základních krocích (viz obr. 4):

1. Kvantifikace povodňového nebezpečí – výpočet intenzity povodně.
2. Stanovení povodňového rizika pomocí matice rizika.

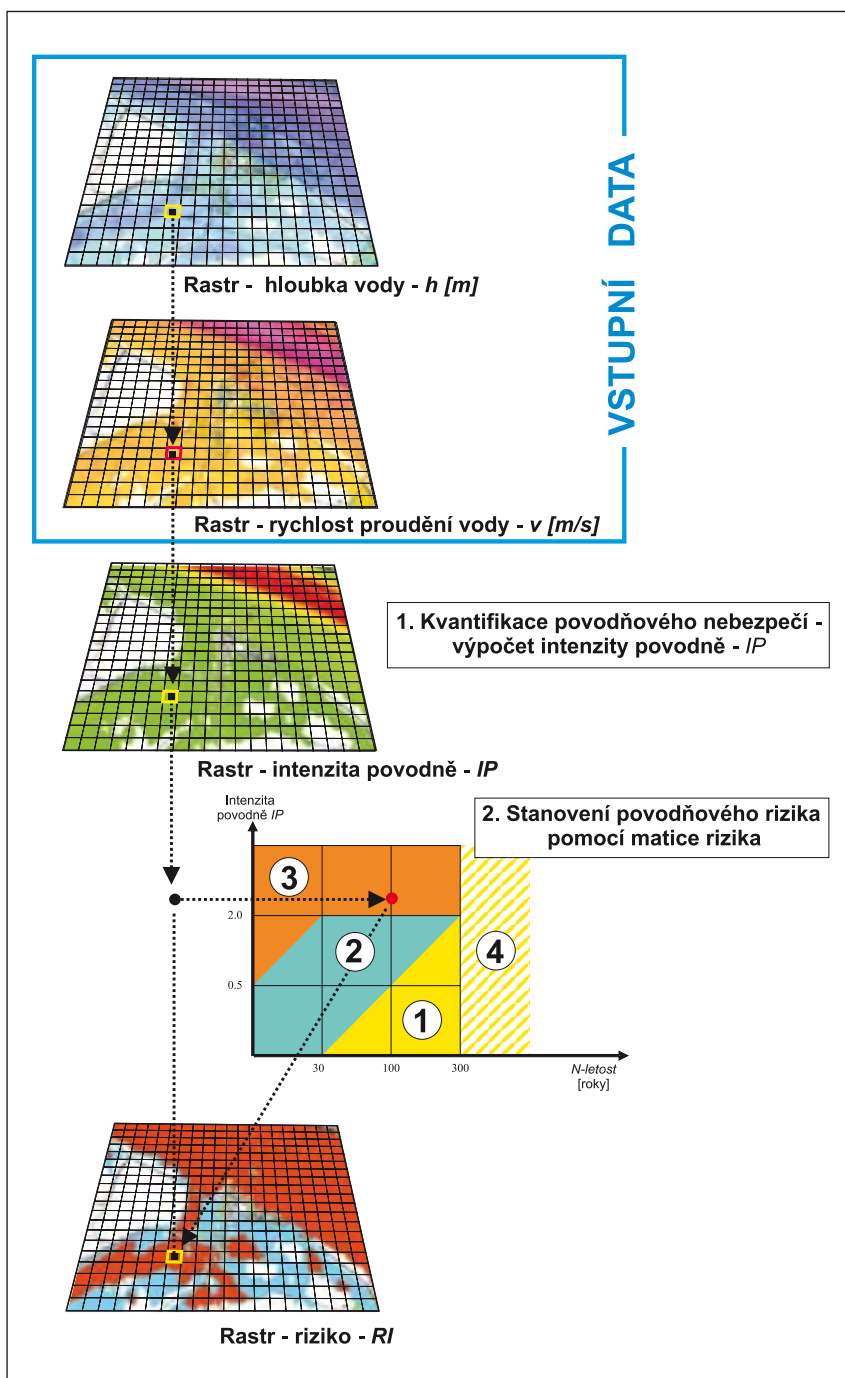
3.2.1 Kvantifikace povodňového nebezpečí – výpočet intenzity povodně

V rámci tohoto kroku je třeba definovat a popsat nebezpečí, které je vyjádřeno pomocí intenzity povodně (*IP*). Ta je chápána jako měřítko ničivosti povodně a je definována jako funkce hloubky vody h [m] a rychlosti proudění vody v [m/s] [2], [3], [8]:

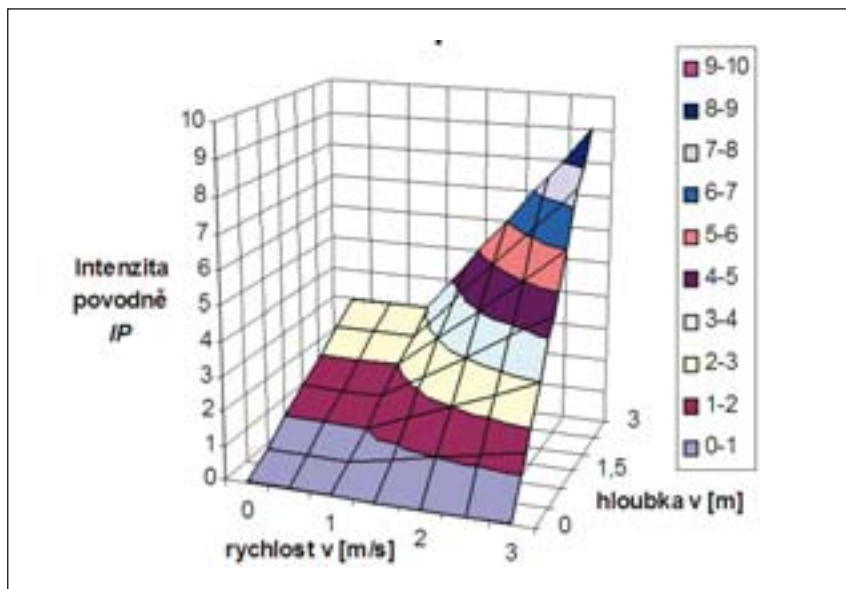
$$IP = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ 0,3 + 1,35 \cdot h & h > 0, v < 1 \text{ m/s} \\ 0,3 + 1,35 \cdot h \cdot v & v > 1 \text{ m/s} \end{cases} \quad (1)$$

Názornější představu o funkční závislosti definované vztahy (1) poskytuje obr. 5, kde je znázorněn průběh intenzity povodně *IP* jako funkce hloubky h a rychlosti proudění vody v .

Výpočet intenzity povodně *IP* vychází z podkladů uvedených v odst. 3.1. Jako vstup tedy slouží údaje o hloubkách a rychlostech proudění vody pro dané *N*-leté průtoky (viz obr. 4). Tato data jsou v rastrovém formátu



Obr. 4: Schéma postupu metody rizikové matice

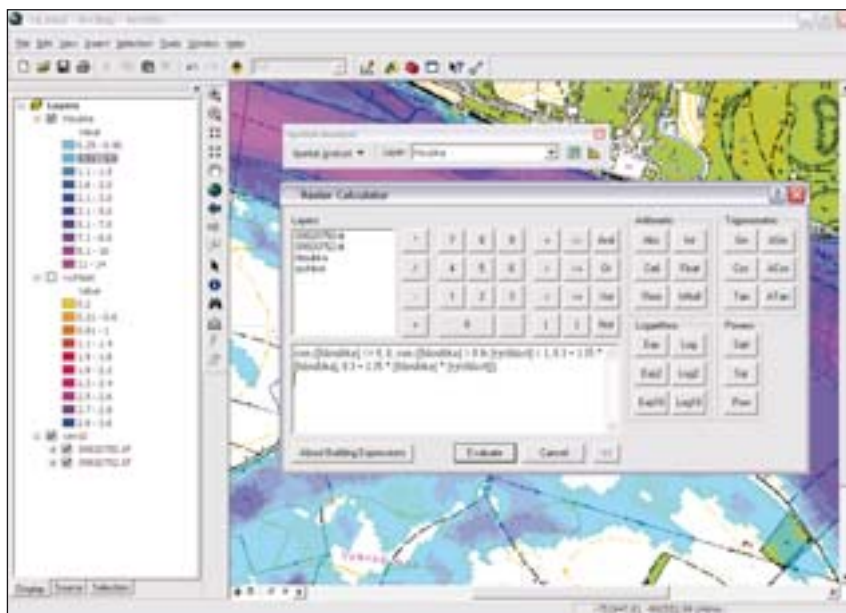


Obr. 5: Průběh intenzity povodně (převzato z [8])

a lze s nimi po načtení do GIS provést příslušné početní operace dle vztahů (1). V případě programového vybavení ArcGIS je k tomuto účelu vhodný nástroj Raster Calculator, který je součástí nadstavby Spatial Analyst. Pro výpočet *IP* lze použít výraz (2), jehož součástí jsou i rozhodovací struktury *con()*, které umožňují volbu příslušného výpočtového vztahu (1), a to na základě hodnot hloubek a rychlostí proudění vody.

$$\text{con}([\text{hloubka}] \leq 0, 0, \text{con}([\text{hloubka}] > 0 \ \& \ [\text{rychlost}] < 1, 0,3 + 1,35 * [\text{hloubka}], 0,3 + 1,35 * [\text{hloubka}] * [\text{rychlost}])) \quad (2)$$

Obr. 6 ilustruje zadání výše uvedeného výrazu (2) do nástroje Raster Calculator v ArcGIS. Výpočet *IP* je třeba opakovat pro všechny scénáře povodňového nebezpečí (N-letosti kulminačních průtoků). Výsledkem jsou samozřejmě opět rastrová data, ve kterých má každá buňka rastru přiřazen údaj o intenzitě povodně *IP*.



Obr. 6: Výpočet *IP* s použitím nástroje Raster Calculator v ArcGIS

Vypočtené hodnoty *IP* je možné dále zařadit do několika kategorií, které vycházejí z průzkumu potenciálních škod na zdraví obyvatel a majetku v záplavovém území. Zjednodušený popis kategorií *IP* je uveden v tabulce 1. Vypočtené hodnoty *IP* lze v kombinaci s vhodným mapovým podkladem prezentovat formou map intenzit povodně (viz obr. 7).

Rovněž pravděpodobnost výskytu daného povodňového scénáře lze zařadit do několika kategorií. Např. podle N-letosti kulminačního průtoku lze definovat následující intervaly [1] [5]:

- vysoká pro N v intervalu 1 až 30 let,
- střední pro N v intervalu 30 až 100 let,
- malá pro N v intervalu 100 až 300 let,
- velmi malá pro N větší než 300 let.

3.2.2 Stanovení povodňového rizika pomocí matice rizika

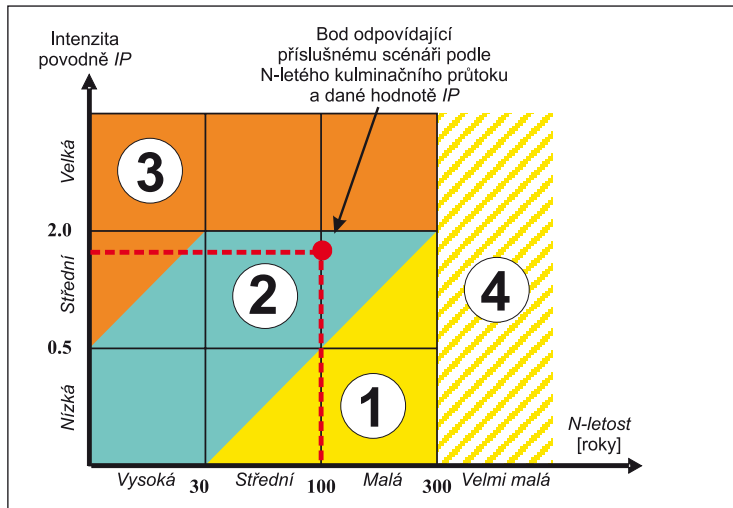
Riziko se v daném místě záplavového území stanoví na základě hodnoty pravděpodobnosti výskytu daného povodňového scénáře (N-letosti



Obr. 7: Příklad mapy intenzity povodně

Intenzita povodně <i>IP</i>	Popis
Velká ($IP > 2$)	Lidé a zvířata jsou ohroženi i uvnitř budov, počítá se s vážným a náhlým poškozením budov.
Střední ($0,5 < IP \leq 2$)	Lidé a zvířata nejsou uvnitř budov příliš ohroženi, mimo budovy jsou vážně ohroženi. S poškozením budov je třeba počítat, nicméně ne s jejich náhlým zřícením.
Nízká ($IP \leq 0,5$)	Obyvatelstvo je ohroženo minimálně, s určitým méně vážným poškozením budov se počítá.

Tab. 1: Popis kategorií nebezpečí podle [1]



Obr. 8: Matice rizika podle [5]



Obr. 9: Příklad mapy rizika

Riziko	Popis
(3) Vysoké (oranžová barva)	Lidé a zvířata jsou ohroženi i uvnitř budov, počítá se s vážným a náhlým poškozením budov.
(2) Střední (modrá barva)	Lidé a zvířata nejsou uvnitř budov příliš ohroženi, mimo budovy jsou vážně ohroženi. S poškozením budov je třeba počítat, nicméně ne s jejich náhlým zřícením.
(1) Nízké (žlutá barva)	Obyvatelstvo je minimálně ohroženo, s určitým méně vážným poškozením budov se počítá.
(4) Velmi nízké (žluto-bílá šrafa)	Zbytkové riziko, řešení prostřednictvím dlouhodobého územního plánování se zaměřením na zvláště citlivé objekty (nemocnice, památkové objekty apod.). Snahou je vyhnout se objektům a zařízením se zvýšeným potenciálem škod.

Tab. 2: Popis rizika dle [1], [3], [5], [8] a podle obr. 8

kulminačního průtoku) a intenzity povodně *IP*. To lze provést odečtením z tzv. matice rizika, která obsahuje zóny rizika 1 až 4 vymezené pomocí barevných ploch (viz obr. 8).

Praktický postup stanovení rizika je obdobný jako v případě výpočtu intenzity povodně *IP*. Opět se jedná o analýzu rastrových dat. Vstupem jsou nyní rastrová data obsahující informace o intenzitách povodně *IP* pro dané *N*-leté průtoky (viz obr. 4). Ke stanovení rizika slouží matice rizika uvedená na obr. 8. Pro každou buňku rastu je třeba posoudit, ve které barevné oblasti matice rizika se nachází a na základě toho stanovit riziko vyjádřené hodnotou 1 až 4. Podrobná specifikace rizika pro jednotlivé barevné oblasti je uvedena v tab. 2.

Při zpracování této úlohy v ArcGIS lze opět použít Raster Calculator z nadstavby Spatial Analyst. Příklad výrazu do nástroje Raster Calculator, určeného k vyhodnocení rizika pro *N*-letý kulminační průtok Q_{100} je následující:

$$\text{con}([\text{intenzita}] \leq 0.5, 1, \text{con}([\text{intenzita}] \leq 2 \ \& \ [\text{intenzita}] > 0.5), 2, 3)) \quad (3)$$

Výstupem je rastrový soubor, který v každé buňce obsahuje hodnotu rizika 1, 2, 3 nebo 4 podle matice rizika na obr. 8. Tento postup je třeba opakovat pro všechny posuzované scénáře (*N*-leté kulminační průtoky).

Další procedura spočívá ve vyhodnocení maximálních hodnot rizika RI pro jednotlivá dílčí rizika RI_i odpovídající *i*-tým scénářům nebezpečí (průchodu *N*-letého kulminačního průtoku) dle vztahu:

$$RI = \max_{i=1}^n RI_i, \quad (4)$$

kde *n* značí celkový počet scénářů povodňového nebezpečí [4]. K vyhodnocení použijeme opět Raster Calculator, konkrétně jeho funkci *max()*. Výsledkem bude jediný rastrový soubor obsahující maximální hodnoty rizika RI ze vztahu (4). Výsledné hodnoty rizika je možné zobrazit formou map rizika (viz obr. 9).

3.3 INTERPRETACE VÝSLEDKŮ

Výstupem metody založené na matici rizika jsou hodnoty povodňového nebezpečí (*IP*) a rizika (*RI*) zachycené v grafické podobě, zpravidla ve formě map (viz obr. 7 a 9).

Údaje o nebezpečí vycházejí z průzkumu potenciálních škod na životech, zdraví a majetku osob i firem v záplavovém území. K interpretaci povodňového nebezpečí (*IP*) doporučujeme použít zjednodušený popis kategorií nebezpečí podle tabulky 1.

Popis rizika odpovídající zónám vyznačeným v mapách rizika je uveden v tabulce 2.

Zranitelnost území může do hodnocení vstoupit až následně v podobě přijatelného rizika, resp. nezbytných opatření pro jednotlivé typy objektů. Přijetí opatření, která udržují stupeň rizika v předem stanovených mezích, vycházejí z tabulky 2.

4. Závěr

Metoda vycházející z matice rizika umožňuje relativně jednoduchým způsobem vymezit zóny se zvýšeným nebezpečím, resp. ohrožením. To v porovnání s funkčním využitím území např. nad územními plány umožňuje vymezit rozsah ploch, které nesplňují požadavek přijatelné míry rizika. Předností této metody je interpretace nebezpečných zón a jejich průniků se zranitelnými objekty v tematických mapách a možnost jejich přímého využití při územním plánování v ohrožených oblastech [4]. Výsledky metody lze doporučit jako součást ÚAP definovaných stavebním zákonem [10].

Neméně podstatnou výhodou této metody jsou relativně malé požadavky na podklady a vstupní data. Rovněž nároky na vybavení a kvalifikaci pracoviště zpracovatele odpovídají standardnímu hardwarovému, softwarovému a personálnímu zázemí. Zřejmou výhodou je univerzálnost metodiky, která je aplikovatelná i v našich podmínkách prakticky ve všech typech záplavového území, a to bez nároků na poměrně náročné ekonomické hodnocení potenciálních škod v záplavovém území. Metoda tedy nepostihuje vyšší potenciálních škod, a proto ji ne-

ní vhodné používat k ekonomickému hodnocení rentability protipovodňových opatření.

Pro stanovení nezbytných charakteristik průběhu povodně (hloubka a rychlost proudění vody) je vhodné použití 2D modelů proudění vody v záplavovém území [4].

Použité zdroje:

- [1] BEFFA, C. *Two-Dimensional Modelling of Flood Hazards in Urban Areas*. 3rd Conf. on Hydrosience and Engineering, Cottbus/Berlin, Germany : 1998.
- [2] BEFFA, C. *A Statistical Approach for Spatial Analysis of Flood Prone Areas*. International Symposium on Flood Defence, D-Kassel, September 2000.
- [3] DRBAL, K. aj. *Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe – Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území*. VÚV T.G.M., Brno : 2005.
- [4] DRBAL, K. aj. *Návrh metodiky stanovování povodňových rizik a škod v záplavovém území a její ověření v povodí Labe – Etapová zpráva za rok 2005*. VÚV T.G.M., Brno : 2005.
- [5] Federal Office for Water Management (FOWM). *Empfehlungen: Berücksichtigung der Hochwassererfahren bei raumwirksamen Tätigkeiten*. EDMZ, CH-3000 Bern : 1997.
- [6] Ministerstvo pro místní rozvoj. *Návrh vyhlášky o územně analytických podkladech, územně plánovací dokumentaci a způsobu evidence územně plánovací činnosti*. Praha : 2006.
- [7] Odbor územního plánování Ministerstva pro místní rozvoj. *Modelové ověřování územně analytických podkladů*. Materiál 15. celostátní konference o územním plánování a stavebním řádu. Praha : 2005.

[8] ŘÍHA, J. aj. *Riziková analýza záplavových území*. Práce a studie Ústavu vodních staveb FAST VUT Brno, Sešit 7, CERM, 2005, 286 s., ISBN 80-7204-404-4.

[9] *Vyhláška MŽP 236/2002 Sb. o způsobu a rozsahu zpracování návrhu a stanovování záplavových území*.

[10] *Zákon č. 183/2006 Sb. o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*.

[11] *Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) ve znění pozdějších předpisů*.

[Článek byl zpracován za podpory projektu GAČR 103/02/D100 a VaV/650/5/02.]

Ing. Aleš Dráb, Ph.D.
Ústav vodních staveb
Fakulta stavební VUT Brno

ENGLISH ABSTRACT

GIS-Based Analysis of Flood Risks in the Process of Spatial Planning,
by Aleš Dráb

The analysis of flood risks is evolving into an integral part of spatial planning. One of the necessary tools for the practical materialization of the methods of risk analysis in floodplains is the geographic information system (GIS). Their task is to administer input data, analyse them, and present results. This article demonstrates the possibilities of GIS in the process of risk analysis of floodplains, especially focusing on spatial planning applications. As a practical example, the method of the risk matrix was used, which can be easily applied in spatial planning. The opening part of the article deals with the input data, i.e. those about the depths and speeds of water flow in the floodplain. Then the procedure of data processing through the method of the risk matrix, using the GIS, is described. In conclusion, the results of the method are interpreted and evaluated.