

IDENTIFIKOVANIE, HODNOTENIE A MAPOVANIE POVODŇOVÉHO RIZIKA V PROSTREDÍ GIS S VYUŽITÍM PRIESTOROVEJ MULTIKRITERIÁLNEJ ANALÝZY

Peter SKUBINČAN¹

¹ Geografický ústav SAV, oddelenie fyzickej geografie, geomorfológie a prírodných hazardov,
Štefánikova 49, 814 73, Bratislava, Slovenská republika
peter.skubincan@savba.sk

Abstrakt

Povodne sú najčastejšie, najnebezpečnejšie a zároveň najničivejšie prírodné katastrofy vyskytujúce sa v našich zemepisných šírkach, ktoré si každoročne vyžadujú škody za milióny EUR a niekedy bohužiaľ aj ľudské životy. Až donedávna bola povodňová ochrana považovaná za výhradne technický problém v kompetenciách hydrologických inžinierov, ktorých cieľom bolo hlavne zmenšenie rozsahu potenciálne zaplaveného územia, za použitia zvyčajne rôznych prevažne stavebných úprav (stavba hrádzí, vodných nádrží, prehĺbovanie koryta a pod.). Výsledné škody spôsobené povodňou však nie sú definované len rozsahom zaplaveného územia. Konečné negatívne dôsledky do značnej miery závisia od prvkov, ktoré sa v danom území vyskytujú (ľudia, budovy, služby, priemysel..) a ich inherentných vlastností (napr. v prípade ľudí: vek, pohlavie, sociálny status, počet detí, počet jednorodičovských rodín atď.). Tie vhodne popisuje koncept zraniteľnosti, ktorý vníma zraniteľnosť ako kombináciu troch zložiek – susceptibility, resilience a resistance ohrozených prvkov voči povodni. V tejto práci predstavujeme pomerne nový, moderný a komplexný koncept hodnotenia povodňového rizika, vo vybranom území, v prostredí GIS. Záujmovým územím je horný tok rieky Myjava (severozápadné Slovensko), ktorý sa vyznačuje častými povodňami. Tento článok predstavuje základný koncept z ktorého budeme vychádzať pri hodnotení povodňového rizika. Zároveň identifikuje a približuje vybrané kľúčové problémy súvisiace s hodnotením povodňového rizika zvolenou metódou, so získavaním a predspracovávaním potrebných dát. Vo záujmovom území budú na základe jednotlivých indikátorov a indexov, získaných zo širokého spektra dostupných dát a zdrojov údajov (ZBD, ZM, cenzy, štatistiky, dotazníky a pod.), pripravené konkrétne tematické vrstvy (kritériá), reprezentujúce rôzne formy sociálnej, environmentálnej a ekonomickej zraniteľnosti. Jednotlivé vrstvy budú následne štandardizované a kombinované za použitia priestorovej multi-kriteriálnej analýzy, pričom váhy jednotlivých kritérií definujú ich relatívnu významnosť v procese rozhodovania/agregácie. Na komplexné porovnanie budú vykonané viaceré „zostavy“ multi-kriteriálnej analýzy, za použitia rôznych nastavení váh a rôznych rozhodovacích pravidiel (rôznych agregáčnych funkcií). Záverom analýzy je vždy citlivostná analýza odhaľujúca prípadnú prílišnú „citlivosť“ výsledného hodnotenia povodňového rizika (výstupu analýzy) na zmenu vstupných údajov (jednotlivé kritériá, ich váhy atď.).

Abstract

Floods are the most often occurring, the most dangerous and the most devastating disasters in central Europe region. There are several million EUR of damages calculated and unfortunately sometimes even lives reported lost each year because of floods. Until recently the flood protection was considered almost exclusively as technical matter in competence of hydrologists and hydro-engineers. Their main goal was to reduce potentially flooded area using primarily different forms of flood protective constructions (dikes, dams, deepening the channel etc.). However, damage resulting from flood, is not only function of flood area extent and flood attributes. Total harm is very dependent on particular elements at risk (e.g.: people, buildings, services, business) and its inherent properties (for example for people: age, gender, social status, children, percentage of one-parent families...). These properties are well described by the concept of vulnerability, which sees the vulnerability as a “function” of three main components: susceptibility, resilience and resistance. In this paper is our aim to introduce a relatively new, modern and complex concept of assessing flood risk in GIS in selected region. Study area of this research is the top part of Myjava river catchment

(located in northwestern part of Slovakia), which is known for regular flood occurrences. This paper introduces basic concept of upcoming flood risk assessment. We also introduce and discuss few key problems connected with flood risk assessment (using multicriteria analysis) and also with obtaining relevant data and it's pre-processing. Afterwards there will be selected and created a set of criterions (layers) based on data from different kinds of sources (different GIS layers, base maps, censuses, questionnaires etc.) which do represent one of three main "groups" of vulnerability – social, environmental and/or economic vulnerability. Layers will be standardized and to each of them will be assigned weight, to quantify relative importance in decision making process performed by conducting spatial multi-criteria analysis/by applying aggregation function. To get as complex and robust results as possible, in the end we will conducted several configurations of multi-criteria analysis, while using different weight settings for criteria and by applying different decision rules/aggregation functions. Sensitivity analysis will be conducted later to discover potential inappropriate "sensitivity" of analysis results (flood risk assessments) on analysis inputs (individual criteria, weights, etc.).

Klíčová slova: povodňové riziko; GIS; multi-kriteriálna analýza; zraniteľnosť; hodnotenie

Keywords: flood risk; GIS; multi-criteria analysis; vulnerability; assessment

1. ÚVOD

Povodne sú najčastejšie, najväčšie a zároveň najnebezpečnejšie prírodné katastrofy vyskytujúce sa v našich zemepisných šírkach. Každoročne si vyžadujú škody za milióny EUR a bohužiaľ niekedy aj ľudské životy. V rokoch 1996 až 2010 na Slovensku došlo k výskytu spolu vyše 3000 povodňových udalostí. Celkové škody a náklady na zabezpečovacie a záchranné práce za toto obdobie presiahli sumu 1,1 miliardy EUR, čo ročne odpovedá v priemere viac ako 73,5 milióna EUR (Úrad vlády SR, 2010). Extrémne povodne, ako napríklad tie ktoré v roku 2002 zasiahli hlavne Nemecko a Českú Republiku sa však Slovensku v poslednom období vyhli. BECKER, A. & GRUNEWALD (2003) uvádzajú, že počas augustových povodí v roku 2002 boli len pre rieku Labe vyčíslené hrubé odhady škôd v Českej Republike približne na úrovni 3 miliárd \$ a v Nemecku dokonca viac ako 9 miliárd \$. Zároveň dodávajú, že povodne takéhoto rozsahu sa v Európe ešte nikdy predtým nevyskytli. Dobrý prehľad všetkých významných povodňových udalostí v Európe za posledných 50 rokov uvádza napr. Barredo (2006). V tomto príspevku predstavujeme základný koncept z ktorého budeme vychádzať pri hodnotení povodňového rizika multikriteriálnou analýzou s dôrazom na integráciu zraniteľnosti do procesu hodnotenia. Zároveň identifikujeme a približujeme vybrané kľúčové teoreticko-metodologické problémy, pri získavaní a spracovávaní dát vstupujúcich do analýzy.

2. SÚČASNÝ STAV V OBLASTI MANAŽMENTU A HODNOTENIA POVOĽOVÉHO RIZIKA

Ako na európskej úrovni, tak aj na Slovensku bolo až donedávna považované povodňové riziko za výhradne technologický problém. Hoci, skôr než o povodňovom riziku, by v tomto prípade asi bolo vhodnejšie hovoriť o povodňovom hazarde. Všetky riešenia sa totiž takmer výhradne zameriavali na zmenšenie plochy potenciálne zaplaveného územia, resp. zníženie frekvencie opakovania a/alebo intenzity povodňových udalostí. Hlavným prostriedkom na dosiahnutie týchto cieľov boli prevažne technické opatrenia v podobe rôznych stavebných úprav a v blízkosti koryta. Medzi ne patria hlavne: budovanie hrádzí, vodných nádrží, suchých/vlhkých poldrov, regulácia vodných tokov, stabilizácia a čistenie brehov, prehlbovanie koryta, napriamovanie vodných tokov, prerezávanie meandrov a pod. .Tento čiastočne technokratický alebo tiež tzv. „tradičný prístup“ má však niekoľko zásadných nedostatkov a v odbornej literatúre je pomerne často kritizovaný (napr. Plate 2002, Brown, Damery 2002, Brouwer and van Ek 2004). Medzi hlavné výhrady patria hlavne: nekomplexnosť, relatívnosť ochrany, a nezohľadňovanie ohrozených objektov a ich vlastností. Škody spôsobené prírodným hazardom totiž nie sú len funkciou jeho parametrov. Veľkosť potenciálnych negatívnych dôsledkov povodne do značnej miery determinuje aj zraniteľnosť územia, resp. objektov v ňom sa nachádzajúcich (napr. Schneiderbauer, Ehrlich 2004). To je niekoľko hlavných dôvodov, ktoré viedli k zmene paradigmy z protipovodňovej ochrany smerom k manažmentu povodňového rizika. Práve integrácia

technických a netechnických opatrení (teda, zmenšenie rozsahu zaplavenia a zníženie zraniteľnosti) vedie k oveľa efektívnejšej redukcii potenciálnych negatívnych dôsledkov a tým aj k robustnejšej ochrane pred povodňami (Plate 2002, Messner & Meyer 2005, Meyer 2007).

2.1 Európska a národná iniciatíva

Pod vplyvom týchto „skúseností“ a nových poznatkov došlo k rôznym iniciatívam aj na európskej úrovni. Medzi tie najdôležitejšie patrí prijatie smernice č. 2007/60/ES „O hodnotení a manažmente povodňových rizík“. Táto smernica nadobudla platnosť 26.11.2007 a jej hlavným cieľom je zaviesť jednotný rámec pre hodnotenie a manažment povodňového rizika v Európe, tak aby boli vytvorené podmienky a konkrétne nástroje na postupné znižovanie povodňového rizika v štátoch EÚ na všeobecne akceptovateľnú úroveň. Dôraz je pri tom kladený jednak na znižovanie frekvencie a magnitúdy povodne (opakovanie povodňových udalostí a rozsah zaplaveného územia), ako aj na minimalizáciu negatívnych dôsledkov povodne (minimalizácia zraniteľnosti ohrozených objektov, zvyšovanie rezistencie a resiliencie). Smernica zaväzuje všetky členské štáty vypracovať pre svoje územia: predbežné hodnotenie povodňového rizika (do konca roku 2011), mapy povodňového rizika (do konca roku 2013) a plán manažmentu povodňového rizika (do konca roku 2015). Nakoľko povodňové riziko nie je možné považovať za statickú – v čase nemennú – veličinu, je uložená povinnosť opakovať mapovanie povodňového rizika a upravovať plány jeho manažmentu následne vždy v 6 ročných intervaloch (de Moel, H. et al, 2009). Na Slovensku toto nariadenie prešlo zákonodárnym procesom a bolo implementované v podobe zákona č. 7/2010 "O ochrane pred povodňami". Zodpovedným úradom za plnenie nariadení tejto európskej smernice bolo v SR stanovené Ministerstvo životného prostredia, ktoré následne poverilo predbežným hodnotením a vytvorením máp povodňového rizika správcov jednotlivých vodných tokov (povodí) – vodohospodárske podniky (európska smernica č. 2007/60/ES ; zákon SR č. 7/2010). Takmer každá európska krajina, ešte pred prijatím tejto smernice, už mala nejaké povodňové mapy k dispozícii (alebo aspoň naštartované projekty ich vytvárania). Na druhej strane, ako uvádzajú de Moel et al. (2009), väčšina z krajín Európskej Únie disponovala len mapami povodňového hazardu, od ktorých je k mapám povodňového rizika nutné spraviť ešte niekoľko pomyslených krokov. Rozdiely medzi jednotlivými typmi máp, medzi rizikom, hazardom, zraniteľnosťou, či v prístupoch k ich kvantifikácii budú stručne priblížené a vysvetlené na najbližších stranách. Sú to kľúčové termíny v problematike hodnotenia a mapovania povodňového rizika a rovnako tak v kontexte našej práce.

2.2 Povodňové mapy

Najčastejšími producentmi povodňových máp sú v Európskej Únii vládne inštitúcie a vládou poverené organizácie, správcovia vodných tokov, poisťovne – príp. ich asociácie a združenia a v neposlednom rade odborná vedecká komunita. Každá sféra (štátna, súkromná, či vedecká) má na mapy a ich obsah rozdielne požiadavky. Povodňové mapy je možné rozdeliť do dvoch hlavných skupín – mapy povodňového hazardu a mapy povodňového rizika. Mapy zobrazujúce povodňový hazard zvyčajne obsahujú informáciu o pravdepodobnosti výskytu konkrétnej N-ročnej povodne a jej plošnom rozsahu. Veľmi zriedkavo sa uvádzajú informácie o rýchlosti prúdenia, dobe zaplavenia, či rýchlosti stúpania hladiny. Mapy povodňového rizika na druhej strane obsahujú informácie o negatívnych dopadoch povodne, ako napríklad: počet postihnutých obyvateľov, kvantifikované škody, environmentálna záťaž a pod. (de Moel et al. 2009). Aj spomínaná európska smernica 2007/60/EC „O hodnotení a manažmente povodňových rizík“ presne stanovuje, čo pripravované mapy musia obsahovať. Mapy povodňového hazardu musia byť vytvorené pre všetky riečne úseky s malou a strednou pravdepodobnosťou výskytu povodne ($N \geq 100$) a kde je to nutné, aj pre úseky s vysokou pravdepodobnosťou výskytu povodne ($N \leq 10$). Mapy povodňového rizika pre tieto kritické úseky musia obsahovať informáciu o orientačnom počte potenciálne postihnutých obyvateľov, druhu hospodárskej činnosti a potenciálnych zdrojoch znečistenia (európska smernica č. 2007/60/ES).

3. HAZARD

Všeobecne sa hazard chápe ako potenciálna škodlivá alebo škodu vytvárajúca udalosť, prírodný živý jav, fenomén alebo ľudská aktivita, ktorá môže spôsobiť stratu na životoch, zranenia, škody na majetku,

prerušená sociálnych alebo ekonomických sietí a aktivít, príp. environmentálnu degradáciu (UN/ISDR, 2004). Hazard zákonite neznamená škodu. Analýza povodne ako hazardu je spojená s riešením troch hlavných okruhov problémov: *odhad maximálnych N-ročných prietokov, určenie výšky hladiny pre jednotlivé N-ročné maximálne prietoky* a následne *vymedzenie potenciálne zaplaveného územia*. Hlavným cieľom je získať rozsah potenciálne zaplaveného (ohrozeného) územia, čo je východiskom pre ďalšiu analýzu povodňového rizika. Pri odhade N-ročných maximálnych prietokov ide prakticky o určenie pravdepodobnosti s akou sa daný prietok vyskytne v každom roku. Maximálny N-ročný prietok je prietok, ktorý sa vyskytne raz za N rokov (kde $N = 5, 10, 20, 50, 100, 1000$ a viac), resp., s pravdepodobnosťou P v ľubovoľnom roku (pričom $P = 0.2, 0.1, 0.05, 0.02, 0.01, 0.001$ a pod.). Znalosť maximálnych N-ročných prietokov pre jednotlivé vodné toky je, kľúčová v kontexte protipovodňovej ochrany. Na odhad N-ročných maximálnych prietokov sa používa niekoľko metód, ktoré je podľa Solína (2006) možné rozdeliť do dvoch hlavných skupín. Prvou sú zrážkovo-odtokové modely, v rámci ktorých sa maximálny prietok určuje ako funkcia plochy povodia a jeho parametrov, pričom parametre vychádzajú hlavne z fyzicko-geografických atribútov povodia. Druhou skupinou sú štatistické metódy, ktorých základom je regionálna frekvenčná analýza. Regionálna frekvenčná analýza, sa používa v prípade vodných tokov s nedostatočnou dĺžkou pozorovacieho radu, prípadne s úplnou absenciou hydrologických pozorovaní. Vychádza z úvahy, že pokiaľ neexistuje pre študované povodie dostatočne dlhý rad pozorovaní prietokov (čo je prípad väčšiny vodných tokov), ale existujú podobné povodia s približne rovnakými vlastnosťami, chýbajúce dáta môžeme nahradiť spoločnou analýzou viacerých takýchto povodí (Hosking & Wallis 1997, Dalrymple 1960). Na určenie výšky hladiny pre jednotlivé N-ročné maximálne prietoky sa využíva hydrologické resp. hydraulické modelovanie. Najčastejšie používaným sú 1D a 2D modely neustáleného prúdenia s využitím Saint-Venant-ových rovníc. V dnešnej dobe existuje pomerne široké spektrum softvérových aplikácií, kde je možné toto modelovanie realizovať (HEC-RAS, ISIS alebo Mike11 – 1D modelovanie, resp. LISFLOOD-FP, TELEMAC pre 2D modelovanie). Kľúčovým vstupným údajom hydrologického modelovania je digitálny model reliéfu, ktorého presnosť do značnej miery určuje aj presnosť získaných výsledkov. Samotný proces hydrologického modelovania, ako celok, spravidla pozostáva z troch krokov: predspracovanie údajov, aplikácia modelu a vizualizácia výstupných údajov. Posledným krokom je vymedzenie územia, čo spočíva v aplikácii výsledkov modelovania na digitálny terénny model a vnesenie priebehu hladiny do priestoru skúmaného územia. Jedná sa o jednoduchú operáciu, s využitím základných nástrojov bežných GIS systémov. Pre potreby našej práce využívame na modelovanie potenciálne zaplaveného územia voľne dostupný, do ArcGIS-u integrovaný, produkt HEC-RAS. Prípadné drobné nepresnosti vo vymedzení územia, príp. slabšia presnosť HEC-RAS-u voči konkurenčným modelovacím produktom nie sú v kontexte našej práce signifikanté, nakoľko sa jedná len o užší výber územia, pre ďalšiu analýzu, ktorá je až tým hlavným cieľom. Presnosť takto vymedzovaného územia do značnej miery závisí aj od presnosti digitálneho modelu reliéfu. V súvislosti s vymedzením územia pre hodnotenie povodňového rizika je nutné ešte spomenúť alternatívne spôsoby vymedzenia územia popri hydrologickom, resp. hydraulickom modelovaní. Jednoduchšími spôsobmi môže byť napríklad vymedzenie územia na základe geomorfologických vlastností reliéfu (sklon a pod.). Ďalšou alternatívou je zase výber územia na základe geologickej mapy (výber nív), prípadne pevný buffer okolo vodného toku. Veľmi zaujímavou sa javí aj kombinácia spomenutých spôsobov. Netreba rovnako zabúdať na historické povodne, resp. databázu recentných povodňových udalostí v skúmanom území, hoci pri nich zvyčajne býva problematické presne určiť plošný rozsah – takéto údaje väčšinou neexistujú a spoľahnúť sa dá jedine na médiá, poisťovne, príp. výpovede svedkov týchto udalostí.

4. ZRANITEĽNOSŤ

Termín zraniteľnosť bol prvý krát použitý v 70-tych rokoch minulého storočia, ako alternatíva k vtedajšiemu tzv. hazard-centrickému vnímaniu prírodných hazardov, kedy boli všetky škody a negatívne dopady vzťahované len k vlastnostiam samotného prírodného živlu (rozsah, intenzita..). To však nie je dostatočné nakoľko práve zraniteľnosť do značnej miery definuje výsledné negatívne dopady pri pôsobení povodne. Hovorí o tom ako sú jednotlivé objekty v krajine (budovy, ekosystémy, ľudia..) náchylné utrpieť škodu a čiastočne aj to, čo tá škoda spôsobí v dlhodobejšom horizonte. Zraniteľnosť vzišla zo sociálnych vied a v jej počiatkoch bola takmer výhradne používaná v sociálnej sfére. Zraniteľnosť môžeme chápať ako vlastnosť

systému, príp. objektu, ktorá hovorí o ich schopnosti očakávať, vyrovnávať sa s, vytrvať počas, a zotaviť sa z negatívnych dopadov prírodných alebo človekom vytvorených nešťastí (Schneiderbauer, Ehrlich 2004). Nie je možné sa komplexne snažiť hodnotiť zraniteľnosť človeka, ak neuvažujeme aj zraniteľnosť prostredia v ktorom žije a taktiež zraniteľnosť systémov s ktorými interaguje (Turner et al., 2003). To je jeden z hlavných dôvodov, prečo sa zraniteľnosť neskôr začala používať aj na hodnotenie environmentálnych, ekonomických systémov, bytového fondu a pod. Existuje veľké množstvo literatúry z viacerých vedných odborov, kde je predložených niekoľko definícií a rôznych framework-ov pre prácu so zraniteľnosťou (napr.: Morrow 1999, Brown and Damery 2002, Tapsell et al. 2002, Turner et al. 2003, Cutter et al. 2003, Schneiderbauer, Ehrlich 2004, Messner, Meyer 2005, Thywissen 2006). Pre potreby hodnotenia povodňového rizika za jeden z najdôležitejších považujeme koncept susceptibiliti, rezistencie a resiliencie. Pod pojmom *susceptibilita* (angl. susceptibility) je chápaná predispozícia na stratu, resp. ujmu (potenciál utrpieť škodu), ktorá je definovaná hlavne vnútornými (fyzickými) atribútmi ohrozených objektov. Do slovenského jazyka je možné tento termín preložiť ako citlivosť. Jedná sa o pasívnu zložku zraniteľnosti, čiže rastom susceptibiliti sa zraniteľnosť zvyšuje. Príkladom parametru susceptibiliti môže byť napr. počet podlaží alebo materiál, z ktorého sú postavené domy. Termíny resiliencia a rezistencia sú naopak vnímané ako aktívne zložky zraniteľnosti. Ich rastom sa zraniteľnosť ľudí, komún, ekonomických alebo environmentálnych systémov znižuje. Obe definície sa skôr vzťahujú k socio-ekonomickým charakteristikám. *Rezistencia* (angl. resistance) je chápaná ako odolnosť voči priamym následkom povodne v čase jej pôsobenia. Hovorí o tom, ako dlho dokáže povodňou postihnutý systém (humánny, environmentálny, ekonomický) odolávať jej negatívnym vplyvom a zachovať tak svoju funkčnosť bez výrazných zmien. Rezistenciu zvyšujú napr. protipovodňové úpravy na obydliach ľudí, zásoby a pod. *Resiliencia* (angl. resilience) na druhej strane hovorí o schopnostiach obnovy humánneho, ekonomického, či environmentálneho systému po povodni, do pôvodného stavu pred povodňou. Je však nutné podotknúť, že sa jedná aj o schopnosť systému adaptovať sa počas povodne a zachovať tak svoju funkčnosť v tomto čase. Na schopnosť ľudí pružne reagovať v prípade povodňovej udalosti (byť resilientní) vplyvajú napr.: včasné varovanie, vzdelanie, predchádzajúca skúsenosť s povodňami a pod. Rezistencia aj resiliencia sú dva „spôsoby“ alebo „prístupy“, ako dospieť k trvalo udržateľnému systému. Pružný systém (resilient system) na rušivé vplyvy povodne zareaguje a následne sa vráti buď do pôvodného stavu alebo sa prispôbi zmeneným podmienkam tak, aby mohol naďalej fungovať. Odolný, rezistentný systém (resistant system) naopak nevykazuje žiadnu reakciu, len negatívne vplyvy absorbuje a vytrvá bez zmeny (De Bruijn, Klijn 2001). Rezistencia a resiliencia sú často referované spoločným termínom, ako "schopnosť vysporiadať sa s pôsobením hazardu" – povodňou (angl. coping capacity). Celková schopnosť vysporiadať sa s hazardom je kombinácia všetkých možností a prostriedkov dostupných v rámci komunity, organizácie alebo systému, ktoré môžu zredukovať úroveň rizika prípadne dopady pôsobenia hazardu (UN/ISDR, 2002). Pri hodnotení zraniteľnosti je nutné ešte poznamenať rozdelenie na tzv. hazard-dependent zraniteľnosť a hazard-independent zraniteľnosť. Hazardom podmienená zraniteľnosť je vzťahovaná na špecifické parametre konkrétneho hazardu, čo sú v prípade povodne najčastejšie: výška hladiny, rýchlosť prúdenia či doba zaplavenia. Pod zraniteľnosťou sa v tomto prípade často chápe konkrétna ujma vyjadrená nejakým spôsobom, ktorý umožňuje isté kvantifikovanie, resp. porovnanie. Naopak hazardom nepodmienená zraniteľnosť skôr popisuje vlastnosti objektov v zmysle ich všeobecnej náchylnosti na ujmu najmä z dôvodu ich inherentných vlastností – bez ohľadu na hazard (napr. všeobecne ohrozené komunity: starší ľudia a nezaopatrené deti vs. ekonomicky aktívne obyvateľstvo, či jednorodičovské vs. kompletne rodiny – je jasné, ktoré časti populácie sú v prípade akýchkoľvek problémov najohrozenejšie). Zraniteľnosť je tu chápaná ako status objektu – vlastnosť charakterizujúca schopnosť utrpieť ujmu.

4.1 Kvantifikácia zraniteľnosti

Zraniteľnosť, napriek svojej dôležitosti, pri hodnotení povodňového rizika nedostáva pozornosť, ktorá jej prináleží. Býva veľmi často zámerne prehliadaná alebo nedostatočne popisovaná, čo je z veľkej časti spôsobené aj problémami s jej kvantifikáciou, či dostupnosťou vhodných a použiteľných údajov. Pre potreby našej práce považujeme za vhodné rozlíšiť tri základné „skupiny“ zraniteľnosti – sociálnu, environmentálnu a ekonomickú. Pre vyjadrenie alebo kvantifikáciu každej z nich je možné použiť rôzne zdroje údajov. Nakoľko samotný proces hodnotenia povodňového rizika je realizovaný v prostredí GIS, je nutnosť tieto dáta

bud' už získať vo forme jednotlivých GIS vrstiev, či tabuliek alebo ich do tejto formy predpripraviť, čo ako ďalej uvedieme, nie je vždy jednoduchá úloha. Pri snahe implementovať zraniteľnosť do akéhokoľvek výskumu či hodnotenia je nutné poznamenať, že zraniteľnosť nie je možné merať. Vyjadrovať zraniteľnosť je možné spravidla len nepriamo, na základe hodnôt rôznych premenných – indikátorov. Gallopin (1997) definuje indikátory ako premenné (proxy premenné), ktoré sú funkčným zástupcom atribútu popisujúceho nejakú vlastnosť systému. Na výber indikátorov zraniteľnosti sa spravidla používajú dva prístupy – indukčný a dedukčný. Dedukčný prístup je do značnej miery založený na subjektívnom výbere indikátorov, podľa toho aká je ich spojitosť s konkrétnymi negatívnymi dopadmi. Jedná sa o častejšie využívaný hoci menej robustný spôsob, ktorý využili vo svojich prácach napr. aj Meyer et al. (2009), Meyer (2007), či Tapsell et al. (2002). Indukčný prístup využíva štatistickú metódu analýzy hlavných komponentov (principal component analysis), ktorá je založená na postupnej redukcii veľkého počtu premenných, resp. ich náhradou novými premennými, ktoré obsahujú viac informácií. Dobrým príkladom použitia tejto metódy je napr. práca tímu okolo americkej profesorky Cutter (Cutter et al. 2003). Keďže aj napriek využitiu uvedených metód na výber a redukcii indikátorov popisujúcich zraniteľnosť, zostáva pomerne veľa využiteľných variant, boli zavedené tzv. indexy zraniteľnosti. Sú to ustálené kombinácie niekoľkých indikátorov s presne stanovenými pravidlami na ich kombinovanie. Medzi najznámejšie patria *SoVI* (social vulnerability index), *BEVI* (built environment vulnerability index), *HazVI* (hazard vulnerability index) alebo *SFVI* (social flood vulnerability index). Ich hlavnou úlohou je znížiť počet jednotlivých indikátorov a umožniť jednoduchšie porovnanie výsledkov rôznych štúdií (Cutter 2003, Tapsell et al. 2002, Borden et al. 2007). Pri zahrnutí sociálnej zraniteľnosti do hodnotenia na regionálnej, resp. národnej úrovni sú v našich podmienkach prakticky jedinými zdrojmi údajov sčítanie obyvateľstva – tzv. cenzy, rôzne národné štatistiky a vrstvy land-cover (CLC), či land-use (LU). Najmä ich vzájomnou kombináciou je možné získať použiteľný zdroj dát. Pri hodnotení sociálnej zraniteľnosti v našej práci budeme vychádzať hlavne z údajov zo sčítania obyvateľstva SR z roku 2001 (pozn. v roku 2011 prebehlo nové sčítanie, avšak k spracovaným údajom sa bude pravdepodobne možné dostať až v druhej polovici roka 2012). Medzi použiteľné atribúty z týchto dát zaraďujeme napr.: *veková štruktúra obyvateľstva, počet nezaopatrených detí, starších ľudí, nekompletné rodiny, počet ekonomicky aktívnych obyvateľov, spôsob vlastníctva bytu alebo domu, národnosť, pohlavie, vzdelanie, vybavenosť domácností*, atď. . Čo sa týka ekonomickej zraniteľnosti, pri jej hodnotení sa vychádza hlavne z potenciálnych škôd na bytovom fonde, škôd na nebytovom fonde, škôd na ornej pôde, škôd na technickej infraštruktúre ale aj negatívnych dopadov na podnikanie a služby v oblasti. Odhad je realizovaný zvyčajne na základe stage-damage kriviek, ktoré sa vzťahujú najčastejšie k výške hladiny (depth-damage), výnimočne aj k rýchlosti prúdenia (velocity-damage), či dobe zaplavenia. V urbánnych oblastiach (hlavne v zastavaných, príp. priemyselných častiach) sa využívajú aj indikátory ako cena pozemkov, výška budov, počet poschodí, materiál stavby, doba výstavby, typ kúrenia, príjmy obyvateľov, platy zamestnancov a pod. . Pre environmentálnu zraniteľnosť je kľúčovou zdrojom údajov vrstva LandCover. Z nej sa (po konzultácií s odborníkmi) dajú vyšpecifikovať oblasti, pre ktoré by daný hazard mohol predstavovať riziko. Zohľadňuje sa tiež, či potenciálne ohrozené územie nezasahuje do národného parku alebo prírodnej rezervácie, kde by prípadné škody na jednotlivých biotopoch mohli byť ešte vyššie. Doplnkový zdrojom údajov môže byť napr. NATURA 2000 a iné podobne tematické dáta. Sleduje sa erózný potenciál, akumulčný potenciál, kvalita vôd, browfileds, znečistenie zdrojov pitných vôd a dokonca v niektorých prácach sme sa stretli aj s tzv. "landscape" vnímaním, ktoré sa dá chápať ako nejaký subjektívny pohľad na krajinu, resp. pôžitok z nej, ktorý počas povodne a po nej môže výrazne utrpieť. Znovu je to len o dostupnosti dát a opäť platí pravidlo, čím viac podporných údajov je spolu skombinovaných, tým je hodnotenie zraniteľnosti resp. celkového povodňového rizika robustnejšie. Spoločným problémom pri práci na lokálnej, ale aj regionálnej úrovni je často nutná deagregácia údajov, nakoľko takmer všetky využiteľné atribúty sú v prípade cenzy na Slovensku vzťahované k základným sídelným jednotkám (ZSJ), ktoré sú plošne pomerne rozsiahle. Naše záujmové územie (horný tok rieky Myjava spolu s príslušnými povodiami) tvorí spolu 60 základných sídelných jednotiek, z ktorých najmenšia má rozlohu 0,085 km² a najväčšia 8,492 km². Priemerná plocha ZSJ v skúmanom území je 1,544 km². Pri najväčšej sídelnej jednotke Stará Myjava – Mizerákovci (rozloha 8,492 km²) má krajina výraznú rurálnu štruktúru, s veľmi malým podielom zástavby, na druhej strane s pomerne pestrou štruktúrou CLC (7 rôznych tried). Naopak najmenšia ZSJ v skúmanom území Myjava – Stred II (rozloha 0,085 km²) má výrazný urbánny charakter, kde väčšina plochy je zastavaná a vo vrstve

CLC obsahuje len 1 triedu. Pri tvorbe vrstve CLC'06 bola ako minimálna mapovacia jednotka použitá plocha o veľkosti 25 ha (0,25 km²), čo napr. výrazne prevyšuje plochu najmenšej ZSJ v našom záujmovom území. V celom súbore ZSJ je spolu až 10 takých, ktoré majú menšiu rozlohu ako minimálna mapovacia jednotka CLC. Týmto sa snažíme poukázať na nutnosť spresňovania údajov pri výskume na lokálnej, resp. regionálnej úrovni. Za účelom prekonania týchto problémov je pre potreby nášho projektu budovaná nová databáza land-cover, ktorá používa štandardný klasifikačný kľúč CLC a ako podklady na interpretáciu sú využívané ortofotomapy. Klasifikuje sa v mierke 1:3000, čo CLC značne spresňuje a zároveň prenesene umožňuje dosiahnuť presnejšie výsledky aj pri hodnotení samotného povodňového rizika. V prípade cenzových údajov je situácia trochu komplikovanejšia. Hlavným problémom je, že všetky štatistiky sú vzťahnuté k ZSJ, ktoré ako sme už spomínali majú pomerne veľkú plochu. Väčšina dát zo sčítania popisuje ľudí, domy, byty príp. domácnosti, ktoré zvyčajne nebývajú v ZSJ distribuované rovnomerne, preto ak budeme vychádzať z týchto dát, ako kľúčových pre hodnotenie zraniteľnosti (či už sociálnej alebo ekonomickej), bolo by veľmi nepresné uvažovať rovnakú hodnotu jednotlivých údajov pre celú plochu konkrétnej ZSJ. Za účelom získania presnejších a hlavne reálnejších údajov je nutná ich deagregácia.

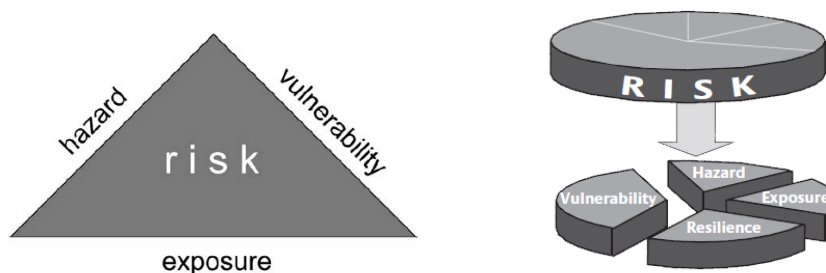
4.2 Deagregácia údajov

Za účelom deagregácie údajov sa veľmi často využíva tzv. dasymetrické mapovanie, resp. downscaling. V oboch prípadoch ide o transformáciu geografických dát istej priestorovej štruktúry (rozloženia) do inej štruktúry, resp. transformácia údajov vzťahnutých k bodom do priestoru – najčastejšie do forme rastra. Mennis (2003) to všeobecne označuje ako problémy areálovej interpretácie. Pod dasymetrickým mapovaním rozumieme konkrétnu formu areálovej interpretácie, ktorá na spresnenie výsledkov používa rôzne formy pomocných (podporných) údajov. V rámci skupiny metód tzv. downscalingu Gallego (2010) uvádza 3 základné metódy – všetky založené na princípe dasymetrického mapovania: *binárnu metódu*, *metódu troch tried* a *metódu limitujúcej premennej*. Pomerne jednoduchú binárnu metódu (the binary method) zaviedli Langford a Unwin (1994) a je založená na tom, že územie je rozdelené za pomoci podporných údajov (najčastejšie land-cover) na obývané a neobývané oblasti a hodnoty deagregovaného javu sú priradené len „tým obývaným“. Na veľmi podobných základoch je postavená aj tzv. metóda troch tried (the three-class method). Územie je čiastočne subjektívne, čiastočne objektívne (na základe podporných údajov) rozdelené do troch tried, podľa toho kde sa nachádza (resp. malo by sa nachádzať) najviac obyvateľov. Eicher a Brewer (2001) vo svojej práci napr. rozdelili populáciu pomerom 70% na urbánne zóny, 20% poľnohospodárske a čiastočne zalesnené zóny a 10% na lesy. Problémom tejto metódy je už spomínaná subjektivita a fakt, že metóda nezohľadňuje rozdiely medzi rovnakými kategóriami land-cover v rámci jednej ZSJ. Poslednou menovanou je metóda limitujúcej premennej (the limiting variable method), ktorá na začiatku priradí rovnakú hustotu všetkým triedam land-cover. Tieto hustoty sú následne modifikované na základe prahových hodnôt stanovených zvlášť pre jednotlivé triedy land-cover, s tým že všetky presahy cez prahové hodnoty sú priradované iným triedam (Gallego, 2010). Iní autori popisujú ďalšie metódy ako napr. rôzne druhy krígovania, co-kriging, E-M (expectation-maximization) algoritmus a iné (Murray 2005, Dempster et al. 1977, Flowerdew & Green 1989). V podstate platí, že čím viac podporných údajov a čím komplexnejšia je deagregačná metóda, tým presnejšie (reálnejšie) údaje môžeme získať. Pre potreby nášho projektu bude na deagregáciu štatistických údajov zo sčítania použitá hlavne vytváraná spresnená vrstva land-cover. V literatúre sme sa ale stretli aj s využívaním vrstiev akým sú: soil sealing (zastavanosť, resp. „zapečatenosť“ pôdy), intenzita nočného osvetlenia, či hustota cestnej siete.

5. RIZIKO

Je nutné poznamenať, že problematika rizika sa vyvíjala a formovala v širokom spektre rôznych vedných disciplín (disaster management, ekonómia, environmentalistika, geografia, sociológia), pričom každá z nich ho chápe a vníma trochu inak. To sa prejavilo aj na veľkom množstve dostupných definícií a značnej neprehľadnosti. Istá systematizácia je preto nutná a definície je možné rozdeliť do dvoch hlavných koncepcií – *jednorozmernej* a *viacrozmernej*. Jednorozmerná koncepcia chápe riziko spravidla len ako pravdepodobnosť – v našom prípade pravdepodobnosť výskytu povodne. Príkladom takýchto definícií môžu byť napr. Alwang et al. (2001) podľa ktorého, je riziko charakterizované známymi alebo neznámymi

hodnotami pravdepodobnosti, určujúcej že dôjde k nejakej udalosti – realizácii hazardu. Schneiderbauer a Ehrlich (2004) definujú riziko ako pravdepodobnosť negatívnych dopadov alebo očakávaných strát vyplývajúcich z pôsobenia hazardu na konkrétne objekty vystavené hazardu v konkrétnom čase. Ako poslednú z tejto skupiny uvádzame definíciu z Journal of Prehospital and Disaster Medicine (2004): Riziko je objektívna (matematicky vyjadrená) alebo subjektívna (induktívne určená) pravdepodobnosť, že dôjde k pôsobeniu hazardu (hazard sa stane eventom). Je možné identifikovať faktory, ktoré túto pravdepodobnosť modifikujú. V súvislosti s povodňovým rizikom je teda jednorozmernú definíciu rizika možné chápať ako pravdepodobnosť výskytu konkrétneho N-ročného prietoku spôsobujúceho povodeň. Viacrozmerná skupina definícií rizika popri pravdepodobnosti výskytu povodňovej udalosti zahŕňa aj potenciálne negatívne dopady, ktoré vznikajú pri pôsobení hazardu (povodne). V tejto skupine definícií je to už pestrejšie, nakoľko autori sa odlišujú hlavne v tom, čo všetko a do akej miery podľa nich determinuje negatívne dopady. Uvedieme niekoľko príkladov definícií: *riziko je funkciou hazardu a zraniteľnosti* (UN DHA 1992, Birkmann 2006) ; *riziko = pravdepodobnosť * negatívne dopady* (napr. Meyer 2007) ; *riziko je funkciou hazardu, zraniteľnosti a expozície voči hazardu* (napr. Crichton 1999). Súvis medzi jednotlivými zložkami rizika prehľadne popisujú Schneiderbauer a Ehrlich (2004), ktorí uvádzajú, že riziko je kvantifikovateľná pravdepodobnosť toho že nejaký sledovaný ohrozený objekt utrpí stratu (na kvantite alebo kvalite) v dôsledku pôsobenia konkrétneho hazardu. Hazard je fenomén – prírodný živý – ktorý má potenciál spôsobiť tieto negatívne dopady, avšak záleží hlavne na zraniteľnosti, či a do akej miery tieto dopady budú naozaj realitou. V podstate všetky viacrozmerné definície rizika uvažujú dve základné zložky – hazard a zraniteľnosť. Hazard vo forme atribútov povodne (veľkosť povodňovej vlny, výška hladiny, rýchlosť prúdenia, doba zaplavenia), ktoré určujú mieru expozície ohrozených prvkov voči hazardu. Zraniteľnosť ako jednotlivé vlastnosti ohrozených objektov sociálneho, ekonomického a environmentálneho systému vo forme už spomínaného *konceptu zraniteľnosti*, kde susceptibilita je popisovaná vlastnosťami indikujúcimi citlivosť (náchylnosť) na utrpenie škody, rezistencia atribútmi indikujúcimi zvýšenú alebo zníženú odolnosť ohrozených objektov voči pôsobeniu povodne a resiliencia atribútmi, ktoré poskytujú informáciu o schopnosti obnovy systémov do pred-povodňového stavu.



Obr. 1. Vľavo: „risk triangle“ (in Crichton, 1999) ; vpravo: „risk composition“ (in Thywissen, 2006)

6. MULTIKRITERIÁLNA ANALÝZA

Multikriteriálna analýza (MCA) je jedným z niekoľkých používaných nástrojov na podporu rozhodovania. Jej hlavnou úlohou je porovnať a zoradiť alternatívy od najmenej vyhovujúcej po najviac vyhovujúcu na základe hodnotenia stanovených kritérií. Priestorová MCA je relatívne novým a rýchlo napredujúcim vedným odborom, ktorý sa stále vyvíja najmä s rozvojom GIS systémov (Malczewski, 2006). Je nutné poznamenať, že má niekoľko špecifik. Malczewski (1999) hovorí o priestorovej variante MCA ako o výraznom „vybočení“ z konceptu tradičnej (nepriestorovej) multikriteriálnej analýzy. Hlavným znakom je, že jednotlivé alternatívy sú definované geograficky a tým pádom aj výsledok analýzy záleží na ich priestorovom usporiadaní. Vstupné dáta (alternatívy, kritériá, obmedzenia) sú tiež „geografické“ – najčastejšie vo forme máp, (resp. vrstiev v podobe v akej ich poznáme z GIS systémov – buď v rastrovej alebo vektorovej forme). Alternatívou však nie je celá vrstva. Pri rastrovom dátovom modeli je alternatívou, každá jedna bunka (pixel) tohto rastra, zatiaľ čo pri vektorovom dátovom modeli je alternatívou (v závislosti na type) každý bod, línia, príp. polygón. Ďalším

znakom priestorovej MCA je fakt, že nie všetky metódy a postupy tradičnej multikriteriálnej analýzy sú použiteľné aj na priestorové dáta. S priestorovou MCA je možné stretnúť sa hlavne pri rôznych lokalizačných úlohách (napr. Malczewski, 1999). Zatiaľ stále veľmi málo autorov využíva multikriteriálnu analýzu pri hodnotení a mapovaní povodňového rizika, no aj tu je badateľný pozitívny vývoj (napr. Meyer 2009, Bana E Costa et al. 2004, Tkach & Simonovic 1997, Raaijmakers et al. 2008). Každý riešený problém v rámci multikriteriálnej analýzy pozostáva z niekoľkých častí. Prvou je hlavný cieľ analýzy (angl. goal / objective), čiže to o čom rozhodujeme, resp. čo chceme pomocou MCA dosiahnuť. Cieľ multikriteriálnej analýzy stanovuje riadiaci subjekt (angl. decision maker). Riadiaci subjekt môže byť jednotlivec, skupina ľudí alebo dokonca aj niekoľko rôznych záujmových skupín. Riadiaci subjekt vstupuje do procesu MCA vo viacerých fázach. V prvom rade definuje hlavný cieľ celej analýzy. Ďalej pomáha s výberom kritérií (angl. criterion), na základe ktorých sú hodnotené jednotlivé alternatívy (angl. alternative) a rovnako sa zapája aj do procesu prideľovania váh jednotlivým kritériám (angl. criterion weights). Váhy predstavujú preferencie riadiaceho subjektu. Výsledok analýzy (angl. decision outcome) je následne vybraný po aplikovaní rozhodovacieho pravidla (angl. decision rule) zo súboru možných alternatív. Výstupom analýzy býva najčastejšie odporúčanie výberu resp. zoradenie alternatív podľa ich vhodnosti (Keeny & Raiffa 1993, Malczewski 1999). Vzhľadom na charakter dát a druh operácií nad nimi, je v dnešnej dobe spravidla celá multikriteriálna analýza realizovateľná v prostredí GIS systémov, pomocou ich štandardných nástrojov.

6.1 Kritériá

Na základe hodnotiacich kritérií dochádza k hodnoteniu jednotlivých alternatív. Všetky kritériá by mali spĺňať niekoľko požiadaviek, hoci vždy je to svojím spôsobom o hľadani kompromisu medzi úplnosťou a praktickou použiteľnosťou. Základné požiadavky na kritériá sú: *kompletnosť*, *minimálnosť*, *funkčnosť*, *rozložiteľnosť*, *neredundandnosť* a *merateľnosť*. Jednotlivé kritériá sú popisované hodnotou ich atribútov, z ktorých každý má svoju mieru alebo jednotky v akých je meraný. Je takmer pravidlom, že sa v rámci MCA kombinujú atribúty, z ktorých každý používa inú mieru, či jednotky. Problém rôznych jednotiek vstupných atribútov rieši priestorová multikriteriálna analýza tzv. štandardizáciou. Pod štandardizáciou rozumieme transformáciu na bezrozmerné jednotky na základe matematických operácií, s tým, že dochádza k zachovaniu vzťahov vyjadrených rozložením hodnôt v súbore. Medzi najpoužívanejšie metódy štandardizácie patria: *lineárna transformácia* (s niekoľkými svojimi variantmi) a *value/utility funkcia* (Keeny & Raiffa 1993, Malczewski 1999, Meyer 2007).

6.2 Alternatívy

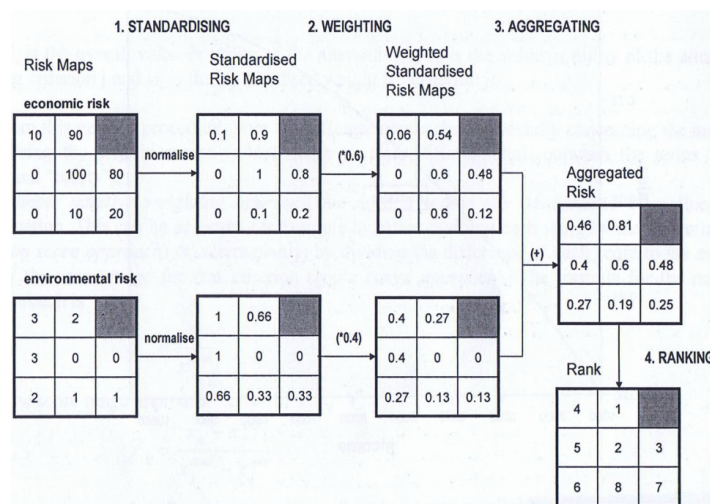
Alternatívy je možné pri priestorovej multikriteriálnej analýze chápať ako jednotlivé priestorové jednotky (časti územia), ktoré sú v rámci MCA hodnotené. V našom prípade to budú jednotlivé bunky rastra, reprezentujúce konkrétnu časť reálneho sveta. Alternatívy môžu byť samozrejme vyjadrené aj vo vektorovej forme v podobe bodov, línií, či polygónov. S alternatívami úzko súvisia aj tzv. obmedzenia (angl. constraints). Obmedzenia zámerne vynechávajú niektoré alternatívy (bunky rastra, polygóny) z hodnotiaceho procesu. Obmedzenia môžu byť objektívne (vyplávajúce z logických súvislostí riešeného problému) alebo subjektívne (dané požiadavkami rozhodovacieho subjektu). Obmedzenia môžu v niektorých prípadoch čiastočne, inokedy výrazne, znížiť výpočtovú náročnosť multikriteriálnej analýzy. V súvislosti s alternatívami je možné rozhodovanie s využitím MCA rozdeliť na *multi-atribútové* (MADM) a *multi-objective* (MODM). Pri multi-atribútovom prístupe je výsledkom najlepšia alternatíva z vopred vybranej množiny alternatív. Táto množina býva konečná (napr. rastrový dataset) a nazýva sa ako tzv. diskrétno rozhodovacie prostredie. Jednotlivé alternatívy sú porovnávané na základe ich atribútov. Pri multi-objective prístupe počet alternatív nie je explicitne daný – je v podstate nekonečný. V tomto prípade sa o hovorí o tzv. spojitom rozhodovacom prostredí. Cieľ analýzy je totižto popisovaný tzv. objective function. Následne je hľadaná alternatíva, ktorá maximalizuje túto funkciu. V rámci tohto procesu dochádza aj k istej optimalizácii, čo je istou výhodou oproti multiatribútovému prístupu. Na druhej strane praktická využiteľnosť multiúlohových metód je podstatne nižšia (Meyer 2007, Malczewski 1999).

6.3 Váhy hodnotiacich kritérií

Váhy jednotlivých kritérií definujú ich relatívnu významnosť voči ostatným kritériám alebo – inými slovami – určujú, ako výrazne konkrétne kritérium ovplyvňuje konečný výsledok analýzy. Práve z tohto dôvodu býva pridelovanie váh označované za najnáročnejšiu, najcitlivejšiu a zároveň „najkontroverznejšiu“ časť MCA. Medzi najpoužívanejšie metódy pridelovania váh patria tzv.: *rankingové metódy*, *ratingové metódy*, *porovnávacie metódy* (párová porovnávací metóda, AHP proces) a *metóda kolísavých váh* ako súčasť trade-off analýzy. Váhy sa spravidla sumujú do 1 resp. 100. Rankingové metódy patria medzi najjednoduchšie aj najmenej presné metódy pridelovania váh. Používajú sa v prípade, kedy je dôležitosť jednotlivých kritérií vyjadrená len ich zoradením, bez ďalších doplnkových informácií. Ratingové metódy odstraňujú základný nedostatok rankingových metód – popisujú aj zmenu relatívnej významnosti medzi jednotlivými kritériami. Medzi najpoužívanejšie metódy patria napr.: *swing weight approach*, *point allocation method*, *rank sum*, *rank reciprocal* (Satty 1980, Malczewski 1999).

6.4 Rozhodovacie pravidlá

Rozhodovacie pravidlo je možné definovať ako agregáčnú funkciu, resp. ako matematicky definovaný spôsob agregácie ohodnotených (spravidla bezrozmerných) kritérií a váh (preferencií) do výsledného hodnotenia, zoradenia alebo výberu alternatívy. Medzi najjednoduchšie varianty rozhodovacích pravidiel patria *dominancia* a *disjunktívny prístup*. Tieto jednoduché rozhodovacie pravidlá sa často využívajú na tzv. screening dát za účelom hrubého oddelenia vhodných alternatív od nevyhovujúcich (často v prípadoch kedy je obrovský počet alternatív – napr. veľké rastrové datasey pri lokalizačných úlohách), príp. (ako vyplýva aj z názvu) na určenie dominantných alternatív. Aby bola nejaká alternatíva dominantnou nad druhou, musí byť aspoň v jednom kritériu lepšia a v ostatných minimálne tak dobrá (príp. tiež lepšia) ako druhá alternatíva. Bez toho aby sme mali predstavu o váhach priradených jednotlivým kritériám môžeme takýmto spôsobom určiť dominantné alternatívy (Meyer, 2007). Disjunktívny prístup funguje na princípe prahových hodnôt. Zadefinuje sa prahová hodnota a pokiaľ v istej časti územia dôjde v sledovanom kritériu k prekročeniu tejto hodnoty je táto alternatíva (resp. časť územia) považovaná za vyhovujúcu, príp. nevyhovujúcu (podľa zadania). Tento spôsob rozhodovania vytvára teda len binárne výstupy – 0/1 resp. akceptovateľné/neakceptovateľné (Meyer, 2007).



Obr. 2. zjednodušený koncept priestorovej multikritériálnej analýzy v prostredí GIS

Podľa Malczewského (1999) sú najpoužívanejšími rozhodovacími pravidlami v kontexte priestorovej multikritériálnej analýzy aditívne rozhodovacie pravidlá. V tejto kategórii uvádzame tri typy: *jednoduchá aditívna vážená metóda*, *value/utility funkcia* a *analytický hierarchický proces*. Analytický hierarchický proces je metóda na komplexné riešenie rozhodovacej úlohy. Nejedná sa teda len o samotné rozhodovacie pravidlo, ale o celý proces rozhodovania pozostávajúci z štandardizácie kritérií, pridelovanie váh jednotlivým

kritériám, až po samotnú agregáciu a hodnotenie alternatív. AHP bol zavedený do praxe Sattym (1980) a vychádza z troch základných princípov: dekompozícia problému, komparatívne hodnotenie a syntéza. Veľmi vhodne aplikovateľné rozhodovacie pravidlo v GIS systémoch je tzv. *metóda ideálnych bodov*. Tá zoraduje alternatívy podľa toho ako sa vzdávajú, resp. približujú ideálnemu stavu. Ideálny stav (alebo tzv. ideálny bod) reprezentuje hypotetický výsledok rozhodovania, v rámci ktorého štandardizované, vážené hodnoty všetkých kritérií sú najlepšie možné. Prakticky sa jedná o ideálnu alternatívu. Alternatíva, ktorá je jej najbližšia bude určená ako výsledok rozhodovania. Vzdialenosť jednotlivých alternatív od „ideálneho stavu“ je meraná vo forme vzdialenosti buď v euklidovskej alebo manhattanskej metrike. V praxi existuje aj alternatíva tejto metódy s použitím negatívneho bodu (najnevyhovujúcejšej možnej alternatívy). Kombinácia ideálneho a negatívneho bodu, kedy sa sleduje blízkosť ideálnemu bodu a zároveň vzdialenosť od negatívneho bodu. Práve kombinácia ideálneho a negatívneho bodu je veľmi často využívanou alternatívou, hlavne kvôli zvýšenej presnosti a objektívnosti (Malczewski 1996, Pereira & Duckstein 1993).

6.5 Záver analýzy (odporúčanie) a citlivostná analýza

Multikritériálna analýza zvyčajne končí zoradením jednotlivých alternatív a odporúčaním jednej konkrétnej alternatívy (príp. skupiny vyhovujúcich alternatív), ktorá /-é najviac vyhovujú požiadavkám definovaných kritériami (Meyer, 2007). V kontexte našej práce je výsledkom multikritériálnej analýzy hodnotenie resp. skôr kategorizácia územia z pohľadu povodňového rizika. Priamym výstupom analýzy bude raster v ktorom bude mať každá bunka priradenú hodnotu, reprezentujúcu mieru rizika na kvalitatívnej báze. Pred použitím výstupu analýzy na reálne rozhodovanie sa odporúča vykonať ešte tzv. citlivostná analýza. Tá kontroluje robustnosť celej analýzy resp., ako uvádza napr. Meyer (2007), poukazuje na to, ako výrazne sa zmeny vstupných hodnôt prejavia na zmenách hodnôt výstupných. Pokiaľ zmeny vstupných dát výrazne neovplyvnia hodnoty výstupov (nedôjde k výraznému preskupeniu alternatív), výsledok analýzy je možné považovať za robustný. Je to jeden z nepriamych spôsobov zvyšovania presnosti multikritériálnej analýzy.

7. ZÁVER

Na obmedzenom priestore sme sa snažili predstaviť a priblížiť riešený projekt, hlavné metódy a niektoré kľúčové problémy na ktoré sme počas riešenia narazili, príp. očakávame, že vyvstanú. Multikritériálna analýza predstavuje ideálny prostriedok na dosiahnutie stanoveného čiastkového cieľa, ktorým je plnohodnotné integrovanie zraniteľnosti do procesu hodnotenia povodňového rizika. Využitie údajov popisujúcich zraniteľnosť sociálneho, environmentálneho, či ekonomického systému so sebou prináša niekoľko zásadných problémov, z ktorých pravdepodobne najvýraznejším je nutnosť deagregácie údajov, čo je možné zabezpečiť metódami dasymetrického mapovania. Ďalším čiastkovým cieľom tejto práce je vytvoriť niekoľko rôznych zostáv multikritériálnej analýzy (rôzne kombinácie, váh, kritérií, rozhodovacích pravidiel...) a následne porovnať a štatisticky vyhodnotiť do akej miery jednotlivé zmeny v uvedených kľúčových „zložkách“ MCA ovplyvňujú dosiahnuté výsledky.

LITERATÚRA

- ALWANG, J. et al. (2001): Vulnerability: A View From Different Disciplines, *Social Protection Discussion Paper Series*, No. 0115, World Bank, 42 p.
- BANA E COSTA, C. et al. (2004): Multicriteria Evaluation of Flood Control Measures: The Case of Riberia do Livramento, *Water Resources Management* 18:2004; Kluwer Academic Publishers, strany: 263-283
- BIRKMANN, J. (2006): Measuring Vulnerability to Promote Disaster-Resilient Societies: Conceptual Frameworks and Definitions, 2005 *World Conference on Disaster Reduction*, 54 p.
- BARREDO, J. I. (2006): Major Flood Disasters in Europe: 1950 -2005, *Natural Hazards* (2007), 42, strany 125-148
- BECKER, A. & GRUNEWALD, U (2003): Flood Risk in Central Europe, *Science* 16 May, Vol. 300, no. 5622 p. 1099, DOI: 10.1126/science.1083624
- BORDEN A. K., SCHMIDTLEIN M. C., EMRICH, CH. T., PIEGORSCH W.W, CUTTER S. L., 2007: Vulnerability of U:S: Cities to Environmental Hazards. *J. of Homeland Security and Emergency Management*, 4, 2, 1-21.
- BROUWER R., Van EK R., (2004): Integrated ecological, economic and social impact assessment of alternative flood protection measures in the Netherlands. *Ecological Economics*, 50, 1-21
- BROWN J. D., DAMERY S. L., (2002): Managing flood risk in the UK: towards an integration of social and technical perspectives. *Transactions/ Institute of British Geographers*, 27, 412-426.
- CRICHTON, D. (1999): *The Risk Triangle*, Natural Disaster Management, Tudor Rose, London, strany 102 – 103
- CUTTER, S. L. et al. (2003): Social Vulnerability to Environmental Hazards, *Social Science Quarterly*, Volume 84, Number 2, June 2003
- DALRYMPLE, T. (1960): *Flood Frequency Methods*, U.S. Geological Survey, Water Supply Paper, 1543A, strany 11-51
- DE BRUIJN, K. M. & KLIJN, F. (2001): *Resilient Flood Risk Mnagement Strategies*, WL|Delft Hydraulics, Delft University of Technology
- de MOEL, H., van ALPHEN, J., AERTS, J. C. J. H. (2009): Flood maps in Europe – methods, availability and use, *Natural Hazards and Earth System Science*, Volume 9, Issue 2, 289-301
- DEMPSTER, A. P., LAIRD, N. M., & RUBIN, D. B. (1977): Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm, *Journal of the Royal Statistical Society Series B*, 39, 1–38
- EICHER, C. L., BREWER, C. A. (2001): Dasymetric mapping and areal interpolation: Implementation and evaluation. *Cartography and Geographic Information Science*, 28 (2), 125–38
- FLOWERDEW, R. & GREEN, M. (1989): Statistical methods for inference between incompatible zonal systems. In M. Goodchild & S. Gopal (Eds.), *Handing geographical information: Methodology and potential applications* (pp. 239–247). New York: Longman

GALLEGO, F. (2010): A Population Density Grid of the European Union, *Population and Environment*, Volume 31, Issue 6, pages 460-473

GALLOPIN, G.C. (1997): Indicators and their use: Information for Decision-making, in: MOLDAN, B. & BILLHARZ, S. (Eds.) *Sustainability Indicators*, New York, Wiley, strany 13-28

HOSKING, J. R. M. & WALLIS, J. R. (1997): *Regional Frequency Analysis: An Approach Based on L-Moments*, Cambridge University Press, 224 str.

Journal of Prehospital and Disaster Medicine (2004): Glossary of Terms In: THYWISSEN, K. (2006): *Components of Risk, A Comparative Glossary*, United Nations University UNU-EHS, Institute for Environment and Human Security, 48 p.

KEENEY, R. L. & RAIFFA, H. (1993): *Decision with Multiple Objectives - Preference and Value Trade-offs*, Cambridge, Cambridge University Press

LANGFORD, M., & UNWIN, D. J. (1994): Generating and mapping population density surfaces within a geographical information system, *Cartographic Journal*, 31(1), 21–26

MALCZEWSKI, J. (1996): A GIS-based Approach To Multiple Criteria Group Decision Making, *International Journal of Geographical Informations Systems* 10 (8); strany 955-971

MALCZEWSKI, J. (1999): *GIS and Multicriteria Decision Anaysis*, John Wiley & Sons, New York

MENNIS, J. (2003): Generating Surface Models of Population Using Dasymetric Mapping, *The Professional Geographer*, Volume 55, Issue 1, pages 31-42

MESSNER, F. & MEYER, V. (2005): Flood Damage, Vulnerability and Risk Perception – Chalanges for Flood Damage Reaserch, *UFZ Discussion Papers*, Department of Economics, 13/2005, 24 str.

MEYER, V. (2007): GIS-based Multicriteria Analysis as Decision Support in Flood Risk Management, *UFZ Discussion Papers*, Department of Economics, 06/2007, 57 str.

MEYER V., SCHEUER S., HAASE D., (2009): A multicriteria approach for flood risk mapping exemplified at the Mulde river, Germany. *Nat. Hazards*, 48, 17-39.

MORROW, B. H. (1999): Identifying and Mapping Community Vulnerability, *Disasters*, 1999, 23 (1), strany 1-18

PEREIRA, J. M. C. & DUCKSTEIN, L. (1993): A Multiple Criteria Decision Making Approach to GIS-based Land Suitability Evaluation, *International Journal of Geographical Informations Systems* 7 (5); strany 407-424

PLATE E. (2002): Flood risk and flood management. *J. of Hydrology*, 267, 2-11.

RAAIJMAKERS R., KRYWKOW J., VAN DER VEEN A., (2008): Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: an exploratory research for hazard mitigation. *Nat. Hazards*, 46, 307-322.

SATTY, T. L. (1980): *The Analytic Hierarchy Process*, New York: McGraw-Hill

SCHNEIDERBAUER, S. a EHRlich, D. (2004): *Risk, Hazard and People´s Vulnerability to Natural Hazards*, European Commission Joint Reaserch Center, 40 s.

SOLÍN, Ľ. (2006): Odhad N-ročných Maximálnych Prietokov Regionálnou Frekvenčnou Analýzou, *Geographia Slovaca* 23, 2006, 68 str.

TAPSELL, S. M. et al (2002): Vulnerability to Flooding: Health and Social Dimensions, *The Royal Society*, London, 2002, 360, strany 1511-1525

THYWISSEN, K. (2006): Components of Risk, A Comparative Glossary, United Nations University UNU-EHS, Institute for Environment and Human Security, 48 s.

TAPSELL, S. M. et al (2002): Vulnerability to Flooding: Health and Social Dimensions, *The Royal Society*, London, 2002, 360, strany 1511-1525

THYWISSEN, K. (2006): Components of Risk, A Comparative Glossary, United Nations University UNU-EHS, Institute for Environment and Human Security, 48 s.

TKACH, R. J. & SIMONOVIC, S. P. (1997): A New Approach to Multicriteria Decision Making in Water Resources, *Journal of Geographic Information and Decision Analysis* 1 (1), strany 25-43

TURNER, B. L. et al. (2003): A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100 (14): strany 8074-8079

UN DHA (1992): Internationally Agreed Glossary of Basic Terms Related to Disaster Management, UN DHA – United Nations Department of Humanitarian Affairs, Geneva

UN/ISDR (2004): Living with Risk, A Global Review of Disaster Reduction Initiatives, UN/ISDR – United Nations International Strategy For Disaster Reduction, 430 s.

Úrad vlády SR (2010): *Správa o priebehu a následkoch povodní na území Slovenskej republiky od 1. januára do 31. augusta 2010*

Odkaz na www stránku:

Európska smernica č. 2007/60/ES „O hodnotení a manažmente povodňových rizík“, *Európsky parlament*,
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:SK:PDF>,

citované 15. 02. 2011 ; 15:30 SEČ

Katalóg tried objektov ZB GIS, Úrad geodézie, kartografie a katastra Slovenskej Republiky (2008),

http://web.skgeodesy.sk/index.php?www=sp_file&id_item=396

citované 15.12.2011 ; 20:30 SEČ

Zákon č. 7/2010 - zákon z 2. decembra 2009 „O ochrane pred povodňami“, *Zbierka zákonov*,

<http://www.zbierka.sk/zz/predpisy/default.aspx?PredpisID=209451&FileName=zz2010-00007-209451&Rocnik=2010>

citované 19. 01. 2011; 15:45 SEČ