

METODIKA POSUDZOVANIA POVODNÍ NA ÚZEMIACH URBANIZOVANÝCH OBLASTÍ

METHODOLOGY OF FLOODS ASSESSMENT IN THE URBANIZED AREAS

Bc. Matúš Strapák

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina

Kontakt: strapak@stud.uniza.sk

Ing. Ľudmila Macurová, PhD.

*Žilinská univerzita v Žiline, Ústav znaleckého výskumu a vzdelávania
Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina*

Kontakt: ludmila.macurova@uzvv.uniza.sk

Ing. Alexandra Štefanická

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina

Kontakt: alexandra.stefanicka@fbi.uniza.sk

doc. Ing. Michal Orinčák, PhD.

Žilinská univerzita v Žiline, Fakulta bezpečnostného inžinierstva, Katedra požiarneho inžinierstva, Ul. 1.mája 32, 010 26 Žilina

Kontakt: michal.orincak@fbi.uniza.sk

ABSTRAKT

Príspevok sa prioritne zaoberá hodnotením povodňového ohrozenia na územiach urbanizovaných oblastí. Za týmto účelom je navrhnutá metodika hodnotenia a popis jej využitia. Taktiež sú uvedené postupy zostavenia a využitia indexových modelov za predmetným účelom, popis využitých parametrov a metód na dosiahnutie požadovaných výsledkov. Na konkrétnom príklade je definovaný spôsob využitia metodiky. Pre korektné zapracovanie metodiky sú objasnené návrhy opatrení pre urbanizované oblasti za účelom zmiernenia negatívnych dopadov lokálnych povodní vznikajúcich vplyvom kumulácie zrážkových vôd pri vysokom povrchovom odtoku.

Kľúčové slová: urbanizované oblasti, GIS, AHP, indexový model, povodeň

ABSTRACT

The paper deals primarily with the assessment of flood threats in urbanized areas. To this purpose, it proposes an evaluation methodology and describes its use. It also describes the procedures for the construction and use of index models for the purpose, describes the parameters and methods used to achieve the desired results and gives. Specific example of how to use the methodology. In order to correctly incorporate the methodology, it also proposes measures for urban areas in order to mitigate the negative impact of local floods resulting from the accumulation of rainwater at high surface runoff.

Keywords: urbanized areas, GIS, AHP, index model, flood

1 ÚVOD

Cieľom riešenia vybranej problematiky je generalizácia špecifických údajov hodnotenej lokality a následný návrh postupu hodnotenia povodňového rizika v rôznych úrovniach členitosti terénu. Členitosť terénu je považovaná za jeden z hlavných faktorov ovplyvňujúci mieru kumulácie zrážkových vôd na povrchu a povrchových odtokoch.

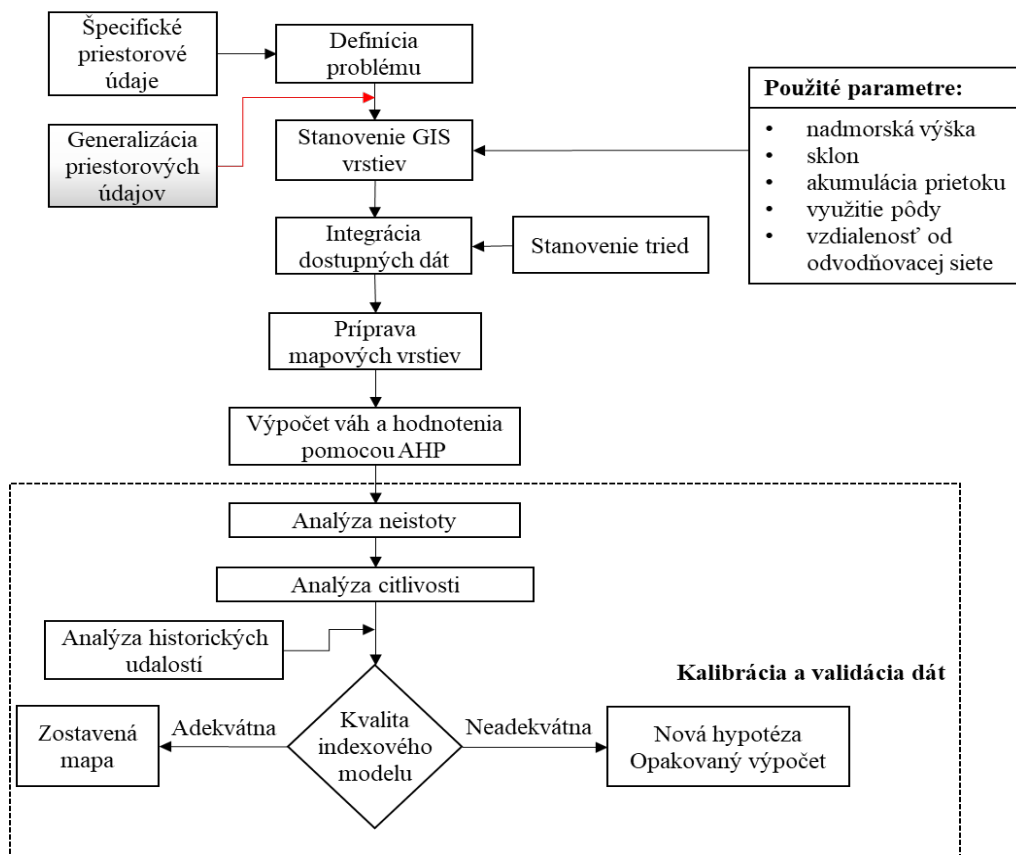
Príspevok je zameraný na návrh metodiky hodnotenia povodňového ohrozenia, pričom využitie metodiky je znázornené v urbanizovanej oblasti mesta Malacky, nachádzajúceho sa v Bratislavskom kraji (v regióne Záhorie).

Maximalizovaním využitia metodiky posudzovania povodní v urbanizovaných oblastiach s využitím navrhovanej generalizácie špecifických údajov o lokalitách možno minimálnymi úpravami hodnotiacich parametrov použiť na posúdenie akejkoľvek vybranej urbanizovanej oblasti na území Slovenskej republiky, pričom sa predpokladá optimálne zostavenie viacerých variantov hodnotiacich sústav.

2 METODIKA VYUŽITIA FHI PRE POSUDZOVANIE URBANIZOVANÝCH OBLASTÍ

Za účelom posudzovania urbanizovaných oblastí z hľadiska povodňových situácií vplyvom kumulácie zrážkových vôd pri vysokom povrchovom odtoku je v rámci tejto metodiky využitý index povodňového ohrozenia s metódou FIGUSED. Tieto metódy boli upravené za účelom korekcie hodnotenia urbanizovaných oblastí.

Všeobecná metodika postupu pre tvorbu indexového modelu hodnotiaceho povodňové riziko v urbanizovaných oblastiach (vid'. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**) je zostavená za účelom analýzy urbanizovaných oblastí pomocou predmetného modelu. Za účelom spresnenia hodnotenia je možné upravovať váhy použitých parametrov, vzhľadom na špecifické priestorové informácie pre lokalitu. [4,6]

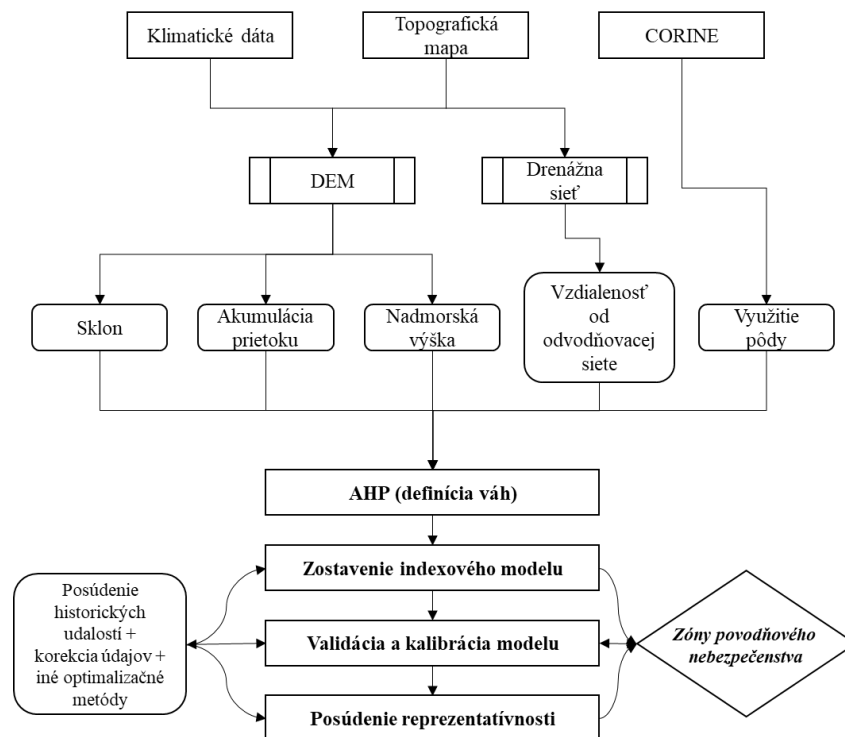


Obrázok 1 Navrhnutá metodika postupu tvorby indexového modelu [6]

Pre reálne využitie modelu je potrebné následne dosiahnuté výsledky posúdiť a optimalizovať proces generalizácie metodológie za účelom využitia metódy pre zostavovanie indexového modelu hodnotiaceho povodňové riziko v ľubovoľne zvolených urbanizovaných oblastiach. Podmieňujúcim faktorom je prístup ku vstupným údajom (podkladovým mapám a hodnotám) z hodnotenej oblasti, optimálna charakteristika vstupných parametrov, ako aj optimalizácia a generalizácia špecifických údajov pre posudzovanú lokalitu. [4,6]

V príspevku sú použité aj ďalšie metódy:

- štatistické metódy,
- metóda multikriteriálneho rozhodovania (AHP),
- metódy klasifikácie dát,
- expertné odhady,
- matematické výpočty a metódy úpravy dát,
- analýza citlivosti (eng. *sensitivity analysis*),
- analýza neistoty (eng. *uncertainty analysis*),
- analýza historických udalostí,
- interpolácia podľa flexibilnej krivky (eng. *spline interpolation*),
- prostriedky geostatickej analýzy.



Obrázok 2 Schéma postupu zostavovania modelu a výpočtu indexu [5]

V rozhraní GIS sú ďalej zosumarizované údaje o parametroch z rôznych zdrojov. Tieto údaje sa spracovávajú v rozhraní, v ktorom je potrebné ich náležite upraviť a preklasifikovať. V tejto fáze sú taktiež definované váhy jednotlivých parametrov potrebných pre zostavenie modelu. Porovnanie výsledkov analýzy pri komparácii s mapami povodňového ohrozenia podporuje korektnú identifikáciu ohrozených oblastí, pričom záznamy historických udalostí overujú správnosť metodiky.

Prioritným cieľom indexového modelu je zobrazenie nebezpečenstva vzniku povodne, resp. náchylnosti územia na vznik povodní na mapovom podklade. Následne je po výpočte potrebné model kalibrovať a validovať. Pre testovanie a demonštráciu využitia predmetnej metodiky s korekčnými úpravami bolo analyzované urbanizované katastrálne územie okresného mesta Malacky, s rozlohou cca 27 km².

3 ZOSTAVENIE MODELU

Pre zostavenie indexového modelu so zámerom následných výpočtov a spracovaní dát v prostredí GIS je potrebné jednotlivo zadefinovať parametre modelu a pomocou viackriteriálneho hodnotenia stanoviť váhy jednotlivých parametrov. Pri tejto metóde je nutné overiť konzistenciu matíc a spracovať validačné výpočty.

3.1 Parametre modelu

Predmetná metóda posudzovania vybraného územia zahŕňa päť kritériálnych parametrov, a to:

- akumuláciu prietoku (eng. *flow accumulation*) (ozn. „*F*“),
- využitie pôdy (eng. *land use*) (ozn. „*U*“),
- sklon terénu (eng. *slope*) (ozn. „*S*“),
- nadmorskú výšku (eng. *elevation*) (ozn. „*E*“),
- vzdialenosť od drenážnej siete (eng. *distance from drainage*) (ozn. „*D*“).

Uvedené parametre boli vybrané ako základné parametre pre ohodnotenie povodňového ohrozenia urbanizovaných oblastí. Vo všeobecnosti je možné do metodiky pridať aj iné parametre ovplyvňujúce kumuláciu zrážkových vôd pri vysokom povrchovom odtoku (ako napríklad zaťaženie kanalizácie na odvádzanie zrážkových vôd), či iné filtračné parametre na spresnenie výsledkov analýzy.

3.2 Výpočet váh jednotlivých parametrov

Vstupné váhy jednotlivých parametrov boli vypočítané pomocou metódy viackriteriálneho hodnotenia (AHP), pričom následne vypočítané váhy vstupujú do procesu tvorby a zostavovania indexového modelu. Významné zastúpenie majú v procese finálneho spracovania údajov.

Tabuľka 1 Parametre FHI

	<i>E</i>	<i>S</i>	<i>F</i>	<i>U</i>	<i>D</i>
<i>E</i>	1	1/3	1/2	3	1/3
<i>S</i>	3	1	2	5	4
<i>F</i>	2	1/2	1	2	2
<i>U</i>	1/3	1/5	1/2	1	1/3
<i>D</i>	3	1/4	1/2	3	1

Po vytvorení vlastnej vektorovej matice AHP je potrebné zhodnotiť jej konzistentnosť.

Tabuľka 2 Normalizovaná matica parametrov analýzy

	E	S	F	U	D	Sum	Mean	Weight	Percentage
E	0,107	0,146	0,111	0,214	0,043	0,62	0,12	1,2	12%
S	0,321	0,438	0,444	0,357	0,522	2,08	0,42	4,2	42%
F	0,214	0,219	0,222	0,143	0,261	1,06	0,21	2,1	21%
U	0,036	0,088	0,111	0,071	0,043	0,35	0,07	0,7	7%
D	0,321	0,109	0,111	0,214	0,130	0,89	0,18	1,8	18%
Total	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00			100%

Požadovaná úroveň konzistencie sa hodnotí pomocou rovnice (1).

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (1)$$

kde: **CR** pomer konzistencie
CI index konzistencie
RI náhodný index

Hodnoty náhodného indexu *RI* sa odvíjajú od počtu parametrov. Tieto hodnoty sú uvedené v Tabuľke 3. V prípade riešenia predmetného príspevku sa uvažuje s piatimi parametrami.

Tabuľka 3 Náhodný index

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45

Na základe teórie AHP by mal byť pomer konzistencie $CR < 0,1$. Index konzistencie *CI* je vypočítaný podľa rovnice (2), pričom pomer konzistencie s hodnotou nad 0,1 vyžaduje revízie rozhodnutí v matici alebo zostavenie novej hypotézy s opakovaným výpočtom. Dôvodom je nekonzistentnosť úpravy konkrétneho hodnotenia parametra. [3, 6, 8]

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (2)$$

kde: λ_{max} maximálna vlastná hodnota porovnávacej matice
n počet kritérií

Tabuľka 4 Výpočet vlastnej hodnoty matice

Parameter	Vlastný vektor	Normovaný vlastný vektor	Vlastné hodnoty
E	0,69883	0,11543	5,42052
S	2,60517	0,43033	5,17008
F	1,31951	0,21796	5,21451
U	0,40659	0,06716	5,31646
D	1,02384	0,16912	5,51955
SUM	6,05393	1	AVG 5,32823

Po výpočte podľa rovníc (1) a (2) je možné skonštatovať, že pomer konzistencie predmetnej matice je 0,07326. Uvedená hodnota sa považuje za vyhovujúcu. Ostatné medzivýsledky sú uvedené v Tabuľke 5.

Tabuľka 5 Medzivýsledky výpočtu CR

Premenná	Hodnota
CR	0,07326
CI	0,08206
$\lambda_{\max}$	5,32823

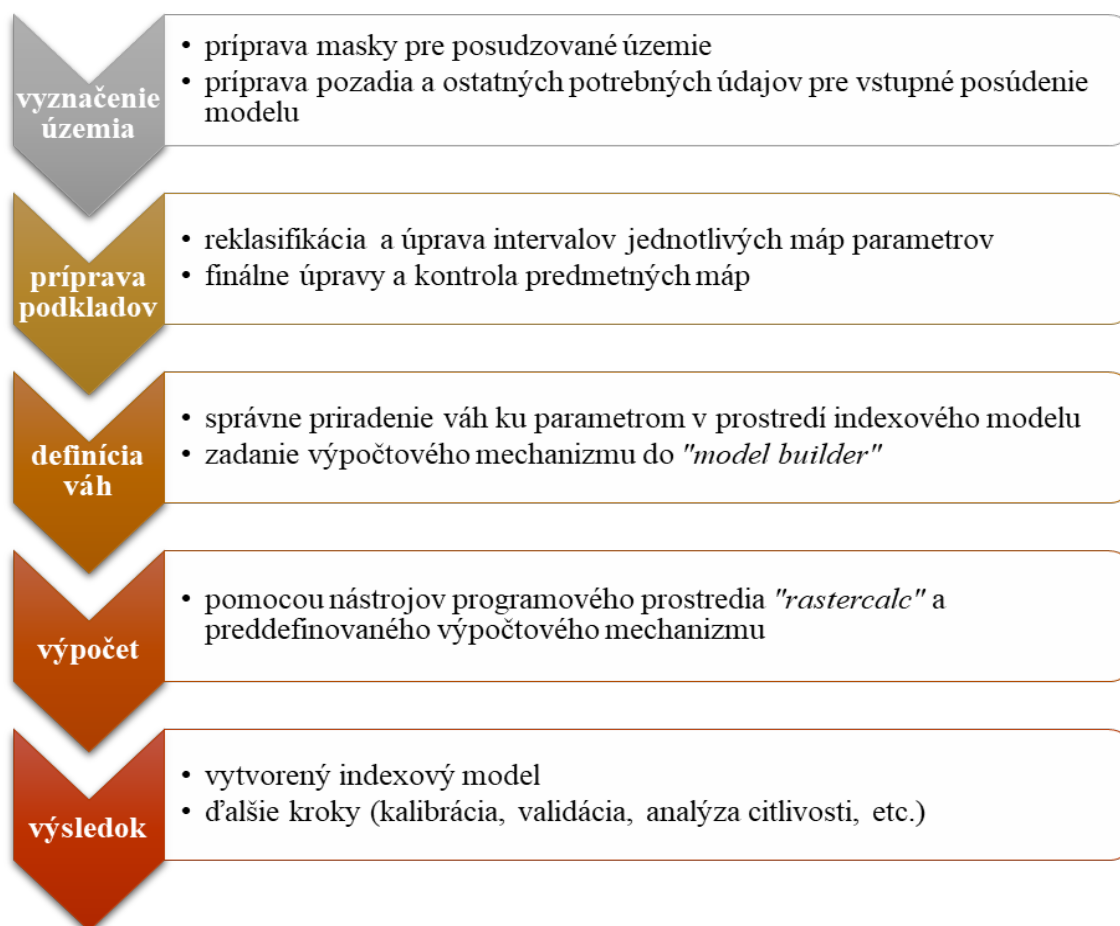
3.3 Spracovanie dát v GIS

Po výpočte jednotlivých váh parametrov vstupujúcich do výpočtu indexového modelu, je všeobecne možné postupovať v zmysle Obr. 3. Pre spresnenie vstupných údajov je možné jednotlivé výsledné váhy parametrov podrobiť ďalším korekčným a optimalizačným metódam, prípadne spracovať viacero expertných hodnotení za účelom posúdenia jednotlivých variantov.

Predmetný index sa v prostredí GIS počíta podľa rovnice (3). [6, 7, 8]

$$FHI = \sum_{i=1}^n r_i * w_i \quad (3)$$

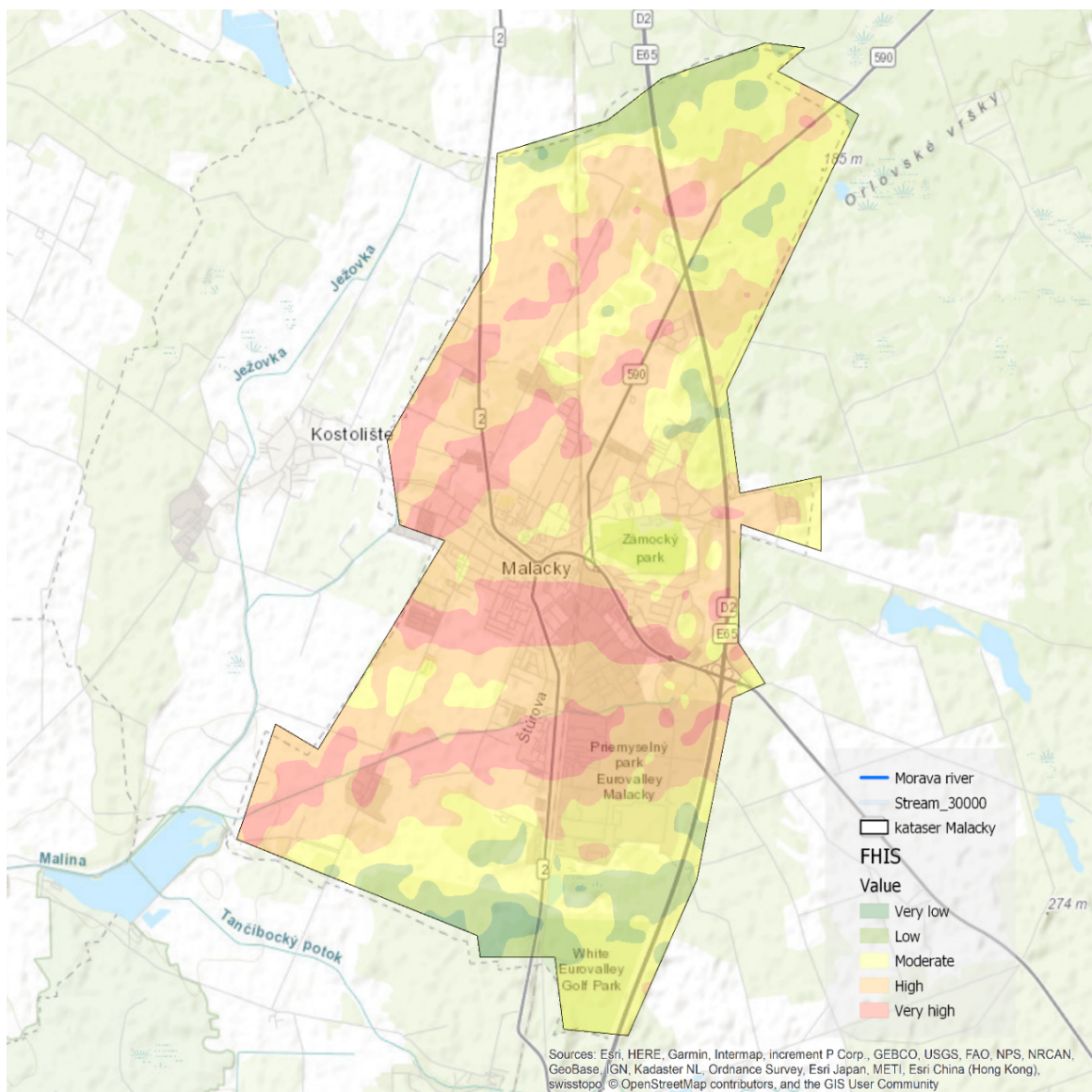
kde: **r_i** bodové ohodnotenie parametra v každom bode mriežky
w_i váha parametra
n poradie kritéria



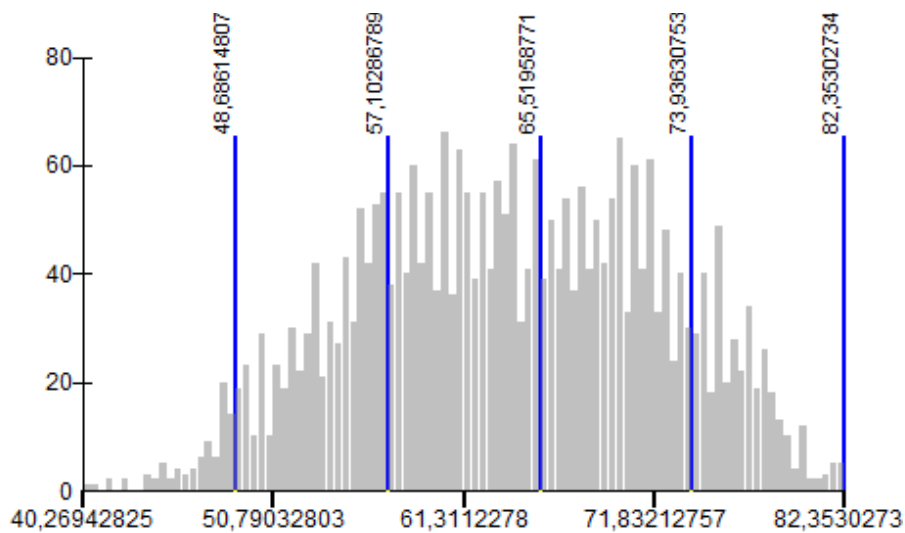
Obrázok 3 Postup finálneho spracovania údajov [6]

Základný vstup do výpočtu predstavujú používané vypočítané váhy (vid'. Tabuľka 2.) V prostredí GIS sú vstupné parametre preklasifikované v jednotlivých intervaloch do päť stupňovej škály z pohľadu miery ovplyvnenia formovania povodne. Následne tieto parametre vstupujú do výpočtového mechanizmu v zmysle rovnice 3.

Po výpočte spomínaného indexu je potrebné, aby zostavený indexový model prešiel procesom posúdenia správnosti údajov, ako aj procesom kalibrácie a validácie modelu. Toto posúdenie možno vykonať niekoľkými spôsobmi. Pre predmetné územie bol indexový model analyzovaný pomocou analýzy citlivosti a neistoty, pričom validácia prebiehala procesmi posúdenia historických udalostí, v nadväznosti na vypočítaný index a expertné hodnotenia predmetného územia z pohľadu formovania lokálnych zrážkových povodní.



Obrázok 4 Indexový model povodňového ohrozenia mesta Malacky (*attemp 276*)



Obrázok 5 Sumárna štatistika modelu (*attemp 276*)

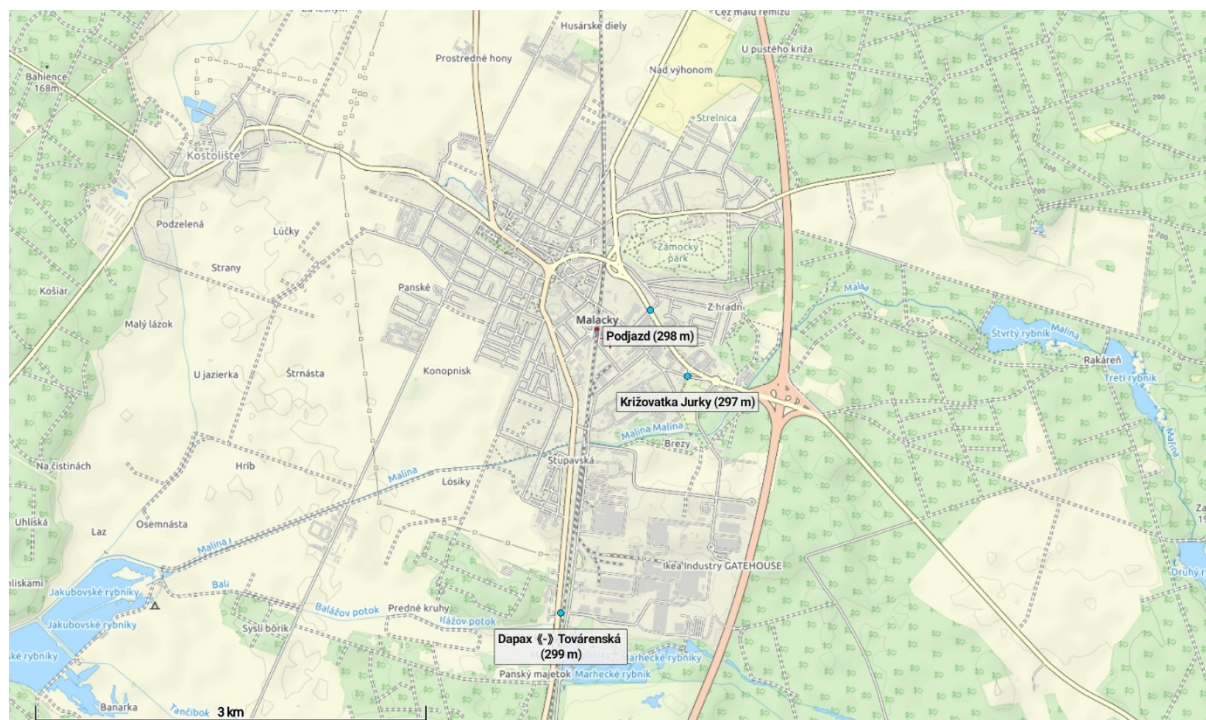
Predstavené výsledky (attemp 276) sú reprezentatívne pre ohodnotenie územia s rozlohou 23,6 km². Pomocou regresnej analýzy bola stanovená presnosť indexového modelu, bez bilineárnej interpolácie a kubickej konvolúcie kriviek, na plochu 58 081 m² ± 8,19 %, čo predstavuje reálnu plochu jednej rastrovej bunky približne 241x241 m. Štatistické údaje sú uvedené v Tabuľke 6.

V prípade zvýšenia kvality a citlivosti indexového modelu, resp. vstupných údajov do výpočtu, je možné adekvátne zväčšovať presnosť a reprezentatívnosť modelu, a tiež výsledky práce môžu byť optimálne využité za účelom:

- územného plánovania,
- ako pomocná dokumentácia rozhodovania v oblasti krízového riadenia,
- plánovania výstavby vodných stavieb a návrhu zelenej infraštruktúry,
- posúdenia stavu bezpečnosti miest a obcí vplyvom povodní,
- ako podporná dokumentácia pri riadení mimoriadnej udalosti - vzniku povodne.

Tabuľka 6 Sumárna štatistika modelu

Ukazovateľ	Attemp 276
Počet z.	2940
Minimum	40,27
Maximum	82,35
Suma	187 399,15
Priemer	63,74
Štandardná odchýlka [%]	8,19



Obrázok 6 Prioritne ohrozené oblasti na základe historických udalostí

V transpozícií historických udalostí a vytvoreného indexového modelu pre katastrálne územie mesta Malacky (viď. **Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**), boli identifikované konkrétne oblasti, na ktorých je potrebné aplikovať opatrenia pre zamedzenie možnosti kumulácie zrážkových vôd. Z hľadiska výskytu a charakteru povodňových udalostí v predmetných oblastiach je zraniteľnosť zanedbateľná a ohrozenie minimálne.

Ďalším postupom, v prípade zvyšovania kvality predmetného indexového modelu je zahrnutie tzv. filtračného parametra. Základná hypotéza začlenenia predmetného hodnotiaceho parametra je špecifikácia inundačných pásiem (v priestoroch protipovodňových ochranných hrádzi) v indexovom modeli a ich zahrnutie do výpočtu. Uvedená skutočnosť by mala za výsledok presnejšie zhodnotenie (prípadne vylúčenie) rizika priamo na vodných tokoch a v pásmach protipovodňových ochranných hrádzi.

4 NÁVRH OPATRENÍ PRE URBANIZOVANÉ OBLASTI

Jedným z možných preventívnych opatrení na tomto úseku je vybudovať zelenú infraštruktúru. Pozitívne ovplyvňuje povrchové odtoky zrážkových vôd, a tiež umožňuje jej vsakovanie do podlažia a podzemných vôd, čím v mestách redukuje zahlcovanie kanalizačnej siete a mieru kumulácie zrážkových vôd. Zelená infraštruktúra podporuje turistický rozvoj najmä tým, že poskytuje nové priestory pre turistické využitie a rekreáciu, a tiež pozitívne vplýva na biodiverzitu. Zároveň počas letných horúčav napomáha k znižovaniu teploty v mestách a v obciach. Ako vedľajší účinok tohto opatrenia pôsobí redukcia pôdnej erózie, resp. použitie vegetácie na stabilizáciu pôd, ktoré môžu byť náchylné na eróziu. [7]



Obrázok 7 Opatrenia v mestských častiach [9]

Konkrétnymi opatreniami na zadržiavanie zrážkových vôd sú napríklad zelené strechy, zavlažovanie zrážkovou vodou, porézne chodníky, priehlbne, ryhy, potôčiky, filtračné pásy, trativody, infiltračné priekopy, dažďové záhrady, akumulčné nádrže, rybníky/retenčné nádrže a infiltračné nádrže. [10]

Pre efektívne zavádzanie zelenej infraštruktúry v mestách je veľmi dôležité územné plánovanie v koordinácii so strategickými plánmi v oblasti vodného hospodárstva, ochrany prírody a sektorovými rozvojovými plánmi. Ďalej pre podporu efektivity je potrebné charakterizovať a vyhodnotiť prírodné pomery v rámci administratívnej jednotky v interakcii s prírodnými pomermi v širšom kontexte (tzn. na úrovni povodia, resp. čiastkového povodia), konkrétne klimatické, geologické, hydrogeologické a hydrologické činitele. Taktiež je potrebné charakterizovať aktuálny stav mestského prostredia (zastavanosť územia, obytné zóny, priemyselné zóny, oddychové zóny a kanalizačný systém) a identifikovať problémy, ktoré sa môžu riešiť opatreniami zelenej infraštruktúry. [9]

Cieľmi budovania zelenej infraštruktúry je pozitívne pôsobenie na manažment zrážkových vôd a tvorba nových prostredí pre oddych a rekreáciu. Pri zavádzaní týchto opatrení je nutné stanoviť konkrétne ciele navrhovaných opatrení, vypracovať rámcový program opatrení (resp. špecifikovať druhy a rozsah týchto opatrení) a posúdiť ich uskutočniteľnosť z rôznych hľadísk (napr. posúdenie efektivity, prínosu navrhnutých opatrení a ich udržateľnosť). Základným predpokladom v rámci riešenej problematiky je zmena vodnej politiky na centrálnej úrovni a v rámci komunálnej sféry zameranie na ochranu vôd s maximálnym využitím zelenej infraštruktúry. Daný predpoklad sa v zmysle reálnych podmienok musí stať prioritou pre efektivitu a účinnosť opatrení. [7,10]

5 ZÁVER

Medzi aktuálnymi metódami a technikami hodnotenia vplyvov kumulácie zrážkových vôd pri vysokých povrchových odtokoch, ktoré sa vyskytujú najmä v zastavaných plochách a urbanizovaných oblastiach sa nenachádzajú žiadne štandardizované metódy využiteľné pri rýchlych analýzach. Za týmto účelom je v príspevku navrhnutá časť metodiky s možnosťou kalibrácie a validácie modelu, ktorá je využiteľná na predmetné analýzy.

Výsledkom využitia metodiky hodnotenia je výstupná mapa indexového modelu, ktorá člení analyzované územie do piatich stupňov ohrozenia. Základným predpokladom korektného využitia metodiky sú faktory, ako napríklad špecificky zostavené váhy modelu na základe generalizácie špecifických údajov o posudzovanej lokalite a správne využitie metód na kalibráciu a validáciu modelu.

Na základe vývoja klímy a zrážkových pomerov je potrebné vyvíjať metódy pre analýzy urbanizovaných oblastí z hľadiska lokálnych povodní. Doterajšia prax pri zásahoch na predmetných udalostiach ukazujú, že aj pri krátkotrvajúcich intenzívnych dažďoch sa môžu formovať lokálne povodne v mestách a v obciach. Aj z tohto dôvodu je potrebné metodiku hodnotenia formovania lokálnych povodní ďalej rozvíjať a spresňovať. Pri ďalšom vývoji je vysoký predpoklad možnosti vývoja všeobecnej metódy na predmetné hodnotenie, čím bude dosiahnuteľná vyššia miera ochrany pred lokálnymi povodňami a predikciou ich vzniku a rozsahu.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Data classification methods. 2018. [online]. ArcGIS help. [cit. 2019-01-15]. Dostupné z: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/mapping/layer-properties/data-classification-methods.htm>

- [2] Geology and flooding. 2017. [online]. British Geological Survey. [cit. 2019-01-14]. Dostupné z: <http://www.bgs.ac.uk/research/engineeringGeology/shallowGeohazards - AndRisks/flooding/research.html>
- [3] MÁCA, J., LEITNER, B., 2002. Multikriteriálna optimalizácia rozhodovania pri krízovom riadení. In: Zborník 7. vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou "Riešenie krízových situácií v špecifickom prostredí", II. časť, Žilina, FŠI ŽU, str. 271 - 278. ISBN 80 – 88829 – 71 - 2.
- [4] STRAPÁK, M., 2018. Využitie GIS v prostredí posudzovania povodňového nebezpečenstva. In: Konferencia týždeň vedy a techniky 2018. Malacky.
- [5] STRAPÁK, M., MICHALKOVÁ, J., ORINČÁK, M., 2019. Methodology proposal of flood risk assessment in urbanized areas. In: Student's scientific international conference, 6th May 2019. [CD-ROM]. Zvolen: DF TUZVO, Roč. 60, s. 600-612. ISBN 978-80-228-3148-2.
- [6] STRAPÁK, M., 2019. Náchylnosť povodia Moravy na vznik povodní. Bakalárska práca. Žilina: FBI UNIZA.
- [7] ZELENÁKOVÁ, M., 2009. Flood Risk Assessment in the Hornád River Basin. Životné Prostredie, Vol. 43, No. 6, p. 348 – 350.
- [8] KAZAKIS, N., KOUGIAS, I., PATSIALIS, T., 2015. Assessment of flood hazard areas at a regional scale using an index-based approach and Analytical Hierarchy Process: Application in Rhodope–Evros region, Greece. Science of the Total Environment. Science of The Total Environment. Vol. 538, s. 555-563. ISSN 0048-9697
- [9] *Natural water retention measures*. [online]. NWRM, 2015. Dostupné z: nwrn.eu
- [10] *Zelenšie Slovensko*. [online]. MINZP SR, November 2017. Dostupné z: https://www.minzp.sk/files/iep/x_2017_envirostrategia_20171214.pdf