

Povodňová rizika v malých povodích

Václav David¹, Josef Krása²

¹Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství, Fakulta stavební, ČVUT v Praze, Thákurova 7
166 29, Praha 6 - Dejvice, Česká republika

¹vaclav.david@fsv.cvut.cz

²josef.krasa@fsv.cvut.cz

Abstrakt. Problematika odhadu povodňových rizik v malých povodích nabyla po událostech léta 2009 opět na aktuálnosti. Na pracovišti katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství fakulty stavební ČVUT v Praze je toto téma jedním z hlavních směrů výzkumných aktivit. Jako součást tohoto výzkumu je vyvíjena metodika pro odhad potenciálních rizik povodní v malých povodích. Tato metodika má sloužit pro klasifikaci povodňových rizik v malých povodích v rámci velkých územních celků. Hlavním principem prezentované metodiky je aplikace matice rizik kombinující potenciální povodňovou ohroženost a zranitelnost urbanizovaných území. Jelikož pro malá povodí mnohdy neexistují potřebná průtoková data, je ohroženost založena prostorovém rozložení hodnot hlavních faktorů, které mají na formování povodní v malých povodích zásadní vliv. Zranitelnost je pak stanovována na základě výskytu budov a dalších objektů v potenciálních záplavových zónách.

Česká republika je v současné době pokryta kvalitními datovými zdroji potřebnými pro provedení GIS analýz s cílem vyhodnocení území z hlediska povodňových rizik. Problémem zůstává reálná dostupnost (případně finanční náročnost) a také kombinace podkladů s různou úrovní přesnosti a spolehlivosti. Proto se stále uplatňují nejen metody podrobného vyhodnocení území a simulační modely povrchového odtoku, ale také zjednodušené klasifikace povodí v prostředí GIS. Ty využívají mapovou algebru, prostorovou statistiku a morfologické analýzy nad digitálními modely reliéfu.

Metodika byla již ve své první podobě testována a prezentována a poskytuje relevantní výstupy. Jistou slabinou je skutečnost, že některé faktory jsou stanovovány prostřednictvím uceleného přístupu, tj. přístupu vyhodnocujícího plochu každého dílčího povodí jako celku. Hodnoty takto stanovených faktorů pak mohou být odlišné od hodnot, které by byly stanoveny s plně distribuovaným přístupem, tedy stanovením hodnoty na základě plochy povodí vždy k danému bodu výpočetního rastru.

V rámci tohoto příspěvku je prezentována jak samotná metodika pro stanovení potenciálních povodňových rizik v malých povodích, tak porovnání výstupů získaných jak uceleným přístupem, tak přístupem plně distribuovaným, na který byl zaměřen poslední výzkum.

Klíčová slova: přívalová povodeň, povrchový odtok, riziková analýza, malá povodí.

Abstract. Flood risk in small catchments, Importance of qualified estimation of flood risk in small catchments has recently increased. The flood occurrence in the Czech Republic was rather frequent also in summer 2009. The Department of Irrigation, Drainage and Landscape Engineering of the Civil Faculty of CTU Prague has focused on research of flood risk for several years. As a part of this research there is a methodology developed for quantifying potential flood risk in small catchments. The methodology has been used for classifying the risk within large regions as decision support tool in flood prevention. The main principle of the methodology is combination of flood hazard and vulnerability of urban areas. For this purpose the risk matrix is used. Since small catchments are often characterized by lack of necessary hydrological data, the risk is based on spatial distribution of the main factors contributing to flood forming. The vulnerability is then based on position of buildings and other structures in potential flood zones prepared using DEM analysis.

The Czech Republic is covered by useful geodata sources for GIS analyses used in landscape classification in order to estimate the flood risk. The problem remains concerning the actual data availability for the research and high variability in precision and reliability. It is the reason why not only detailed simulation models of surface runoff are used but relatively simple classification tools of GIS. These are based on map algebra, spatial statistics and morphological analyses over digital terrain models.

The original methodology was tested during recent years and gives relevant outputs. The weakness of the methodology is some risk factors are based on lumped characteristics of the catchments. These vary from the factors based on fully distributed approach – for every spatial element of selected catchments. In this paper the original methodology is presented in detail but mainly we

focus on comparison of lumped and fully distributed approach what is the part of our newest research activity.

Keywords: flash flood, surface runoff, risk assessment, small catchments

1 Úvod

První verze metodiky pro stanovení potenciálních povodňových rizik souvisejících s přívalovými dešti v malých povodích v rámci velkých územních celků již byly prezentovány na sympoziích GIS Ostrava v podobě posterů. Metodika je založena na aplikaci matice rizik kombinující povodňovou ohroženost a zranitelnost urbanizovaných území. Hlavním cílem metodiky je identifikace potenciálně ohrožených území tak, aby na nich mohla být provedena podrobná srážko-odtoková studie. Na základě srovnání výsledků s prokazatelně problematickými povodími na území Středočeského kraje bylo zjištěno, že získávané výsledky jsou relevantní již v případě první verze metodiky.

V rámci dalšího vývoje tohoto nástroje jsou prováděny především analýzy mající za cíl jeho zpřesnění a zdokonalení. Součástí těchto snah je mimo jiné výzkum vedený směrem k vyšší distribuovanosti metodiky. Důvodem k provádění tohoto výzkumu je především ta skutečnost, že byt' je metodika konstruována tak, že jsou hodnoceny územní celky na úrovni povodí IV. řádu, je hydrologický režim ovlivněn vždy celou plochou povodí k danému místu.

Tento text zahrnuje jednak stručné představení metodiky a jednak podrobný rozbor problematiky distribuovaného přístupu ve srovnání s přístupem uceleným.

2 Metodika stanovení rizik

Základním principem představované metodiky je aplikace matice rizika pro stanovení míry potenciálního rizika spojeného s přívalovými srážkami v malých povodích v rámci velkých územních celků. Matice o rozměrech 5 x 5 sestavená speciálně pro tyto účely kombinuje míru potenciálního nebezpečí výskytu povodňových průtoků a zranitelnost urbanizovaných území. Oba aspekty jsou zpracovávány na podkladě prostorových dat s využitím nástrojů GIS a prostorové analýzy. Výsledné potenciální riziko je kategorizováno do pěti tříd, přičemž kategorie 1 představuje nejnižší míru rizika.

2.1 Ohroženost

Povodňová ohroženost je pro potřeby prezentované metodiky stanovována na základě pěti nejdůležitějších faktorů s vlivem na přímý odtok, který v případě povodní z přívalových srážek v malých povodích hraje nejdůležitější roli. Každý z uvažovaných faktorů je kategorizován stejně jako celková ohroženost do pěti kategorií. Výsledná ohroženost je na základě kategorií jednotlivých faktorů stanovována pomocí statistické funkce modu, u bimodálních a multimodálních souborů jsou hodnoty modu dále průměrovány.

Pro stanovení celkové potenciální ohroženosti jsou používány tyto faktory:

- Klimatické podmínky
- Sklonitost
- Tvar povodí
- Využití území
- Půdní poměry

Klimatické podmínky. Pro vyjádření klimatických podmínek jsou používány hodnoty maximálních 24-hodinových srážek s různou dobou opakování pro srážkoměrné stanice v rámci hodnoceného území [3]. Z těchto dat byly prostorovou interpolací vytvořeny souvislé rastrové vrstvy pro jednotlivé doby opakování, které posloužily jako vstup pro klasifikaci celkových klimatických podmínek. Konkrétně byly použity srážkové úhrny pro 2, 10, 20, 50 a 100 let. Samotná klasifikace je definována na základě tzv. standardizované srážky, která vychází z průměrných hodnot pro jednotlivá povodí IV. řádu normovaných regionálním průměrem.

Sklonitost. Sklonové podmínky v povodích jsou hodnoceny na základě sklonitostní analýzy digitálního modelu terénu (DMT). Ten je nejčastěji odvozen na podkladě vrstevnicových dat ZABAGED[®] s ekvidistantou 2 m [1]. Pro potřeby metodiky je používáno rozlišení DMT 20 m.

Z hlediska sklonitostní analýzy by bylo možno použít i rozlišení nižší bez zásadního dopadu na výsledky, nicméně vzhledem k tomu, že vrstva je používána i pro další účely, je dodržováno takto podrobné rozlišení. Sklonitost je pro potřeby klasifikace povodí IV. řádu kalkulována v procentech a následně jsou pro jednotlivá povodí stanoveny průměrné hodnoty, na jejichž základě je následně provedeno zařazení do kategorií. Z hlediska odtokových poměrů jsou samozřejmě rizikovější povodí s vyššími hodnotami průměrné sklonitosti.

Tvar povodí. Tvar povodí je důležitou charakteristikou s ohledem na tvar výsledného hydrogramu odtoku a tedy i hodnotu kulminačního průtoku. Obecně lze říci, že za stejných ostatních podmínek je hydrogram odtoku kratší a vyšší pro povodí široká oproti povodím protáhlého tvaru. Tvar povodí je možno vyjádřit pomocí faktoru tvaru (z angl. Shape Factor). Ten je dán poměrem plochy povodí – A ku druhé mocnině maximální délky odtokové dráhy v povodí – l_h , jak je uvedeno v rovnici (1). Faktor tvaru nabývá teoreticky hodnot od 0 do π , avšak v reálu je jeho rozpětí mnohem nižší a nepřekračuje hodnotu 0.5.

$$SF = \frac{A}{l_h^2} \quad (1)$$

Faktor tvaru je zpravidla uvažován jako jedna hodnota pro dané povodí, které je definováno uzávěrovým profilem. V důsledku takového přístupu jsou však ignorovány poměry uvnitř povodí, protože faktor tvaru se vztahuje skutečně pouze k uzávěrovému profilu. To je dáno skutečností, že je mnohdy používán pro odhad odtoku z celého povodí. Pro potřeby prezentované metodiky je tento parametr analyzován podrobněji, a to pro buňky s hodnotou akumulace odtoku v určitém rozmezí. Pro samotný výpočet jsou na základě analýzy digitálního modelu terénu odvozovány vrstvy směrů odtoku, akumulace odtoku a maximální odtokové dráhy. Faktor tvaru je v rámci významných buněk vypočten pomocí nástrojů mapové algebry a následně jsou počítány hodnoty průměrné pro jednotlivá povodí IV. řádu, na jejichž základě je prováděno zařazení do kategorií. Analýza distribuovaného podrobného přístupu ke stanovení tohoto parametru ve srovnání s uvažováním uceleným je obsahem druhé části tohoto příspěvku.

Využití území. Druhy využití území v rámci povodí jsou ve vztahu k přímému odtoku důležité především z několika hledisek. Prvním z nich je různá drsnost povrchu vzhledem k povrchovému proudění, jehož rychlost je právě drsností významně ovlivněna, což má zásadní vliv na tvar výsledného hydrogramu. Další důležitou skutečností je různá míra povrchové retence pro jednotlivé druhy využití území, jelikož voda zadržovaná v depresích a mikrodepresích se buď nepodílí na přímém odtoku, nebo se na něm podílí jen omezeně. Posledním významným hlediskem je ovlivnění infiltračního procesu druhem využití území, byť tento proces je závislý především na půdních podmínkách. Ty jsou v rámci této metodiky řešeny samostatně a jejich vliv byl proto eliminován. Pro potřeby posouzení vlivu využití území na odtokový proces byl v rámci prezentované metodiky využit parametr CN zavedený metodikou SCS-CN [2]. Jelikož je parametr CN založen na druhu využití území a půdních podmínkách, jsou v rámci metodiky pro vyloučení vlivu těchto podmínek využity hodnoty pro hydrologickou skupinu půd B vždy pro celé území. Využití území je pro potřeby metodiky kategorizováno na základě průměrné hodnoty parametru pro jednotlivá povodí, přičemž prostorové rozdělení druhů využití území je definováno na základě vrstev polohopisu databáze ZABAGED® [1].

Půdní poměry. Pro posouzení infiltračních poměrů v území pracuje metodika s hodnotami nasycené hydraulické vodivosti K_s . Ty jsou prostorově distribuovány na základě digitálních vrstev bonitačních půdně-ekologických jednotek (BPEJ) a komplexního průzkumu půd (KPP). Vzhledem k vyšší přesnosti a podrobnosti jsou upřednostňována data BPEJ, data KPP jsou využita pouze pro plochy bez informace o půdách v rámci vrstev BPEJ. Povodí jsou z hlediska půdních poměrů kategorizována na základě průměrných hodnot K_s , přičemž z hlediska povodňových rizik jsou za ohroženější považována povodí s nižšími hodnotami K_s .

2.2 Zranitelnost urbanizovaných území

Zranitelností urbanizovaných území se pro potřeby prezentované metodiky rozumí koncentrace potenciálně ohrožených objektů v záplavových územích. Tento aspekt není možno na rozdíl od ohroženosti klasifikovat na základě izolovaně vyhodnocovaných faktorů. Proto je zranitelnost vyhodnocována jednotně na základě menšího množství vstupů, než je tomu v případě ohroženosti. Konkrétně je zranitelnost kategorizována na základě koncentrace budov v záplavových územích stanovených pomocí analýzy DMT.

Jelikož záplavové zóny řešené ve formě studií pro povodně s různou dobou opakování nejsou pro malé toky uceleně zpracované, není možno takováto data použít je jako vstupu, byť by to z hlediska přesnosti bylo vhodné. Z toho důvodu bylo pro potřeby metodiky nutno stanovit alternativní postup. Ten spočívá v definování potenciálních záplavových zón odvozených výhradně na základě analýzy digitálního modelu terénu. Je zřejmé, že takovýto přístup nemůže poskytnout výsledky srovnatelné geodetickým zaměřením toků doplněným hydraulickými výpočty. Vzhledem ke skutečnosti, že metodika je zaměřena na posuzování rozsáhlých územních celků, však je nutno, aby posouzení bylo prováděno na základě postupů a metod realizovatelných s obecně dostupnými daty pokrývajícími takováto území beze zbytku. Takovýto zjednodušený postup stanovení potenciálních záplavových území byl pro potřeby metodiky vyvinut. Postup vychází z odtokové analýzy DMT a stanovuje záplavové zóny na základě plochy akumulace k jednotlivým buňkám. Potenciální záplavové zóny jsou pak definovány jako pásy různé šířky pro buňky s plochou akumulace od 20 ha do 30 km². Šířka je stanovena lineárně v závislosti na ploše akumulace od 40 do 120 m.

Samotné hodnocení zranitelnosti urbanizovaných území je prováděno na základě průměrné koncentrace budov v záplavových zónách stanovených výše uvedeným postupem. V principu probíhá tak, že vrstva budov z databáze ZABAGED[®] [1] je oříznuta maskou potenciálních záplavových území a následně je metodou prostorové statistiky počítána koncentrace potenciálně ohrožených budov v daném povodí IV. řádu.

3 Přístupy k hodnocení parametrů

K hodnocení jednotlivých charakteristik území je možno přistupovat několika způsoby. Při hodnocení velkých územních celků je v mnoha případech používáno postupů prostorové analýzy založené na průměrování hodnot daných parametrů pro menší územní jednotky. Tento postup byl vzhledem ke své jednoduché aplikovatelnosti zvolen pro výpočet charakteristik území i v první verzi předkládané metodiky. Již při jeho zavádění si však autoři byli vědomi nepřesnosti, které se tímto přístupem dopouští, a byla zřejmá potřeba v rámci dalšího výzkumu provést zpřesnění implementací podrobnějších metod. Ty spočívají v zavedení distribuovaného přístupu, který byl v první verzi aplikován pouze omezeně.

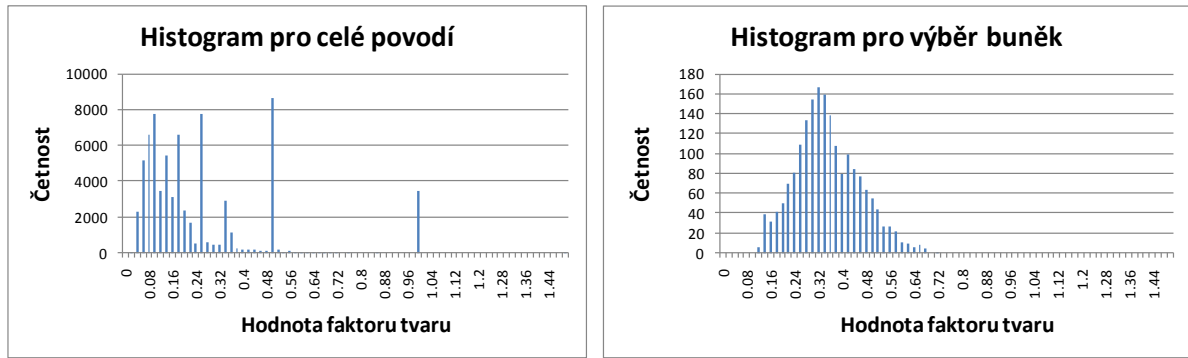
V této části příspěvku bude prezentováno srovnání distribuovaného a uceleného přístupu pro hodnocení tvaru povodí, který je jedním z hlavních faktorů majícím vliv na proces odtoku vody z povodí. K popisu rozdílů bylo použito povodí Nučického potoka (ČHP 1-09-03-102).

3.1 Ucelený přístup

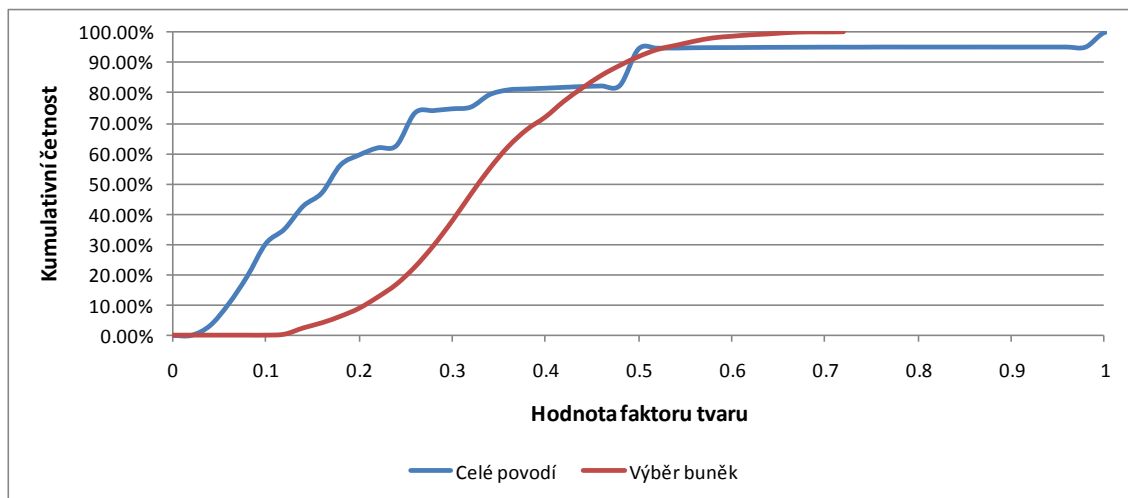
Jak již bylo uvedeno výše, je charakteristika plochy v rámci uceleného přístupu kalkulována jako jedna reprezentativní hodnota. V případě faktoru tvaru se jedná o vlastnost celého povodí výhradně k uzávěrovému profilu bez ohledu na poměry uvnitř povodí. V případě posuzování povodňové ohroženosti může být pracováno s parametrem, který se vůbec nemusí vztahovat k ohroženým lokalitám, a jeho využití může tedy k zásadnímu zkreslení výsledků, a tím i podhodnocení nebo nadhodnocení celkové ohroženosti. V případě povodí Nučického potoka s rozlohou 31.937 km² a maximální odtokovou drahou 11.586 km činí hodnota faktoru tvaru 0.238.

3.2 Distribuovaný přístup

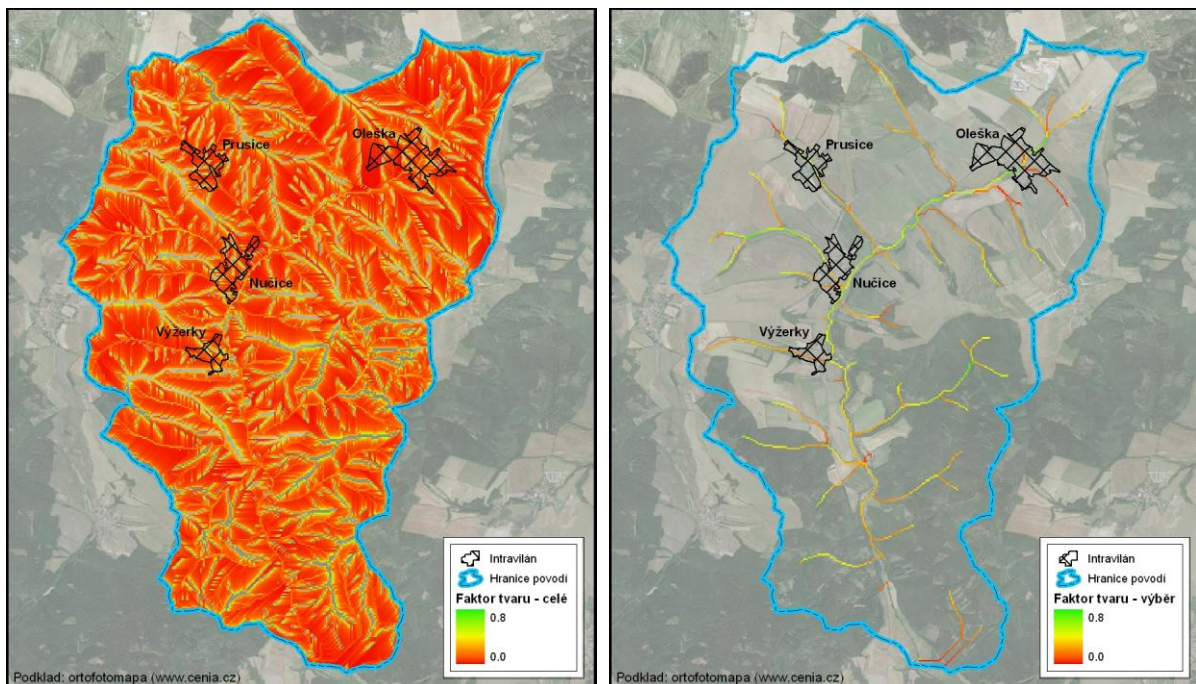
Obecný princip distribuovaného přístupu spočívá v podrobnější analýze území z hlediska různých charakteristik. Konkrétně se v případě srážko-odtokových vztahů jedná o analýzy povodí. S využitím nástrojů pro hydrologické analýzy, jež jsou dostupné v prostředí ArcGIS, je možno provádět výpočet hodnoty faktoru tvaru pro každou buňku výpočetního rastru, jelikož je možno na základě analýzy DMT vypočítat postupně vrstvu směrů odtoku, akumulace odtoku a délky odtokové dráhy. Hodnocení faktoru na základě hodnot v rámci celé plochy povodí však není příliš vhodné, a to z toho důvodu, že buňky s velmi malou plochou akumulace vykazují velmi často extrémní hodnoty blízké dolní hranici intervalu $<0; \pi>$, což nejsou hodnoty, které by se u přirozených povodí běžně vyskytovaly. Rozdíl mezi výpočtem pro celé povodí a výpočtem pouze pro buňky se stanoveným rozmezím akumulace odtoku je patrný z Obr. 1, Obr. 2 a Obr. 3. Dalším důvodem, proč není vhodné při výpočtu reprezentativní hodnoty faktoru tvaru použít výpočet pro celou plochu povodí, je skutečnost, že odtok z velmi malých ploch není z hlediska posuzování povodňové ohroženosti relevantní.



Obr. 1. Srovnání histogramů četností pro výpočet faktoru tvaru pro celou plochu povodí a pouze pro buňky se stanoveným rozmezím akumulace odtoku.



Obr. 2. Srovnání kumulativních četností pro výpočet faktoru tvaru pro celou plochu povodí a pouze pro buňky se stanoveným rozmezím akumulace odtoku.



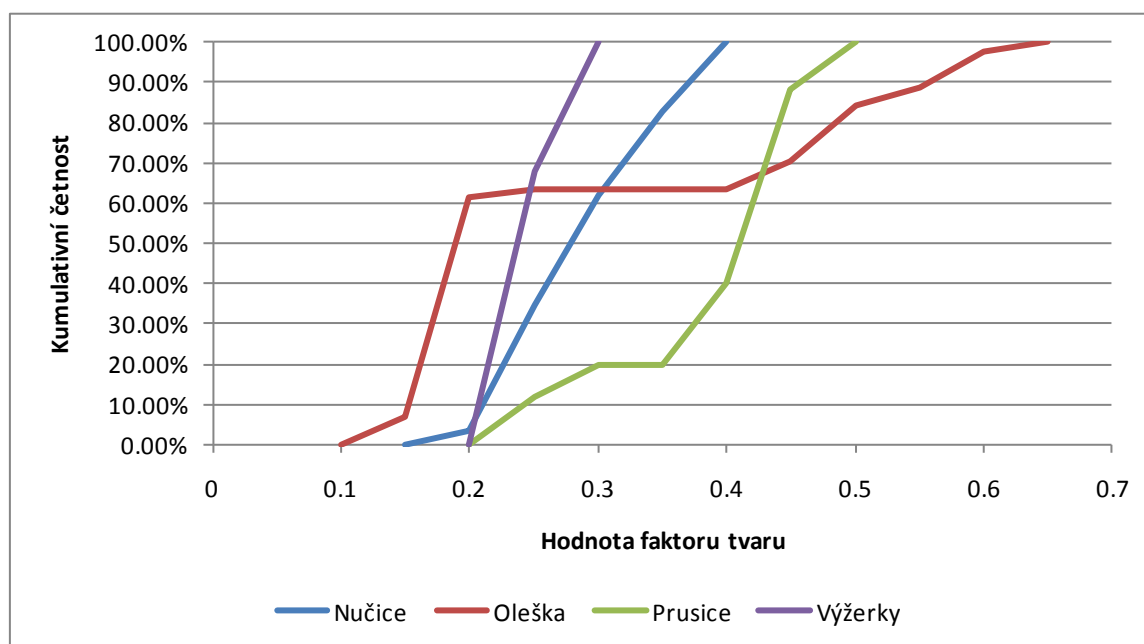
Obr. 3. Srovnání hodnot faktoru tvaru pro celou plochu povodí a pouze pro buňky se stanoveným rozmezím akumulace odtoku.

Vzhledem ke skutečnosti, že jednotlivá povodí IV. řádu je třeba kategorizovat na základě jedné hodnoty, byla pro potřeby metodiky zvolena možnost průměrování hodnot faktoru tvaru z výpočtu pouze pro vybrané buňky se stanoveným rozmezím akumulace odtoku. Pro povodí Nučického potoka tato hodnota činí 0.34. V případě použití hodnoty průměru pro buňky v rámci celého povodí by hodnota činila 0.24.

Je zřejmé, že i zvolený postup má své nedostatky. To je dáno především tím, že uvažuje všechny hodnoty faktoru tvaru bez ohledu na to, zda se jedná o lokalitu, kde by eventuelní povodeň mohla způsobit nějaké škody, nebo o lokalitu, kde nadměrný průtok žádné škody způsobit nemůže. Za účelem dalšího zpřesnění by tak bylo nutno provádět posouzení hodnoty faktoru tvaru pouze pro území intravilánů či pro území zahmující objekty, které by mohly být účinky nadměrných průtoků poškozeny. Pro povodí Nučického potoka byl proto proveden rozbor hodnot faktoru tvaru pro jednotlivá území intravilánu obcí. V povodí se nachází celkem čtyři obce, ve kterých se nachází plochy s akumulací odtoku v intervalu $<20 \text{ ha}; 30 \text{ km}^2>$. Jedná se o Výžerky, Nučice, Oleška a Prusice. Pro každou z těchto obcí byla provedena statistická analýza hodnot faktoru tvaru pro buňky s akumulací odtoku v uvedeném intervalu. Hodnoty jednotlivých statistických veličin stanovených pro jednotlivé obce jsou uvedeny v Tabulce 1., průběhy kumulativních četností hodnot faktoru tvaru jsou patrné z Obr. 4.

Tabulka 1. Statistiky faktoru tvaru pro jednotlivé obce v povodí Nučického potoka.

Veličina	Nučice	Oleška	Prusice	Výžerky	Celkem
Průměr	0.283	0.293	0.385	0.237	0.298
Směrodatná odchylka	0.055	0.166	0.074	0.023	0.119
Variační koeficient	0.196	0.566	0.191	0.096	0.399
Medián	0.283	0.182	0.418	0.236	0.258

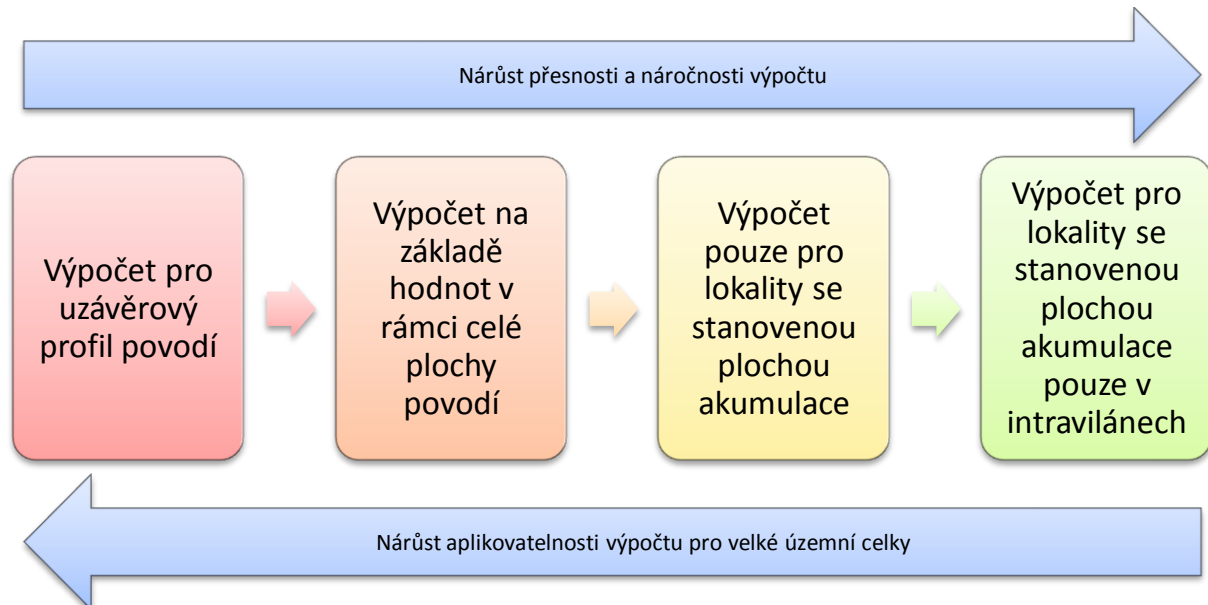


Obr. 4. Průběh kumulativních četností faktoru tvaru pro jednotlivé obce v povodí Nučického potoka.

Z uvedených statistik vyplývá, že hodnoty faktoru tvaru se poměrně významně liší jak mezi jednotlivými obcemi, tak i v rámci intravilánu některých obcí. Rozdíly v průměru mezi jednotlivými obcemi o hodnotě do 0.15 jsou sice v rámci teoretické intervalu hodnot faktoru tvaru $<0; \pi >$ poměrně nízké, na druhou stranu je však nutno zdůraznit skutečnost, že ve skutečnosti se pohybuje v mnohem užším rozpětí, jak vyplývá mimo jiné z grafů uvedených na Obr. 1. O rozložení hodnot v rámci intravilánů jednotlivých obcí vypovídá hodnota směrodatné odchylky a variačního koeficientu. Největší rozptýlení hodnot je patrné zejména v obci Oleška, kde se dílčí hodnoty faktoru tvaru pohybují v rozmezí 0.137 až 0.602.

3.3 Shrnutí

Z uvedených výsledků vyplývá, že úroveň podrobnosti a přesnosti, s níž je možno stanovovat reprezentativní hodnotu faktoru tvaru existuje hned několik. S narůstající přesností pochopitelně narůstá též náročnost výpočtu a jeho proveditelnost v rámci velkých územních celků, což je nutnost vyplývající ze zaměření metodiky pro posuzování potenciálních rizik spojených s přívalovými dešti v malých povodích. Z toho důvodu se bude možnost využití výpočtu pouze pro lokality v intravilánech dále testovat především z hlediska aplikovatelnosti právě pro velké územní celky.



Obr. 5. Vztah mezi náročností výpočtu a jeho aplikovatelností v rámci velkých územních celků.

4 Závěr

Představená metodika poskytovala již ve své první verzi relevantní výsledky, jak bylo ověřeno pro celkem deset povodí v rámci Středočeského kraje, na němž byla provedena testovací aplikace. V rámci ověřování výsledků byla posuzována klasifikace celkem deseti povodí, v nichž se prokazatelně často vyskytují povodně spojené s přívalovými dešti. Analýza dalších přístupů ke stanovení jednotlivých uvažovaných charakteristik je součástí snahy o další zpřesnění metodiky. Z porovnání jednotlivých přístupů prezentovaného v tomto příspěvku vyplývá, že v případě faktoru tvaru by bylo chybné používat ucelený přístup. Stejný předpoklad platí i pro ostatní parametry, pro které bude distribuované hodnocení zkoumáno a testováno v rámci dalších výzkumů. U těch bohužel nebylo možno distribuovaný přístup v rámci první verze metodiky uplatnit vzhledem k technickým podmínkám a náročnosti takového výpočtu.

Poděkování

Příspěvek byl vytvořen v rámci projektu COST OC189 – „Povodňová rizika a jejich prevence v malých a středních povodích“. Použité metodické postupy v prostředí GIS a analýzy využití GIS nástrojů potřebné pro výpočet byly odvozeny za pomoci výzkumného záměru VZ 684077000002 – „Revitalizace vodního systému krajiny a měst zatíženého významnými antropogenními změnami“.

Reference

1. Český úřad zeměměřický a katastrální. <http://geoportal.cuzk.cz/>, Geoportál ČÚZK.
2. Mishra, S. K., Sing, V. P. *Soil conservation service curve number (SCS-CN) methodology*. Kluwer Academic Publishers, 2003, Dordrecht. ISBN 1-4020-1132-6.
3. Šamaj, F., Valovič, Š., Brázdil, R. Denné úhmy zrážok s mimoriadnou výdatnosťou v ČSSR v období 1901 - 1980. *Zbomík prác Slovenského hydrometeorologického ústavu, zväzok 24*. Alfa, Vydavateľstvo technickej a ekonomickej literatúry, Bratislava 1985. ISBN.