

METODIKA STANOVENÍ POVODŇOVÉHO RIZIKA V MALÝCH POVODÍCH

Václav David¹

¹Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
Fakulta stavební, ČVUT v Praze
Thákurova 7
166 29, Praha 6 - Dejvice, Česká republika
vaclav.david@fsv.cvut.cz

Abstrakt. V rámci projektu "Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích" zařazeného do programu COST je na pracovišti katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulty stavební, ČVUT v Praze řešena problematika stanovení míry povodňového rizika pro malá povodí. Tato problematika navazuje na filosofii strukturovaného přístupu k odhadu produkce povrchového odtoku z malých povodí. Jedná se o metodiku zabývající se povodňovými riziky souvisejícími s přívalovými dešti. Z hlediska povodní se jde tedy pouze o jednu část širokého spektra problematiky povodňových jevů.

Míra rizika je v rámci tohoto projektu určována s pomocí matice rizik. U této matice je na jedné ose zranitelnost a na ose druhé možnost výskytu nebezpečných průtoků, přičemž míra rizika se mění po diagonále této matice. Vzhledem ke skutečnosti, že se jedná o metodiku pro klasifikaci povodí v rámci velkých ploch, je kladen důraz na možnost automatického zpracování s využitím dat GIS v prostředí obecných GIS nástrojů (ArcGIS, Idrisi).

Při zpracování odhadu výskytu extrémních jevů jsou zpracovávány především faktory klimatické, faktory morfologické a faktory využití území v kombinaci s půdními faktory. Na základě hodnot jednotlivých faktorů je pak určena kategorie pravděpodobnosti výskytu extrémního průtoku. V rámci určení zranitelnosti je pak pracováno především s faktory určujícími množství objektů, které mohou být extrémním průtokem ohroženy, jsou ovšem brány v potaz také okolnosti, které mohou celkovou míru zranitelnosti snižovat. Na základě kombinace všech uvažovaných faktorů je pak stanovena kategorie zranitelnosti.

Klíčová slova: povodeň, riziko, matice rizik

Abstract. Methodology of Flood Risk Estimation in Small Catchments

The issue of flood risk estimation in small catchments is solved at the Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering, Faculty of Civil Engineering, Czech Technical University in Prague. This issue is solved in the frame of COST program project "Flood Risk and Prevention in Small to Medium Catchments". Within this project the methodology of structured approach to the estimation of surface runoff from small catchments is further being developed. Presented methodology deals with flood risks connected with storm rainfalls. From the point of view of floods this means only one part of wide spectra of flood types.

The measure of risk is within developed methodology assessed using the risk matrix. At one axis of this matrix extreme discharge possibility can be found

while at the second one the measure of vulnerability can be found. The risk increases along the diagonal axis. The use of automatic GIS data processing within general GIS environments is emphasized because of the fact that the methodology focuses on risk assessment in small to medium catchments within large areas.

Mainly climatic, morphological, land use and soil factors are used for the purpose of extreme discharge events probability measure estimation. Based on values of single factors the category of extreme discharge occurrence probability is calculated. In case of vulnerability assessment mainly buildings which can be affected by flood discharge are considered. However, also facts which can decrease total rate of vulnerability are considered. Based on combination of all considered vulnerability factors the total rate of vulnerability is calculated for catchment units.

Keywords: flood, risk, risk matrix

1 Úvod

V rámci projektu programu COST „Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích“ je řešena komplexním způsobem problematika povodní z přívalových srážek označovaných též jako tzv. bleskové povodně (z překladu anglického výrazu „Flash Flood“). Tato problematika je řešena systematicky od odhadů povodňových rizik z přívalových dešťů po systematické zpracování nástrojů pro snižování rizika eventuelně potenciálních škod. V rámci metodiky je uplatňován princip takzvaného strukturovaného přístupu k řešení problémů v krajině. Tato filosofie je ražena již delší dobu na pracovišti katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební Českého vysokého učení technického v Praze. Filosofie spočívá v řešení problémů v krajině na několika úrovních rozlišení. Prvním krokem tohoto přístupu je zhodnocení daného fenoménu na úrovni prostorových jednotek v rámci nějakého rozsáhlého území. V tomto konkrétním případě jsou prostorovou jednotkou povodí IV. řádu a posuzovaným fenoménem povodňové riziko. V dalších krocích je pak aplikováno detailní řešení vybraných prostorových jednotek až do úrovně principiálních návrhů pro snížení rizika či omezení případných škod. V rámci metodiky pro posuzování povodňových rizik je v prvním kroku použito matice rizika. Celá metodika je v současnosti ve stadiu rozpracování a je prezentována především v podobě návrhu struktury, nicméně především postup stanovení faktoru sklonitosti je již zpracován podrobně a je tedy prezentován detailněji.

2 Matice rizika

Jak již bylo uvedeno, pro klasifikaci rizika v jednotlivých posuzovaných územních jednotkách, tj. povodích IV. řádu, je používána matice rizika. Ta kombinuje dva aspekty rizika, tedy ohroženost ve smyslu potenciálu výskytu extrémních průtoků a zranitelnost ve smyslu výskytu objektů v potenciálně ohrožené oblasti. Jednotlivé aspekty jsou posuzovány a vyhodnocovány separovaně, byť v některých případech je pracováno se stejnými datovými vrstvami.

Sama matice rizika je konstruována tak, že každý z uvažovaných aspektů je zastoupen pěti kategoriemi a výsledné riziko je též členěno do pěti kategorií. Na horizontální ose do matice vstupuje aspekt zranitelnosti, na vertikální pak aspekt ohroženosti. Jednotlivé kategorie rizika

jsou až na výjimky průměrem obou uvažovaných aspektů. V případě, že průměrná hodnota je na polovině mezi dvěma kategoriemi, je kladena větší váha na aspekt ohroženosti. Další výjimku tvoří extrémy rizika, tj. levý dolní a pravý horní roh matice. Tyto rohy jsou definovány symetricky kolem diagonální osy, přičemž každá z extrémních kategorií rizika (první a pátá) je zastoupena třemi buňkami matice.

3	4	4	5	5
3	3	4	4	5
2	3	3	3	4
1	2	2	3	3
1	1	2	2	3

Obr. 1. Struktura matice rizika.

2.1 Aspekt ohroženosti

V rámci klasifikace aspektu ohroženosti jsou posuzovány jednotlivé faktory, které mají podstatný vliv na vznik povodní z přívalových dešťů v malých až středních povodích.

Posuzovány jsou v první řadě tyto skupiny faktorů:

- klimatické podmínky
- morfologie terénu
- druhy využití území
- půdní podmínky

Na základě jednotlivých vrstev faktorů je stanovována celková kategorie aspektu ohroženosti. Ohroženost je stejně jako riziko i zranitelnost kategorizována do pěti tříd, jak vyplývá ze stupnice prezentované na **Obr. 2**.

5
4
3
2
1

Obr. 2. Stupnice aspektu ohroženosti.

Ve vztahu ke klimatickým podmínkám jsou v dané problematice jednoznačně nejdůležitější parametry srážek. Klimatický faktor tedy bude odvozován na základě srážkových statistických charakteristik ve srážkoměrných stanicích v zájmovém území. K tomuto účelu budou použity 24-hodinové úhrny, neboť podrobnější data nejsou všeobecně dostupná. Z těchto dat, která jsou svým prostorovým charakterem bodová, budou pomocí prostředků GIS vytvářeny souvislé vrstvy tak, aby z nich bylo možno klasifikovat vrstvu klimatického faktoru.

Morfologie terénu hraje důležitou roli v procesu formování odtoku z přívalové srážky hned v několika ohledech. Předně z morfologie vyplývají sklonitostní poměry v území, které jsou velmi významným prvkem vzhledem k rychlosti povrchového odtoku i vzhledem k intenzitě infiltračního procesu. Dále je morfologickými podmínkami ovlivněn tvar povodí, který významným způsobem ovlivňuje průběh odtokového procesu a tím značně ovlivňuje tvar výsledného hydrogramu odtoku.

Pro účely analýzy sklonitosti je používán digitální model terénu (DMT). Ten je pro účely metodiky odvozen z vektorových výškopisných dat ZABAGED (Základní báze geografických dat, správcem Český úřad zeměměřický a katastrální). Výškovou odlehlostí vrstevnic činí v případě dat ZABAGED 2 metry, přičemž v plochých územích jsou tyto vrstevnice doplněny o vrstevnice mezilehlé s výškovou odlehlostí 1 metr. Digitální model terénu je na základě těchto dat vytvářen s rozlišením 15 až 30 metrů v prostředí ArcGIS nástrojem *Topo To Raster*. Před dalšími kroky je ještě provedena filtrace získané rastrové vrstvy DMT – nástroj *Filter*, volba LOW. Na tomto místě je nutno připomenout, že prostředí ArcGIS nabízí pouze omezené možnosti filtrace ve srovnání s například prostředím Idrisi, pro účely analýzy sklonitosti v rámci celých povodí IV. řádu je však dostupný nástroj postačující. Vrstva sklonů je pak vytvářena nástrojem *Slope*. Zmiňované nástroje jsou součástí nadstavby prostředí ArcGIS Spatial Analyst, většina je též součástí nadstavby 3D Analyst. Z výsledné vrstvy sklonů je pak odvozována hodnota sklonitosti pro jednotlivá povodí, na jejímž základě je stanovována kategorie faktoru sklonitosti. Hranice jednotlivých tříd sklonitosti uvádí tabulka

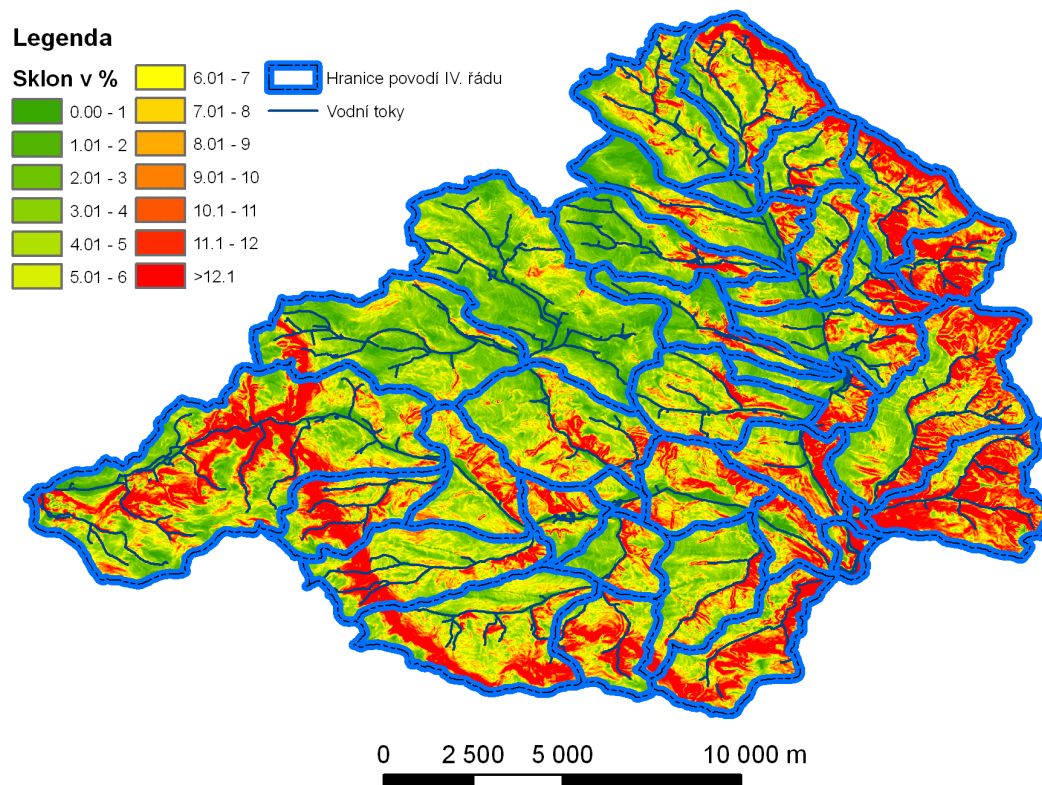
Tabulka 1. Tabulka kategorií sklonitosti.

Kategorie	Rozsah sklonů (%)	Rozsah sklonů (°)
1	0.0 – 2.5	0.0 – 1.4
2	2.5 – 5.0	1.4 – 2.9
3	5.0 – 7.5	2.9 – 4.3
4	7.5 – 10.0	4.3 – 5.7
5	> 10.0	> 5.7

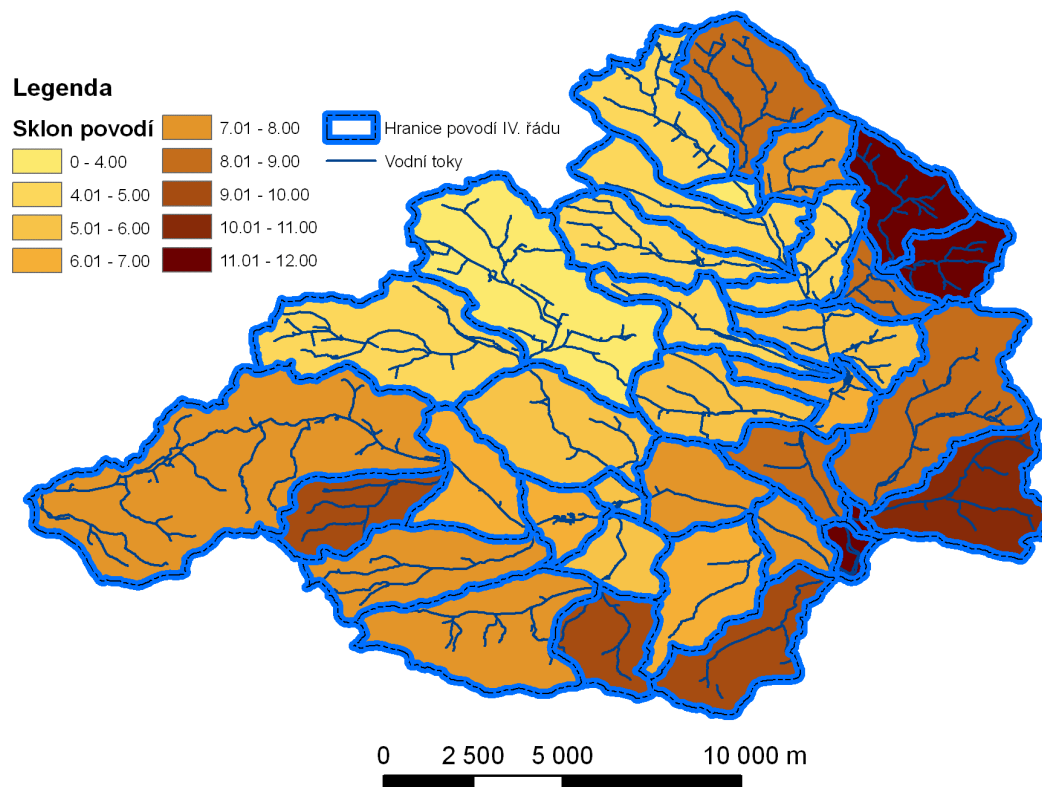
Jak je z tabulky kategorií sklonitosti patrné, jednotlivé třídy mají stejné rozsahy a jsou definovány na základě sklonů určených v procentech. Rozsahy jednotlivých tříd ve stupních jsou uvedeny pouze pro úplnost.

Na obrázcích **Obr. 3.**, **Obr. 4.** a **Obr. 5.** je patrný postup odvození faktoru sklonitosti pro jednotlivá dílčí povodí IV. řádu v rámci ukázkového území na základě rastrového digitálního modelu terénu s rozlišením 10 m. V případě rozsáhlejších území je však vhodné volit rozlišení nižší, a to především ve vztahu k náročnosti rastrových operací a objemu pracovních

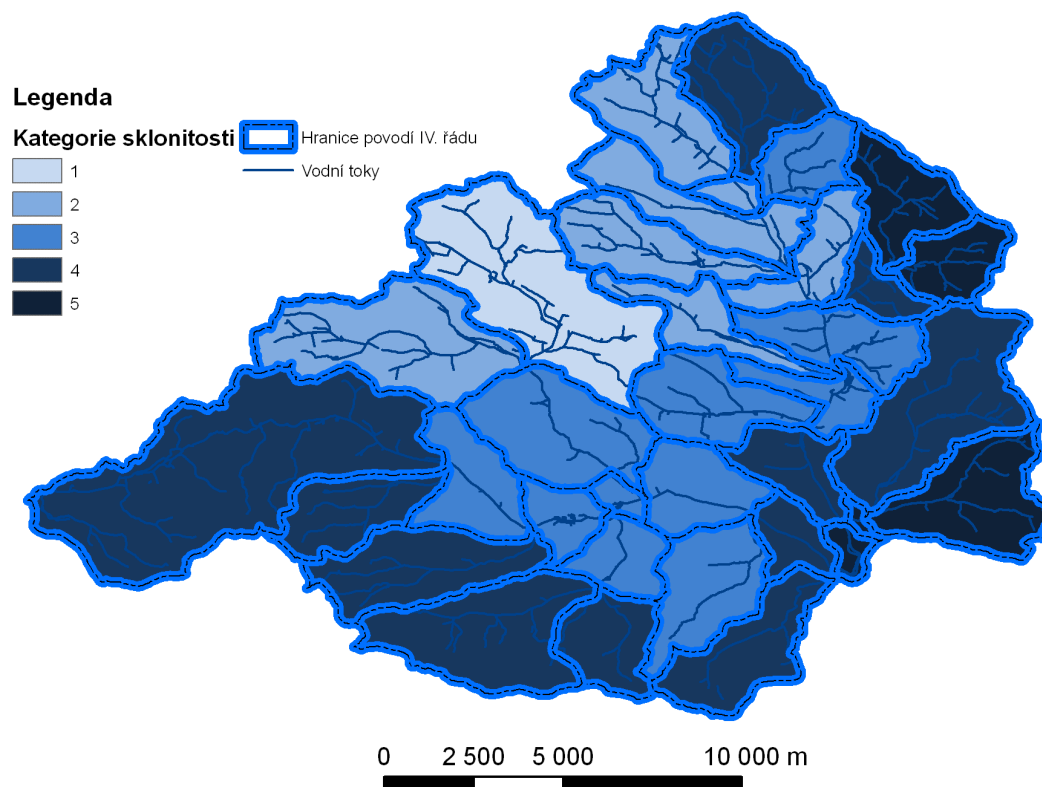
rastrových souborů. Ukázkové území se nachází východně od Prahy. Jedná se o horní část povodí Rakovnického potoka, který se u Křivoklátku vlévá do Berounky.



Obr. 3. Rozdělení sklonů v ukázkovém území.



Obr. 4. Průměrné hodnoty sklonitosti pro dílčí podpovodí ukázkového území.



Obr. 5. Kategorie faktoru sklonitosti pro dílčí povodí ukázkového území.

Druhy využití území mají vliv na odtokové poměry související se vznikem bleskových povodní hned v několika ohledech. V první řadě mají vliv na proces infiltrace, který může být v případě některých druhů využití území úplně eliminován. V dalším ohledu jsou druhy využití území značně provázány s výskytem a objemem mikrodepresí, které ovlivňují podíl příčinné srážky, který se zúčastňuje povrchového odtoku. Dalším důležitým prvkem z hlediska tvorby povodňových průtoků je pak skutečnost, že druhy využití území je možno zkorelovat s drsnostmi povrchu. Ten hraje důležitou roli v rychlosti proudění vody po povrchu, a tím se značnou měrou podílí na ovlivnění rychlosti odtoku vody z plochy povodí.

Vzhledem k tomu, že datové vrstvy popisující druhy využití území obsahují data svým charakterem kategorizovaná, bude odvození vrstev faktoru využití území prováděno prostřednictvím tabelární reklasifikace jednotlivých kategorií využití území na kategorie ohroženosti.

Vrstvy využití území bude nutno i vzhledem k rozsahu na této úrovni zpracovávaných území vytvářet na základě obecně dostupných datových vrstev. Mezi ty je možno zařadit především datovou bázi ZABAGED s podrobnými polohopisnými daty a méně podrobnou databázi DMÚ 25 (Digitální model území 25, správcem Vojenský geografický a hydrometeorologický úřad). Klasifikační tabulka jednotlivých kategorií bude zahrnovat kategorizaci jednotlivých druhů povrchů vzhledem ke všem třem zmíněným procesům – vlivu na infiltraci, vlivu na proudění povrchové vody a zachycení v mikrodepresích. Do značné míry lze při tvorbě této reklasifikační tabulky vycházet z relativních hodnot parametru CN uváděných v řadě publikací prezentujících metodiku SCS-CN (Soil Conservation Service – Curve Number).

Oproti předchozím faktorům ovlivňují půdy tvorbu nadměrných odtoků zcela jednoznačným způsobem, a to svým vlivem na infiltrační proces. Ten je ovlivněn nejenom filtračními vlastnostmi substrátu, které infiltrační proces ovlivňují největší měrou, ale také skladbou jednotlivých půdních horizontů. Nejvhodnějším postupem z hlediska určování půdního faktoru by bylo vycházet z map infiltračních parametrů. Ty však nejsou zpravidla pro území takového rozsahu dostupné. Z uvedeného důvodu bude nutno opět vycházet z obecných půdních datových vrstev, které budou pro potřeby stanovení půdního faktoru reklasifikovány na základě znalostí o jednotlivých půdních jednotkách reprezentovaných v těchto vrstvách. Zdrojem těchto dat mohou být především digitální mapy BPEJ (bonitační půdně-ekologické jednotky), které však zahrnují pouze zemědělskou půdu, či méně podrobné mapy KPP (komplexní průzkum půd). Reklasifikace může být prováděna buď přímo do pěti kategorií půdního faktoru, nebo je možno přiřazovat jednotlivým půdním jednotkám odhadnuté parametry a klasifikaci provádět až pro celá povodí IV. řádu na základě průměrných hodnot uvažovaných parametrů. Druhý postup je z hlediska výsledku přesnější, ovšem na druhou stranu se jedná o postup částečně náročnější především z hlediska nutnosti vytvoření databáze jednotlivých parametrů pro dané půdní jednotky. Nicméně, v rámci dalšího výzkumu budou testovány oba postupy.

2.2 Aspekt ohroženosti

Aspekt zranitelnosti bude ve srovnání s aspektem ohroženosti vyhodnocován poněkud jiným postupem. První odlišností je zahrnutí menšího počtu faktorů, druhou odlišností pak je skutečnost, že jednotlivé faktory nebudou uvažovány izolovaně, jako v případě aspektu ohroženosti, ale výsledná kategorie aspektu zranitelnosti bude založena na konfrontaci jednotlivých aspektů.

Princip vyhodnocení aspektu zranitelnosti spočívá v tom, že budou vzájemně konfrontovány datové vrstvy zón, které mohou být nadměrným průtokem potenciálně

postiženy, s vrstvami postižitelných subjektů a objektů. Vyhodnocení tohoto aspektu bude vycházet z informačních vrstev budov či intravilánu a osídlení, zóny pak budou stanovovány prostřednictvím analýzy morfologie území.

Prvním krokem ke stanovení aspektu zranitelnosti bude vytvoření digitálního modelu terénu. Vzhledem k jeho účelu jsou na tento digitální model terénu kladeny jiné požadavky než na model terénu potřebný pro analýzu sklonitosti. Z důvodů, které budou vysvětleny vzápětí, totiž musí být digitální model terénu upraven tak, aby neobsahoval bezodtoká místa (především v údolnicích). K vytvoření takového modelu terénu je vhodnější použít nástroje prostředí Idrisi. Především je rastrový DMT pro tyto účely vytvářen prostřednictvím TIN (Triangulated Irregular Network – nepravidelná trojúhelníková síť) prostřednictvím nástroje *Tinsurf*, díky čemuž je možno předejít vzniku většiny bezodtokých míst v údolnicích. Dále je na výsledný rastrový DMT aplikována filtrace – příkaz *Filter*, volba 7x7 GAUSS. Posledním krokem pak je aplikace nástroje *Pit Removal*. Díky uvedenému postupu je získán DMT, který neobsahuje žádná bezodtoká místa, což je potřebné pro další kroky.

Dalším krokem je pak vytvoření vrstvy směrů odtoku, a především vrstvy akumulace odtoku, která je následně použita pro potřeby vytvoření potenciálně ohrožených zón. Ty je možno se stejným výsledkem vytvářet jak v prostředí Idrisi, tak v prostředí ArcGIS. Vzhledem ke skutečnosti, že výchozí DMT je vytvořen v prostředí Idrisi je pak vhodné provádět i další operace v tomto prostředí. Nejprve je tedy zapotřebí vytvořit vrstvu směrů odtoku. Z této vrstvy pak je možné vytvořit rovnou vrstvu akumulace odtoku. V rámci prostředí Idrisi jsou oba kroky zpracovávány prostřednictvím nástroje *Runoff*. Informační vrstva vzniklá tímto postupem nese v každé buňce informaci o ploše povodí k bodu danému polohou buňky. Na základě této informace lze prostým prahováním (oříznutím hodnot menších než je dané minimum a hodnot větších než je dané maximum) vytvořit rastrovou síť toků či drah odtoku, které jsou významné z hlediska povodňových průtoků z přívalových srážek. Díky znalosti plochy povodí pak je možno také přibližně odhadnout míru možného rozlivu. Toho je využito při tvorbě zón potřebných pro stanovení kategorie zranitelnosti. Jednotlivé zóny jsou stanovovány do vzdálenosti od buňky sítě v závislosti na ploše jejího povodí. Tato závislost ovšem není lineární a její přesné stanovení bude předmětem dalšího výzkumu.

S vrstvami zón budou poté konfrontovány buď vrstvy intravilánu v případě užití dat DMÚ 25 nebo vrstvy budov a dalších objektů v případě dat ZABAGED. Dle hustoty výskytu těchto objektů či intravilánů v ohrožených zónách pak bude následně stanovena kategorie zranitelnosti. Do tohoto posouzení ještě může být doplněna informace o hustotě osídlení. Aplikace tohoto prvku bude záviset na dalším výzkumu, především na jeho proveditelnosti. Aspekt zranitelnosti bude opět rozdělen do pěti kategorií, jak vyplývá z **Obr. 6**.



Obr. 6. Stupnice aspektu zranitelnosti.

3 Závěr

V tomto příspěvku je prezentován návrh metodiky odhadu povodňových rizik plynoucích z přívalových dešťů v malých a středních povodích. Metodika je vyvíjena prvním rokem a nachází se v počátcích svého vývoje s tím, že je podrobně navržena její struktura, přičemž

některé části jsou zpracovány detailněji. Na druhou stranu je budována na základě znalostí a zkušeností získaných v rámci řady aplikačních studií, které se zabývaly jednak konkrétně problematikou odtoku nebo které se zabývaly obecně řešením klasifikace malých ploch v rámci velkých územních celků z různých hledisek, především pak s problémy v krajině. V dalších letech řešení budou zejména zpracovávány detailní postupy pro zpracování jednotlivých dílčích úloh a řešeny další kroky strukturovaného přístupu k řešení problémů v krajině, kterými je zejména detailní analýza rizikových povodí a jednotlivé možnosti snižování povodňových rizik. Především v souvislosti s detailními analýzami jsou pak uplatňovány principy práce s GIS prostředky a daty, přičemž testovány budou jak přístupy ucelené, tak přístupy distribuované.