



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební, Thákurova 7, 166 29 Praha 6

Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství

Studie odtokových poměrů na území Středočeského kraje

Mapa zdrojových ploch povrchového odtoku

Zadavatel: Středočeský kraj, Zborovská 11, Praha 5

Řešitelský kolektiv:

Doc.Ing. Karel VRÁNA, CSc.

Ing.Dr. Tomáš DOSTÁL

Ing. Václav DAVID

Ing. Josef KRÁSA

Praha, 2003

1. Úvod a cíl projektu

Projekt Studie odtokových poměrů Středočeského kraje byla zpracována týmem Katedry hydromeliorací a krajinného inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze na základě objednávky krajského úřadu Středočeského kraje v roce 2003.

Zadání projektu bylo iniciováno současným ne zcela uspokojivým stavem při řešení povodňových problémů a cílení preventivních opatření do nebezpečných povodí. Nebezpečnost jednotlivých povodí je v současné době klasifikována především na základě negativní zkušenosti z povodňových situací na různých místech. Za povodňově riziková jsou proto považována povodí (jejich části), kde existují v době, zachycené lidskou pamětí (cca do 20 let) výrazné negativní zkušenosti z povodňových událostí. Existuje však řada povodí, která jsou stejně nebo pravděpodobně ještě i více nebezpečná než ta, kde k povodňovým situacím došlo, ale nebyla dosud zasažena dostatečně silnou příčinnou srážkou, proto se zde dosud povodeň nevyskytla. Tyto lokality často zcela unikají pozornosti, případně není dostatek argumentů na prosazení preventivních opatření.

Dalším problematickým bodem je vlastní pohled na povodně. Povodeň je velmi často vnímána jako jev v dané lokalitě a méně pak v souvislostech časových i prostorových, tj. že pro danou lokalitu to často je následek události, která proběhla na zcela jiném místě. Je třeba si uvědomit, že povodeň v určité lokalitě vzniká a škody působí velmi často až ve zcela jiném místě. Pokud je cílem projektu ochrana určitého sídla nebo objektu, pak je třeba opatření směřovat právě do lokality tohoto sídla. Pokud je však cílem opatření prevence, tedy nikoliv řešení následku, ale příčiny jevu, je třeba hledat lokalitu (povodí či jeho část), kde povodeň vzniká. Pokud budou tyto lokality (dílní povodí) nalezeny a definovány, je to nejefektivnější způsob cílené prevence vzniku povodňových situací. Na tomto místě je třeba připomenout skutečnost, že vznik povrchového odtoku lze účinně ovlivňovat například organizačními opatřeními (land-use, apod.) do velikosti srážky (a tedy i povodně) s dobou opakování cca 20 let. U srážkových epizod s delší dobou opakování pak zůstává prakticky jediným možným ochranným opatřením budování technických prvků (nádrže, poldry, hráze) nebo naopak uvolnění prostoru pro průchod povodňových průtoků.

Zadáním Studie proto bylo zpracování mapy odtokových poměrů v úrovni povodí IV. řádu na území Středočeského kraje a klasifikace těchto povodí z hlediska jejich nebezpečnosti, co se týče produkce povrchového odtoku. Tento materiál by měl sloužit k porovnávání jednotlivých lokalit, povodí nebo jejich částí při plánování a realizaci preventivních protipovodňových opatření v území Středočeského kraje. Vzhledem k tomu, že úloha je vysoce nestandardní a zpracovatelům není známo, že by se tímto přístupem dosud jiné pracoviště zabývalo, měl řešený projekt v sobě zahrnutou i složku vývojovou – zadáním bylo testovat pro sestavení klasifikace povodí z hlediska jejich nebezpečnosti alespoň tři hydrologické metody, porovnat je a doporučit nejvhodnější z nich pro další vyhodnocení a případné využití v širším měřítku.

Hned v úvodu však je třeba zmínit i omezení prezentovaného přístupu, která vyplývají již ze zadání úlohy. Jedná se jednak o to, že v současné úrovni poznání a v daném měřítku lze

zpracovávat dosud jen jednotlivá oddělená povodí. Výstupem je proto mapa kategorizace jednotlivých povodí z hlediska jejich produkce povrchového odtoku, nikoliv pak sčítání, transformace a posun odtoků hydrologickou sítí povodí. Dalším negativem je, že projekt byl zadán Krajským úřadem a tedy s působností oblasti Středočeského kraje. Hranice kraje samozřejmě nijak nekorespondují s rozvodnicemi a bylo by tudíž zcela mylné očekávat přímou aplikovatelnost výsledků tohoto projektu například na povodeň z roku 2002, která měla svůj původ převážně ve zcela jiných částech republiky a navíc její katastrofální důsledky v Praze byly způsobeny právě načítáním odtoků z výše ležících částí povodí.

I přes uvedená omezení se podle našeho názoru jedná o mimořádně užitečný materiál, který může výrazným způsobem napomoci při rozhodovacích procesech v oblasti protipovodňové prevence.

1.1 Metodika řešení

Návrh metodiky řešení, včetně popisu mechanismu erozních a transportních procesů, byl odvozen v rámci grantového projektu GAČR (grant GAČR č.103/96/1710 Transportní procesy v systému povodí – nádrž, grant GAČR č. 103/99/1470 Extrémní hydrologické jevy v povodí) a publikován mimo jiné v monografii, která byla výstupem z tohoto projektu (Patera, A. a kol., 2002: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina) i při dalších příležitostech. Prezentovaná metodika celkově zapadá do tzv. „Strukturovaného přístupu k modelování jevů v krajině“, který lze velmi stručně shrnout tak, že vždy by mělo být postupováno od širšího k užšímu, od generelu k detailu. Nejdříve je třeba definovat v širším měřítku problémové oblasti a zde pak soustředit detailní podrobné nástroje pro posouzení a navrhování ochranných opatření. Právě podrobnosti zvoleného měřítka a požadovaných výstupů by měl odpovídat výběr použitých nástrojů a vstupních dat a řešitel by měl být schopen odhadnout a zdůvodnit přesnost, kterou je schopen dosáhnout a správným způsobem interpretovat výsledky.

V oblasti tzv. „globálního přístupu“ při posuzování povodňové ohroženosti dosud neexistuje obecně platná a široce používaná metodika. Práce mají do jisté míry výzkumný charakter. Tak je to i v případě této studie, která si za cíl klade nejen specifikovat nejrizikovější oblasti z hlediska tvorby povrchového odtoku na území středočeského kraje, ale současně i otestovat různé metody porovnávání povodí a posoudit jejich praktickou aplikovatelnost.

Vzhledem k tomu, že se jedná o aplikaci metody v úrovni přístupu „globálního“, je cílem nalézt vhodnou metodu, která bude dostatečně spolehlivá, matematicky stabilní a přitom málo náročná na vstupní data. Na straně druhé, vzhledem ke generelnosti zadání, jehož cílem je především vzájemné porovnávání jednotlivých dílčích podpovodí nebo jejich částí z hlediska produkce povrchového odtoku, není kladen důraz na získání absolutních hodnot výsledků (míněno je, že cílem výpočtu v tomto případě je nalézt nejnebezpečnější části území a nikoliv získat návrhové hodnoty pro dimenzování opatření). Protože ve větších územních celcích bude nezbytné založit výpočty na podpoře nástrojů Geografických informačních systémů, je nezbytné zajistit všechna nezbytná vstupní data hotovými informačními vrstvami, které jsou jednak spolehlivé a jednak dostupné finančně i fyzicky. Terénní průzkum může být využit nejvýše pro kontrolní klasifikaci některých veličin, nikoliv však plošně.

Podle výše uvedených zásad byly pro testování zvoleny následující čtyři přístupy:

- Metoda čísel odtokových křivek (CN-křivek) – objemy odtoku (Pasák a kol., 1983)
- Metoda čísel odtokových křivek (CN-křivek) – kulminační průtoky (Pasák a kol., 1983)
- Metoda odtokového součinitele (proporční metoda) (Tan et al., 2000)
- Metoda poměru odnosu (SDR) (Williams, 1977, in Janeček, 2002)

Všechny uvedené metody byly odvozeny ryze empiricky, a to pro stanovení charakteristik povrchového odtoku z malých až malých středních povodí, resp. pro určení podílu splavenin, který je povrchovým odtokem z povodí transportován. Žádná z metod tedy nebyla vytvořena pro automatizovaný výpočet v rastrové síti za podpory GIS. Na druhé straně se však jedná o metody, které jsou velmi jednoduché, přímočaré a průhledné. Jako takové splňují (podle názoru řešitelského kolektivu) velmi dobře požadavek na spolehlivé relativní výsledky.

Podrobný popis jednotlivých metod včetně zdrojů dat a postupů práce je náplní dalších kapitol, proto zde pouze stručně:

Mapy klasifikace území z hlediska produkce povrchového odtoku byly zpracovány s využitím výše uvedených metod v kombinaci s nástroji GIS. Do řešení byly zahrnuty všechny složky území, ze vstupních parametrů pak především reliéf, srážka, půdní podmínky, způsob využití území a velikost dílčích povodí (pokud to umožňovala metoda výpočtu).

Vzhledem k charakteru úlohy, zvoleným výpočetním vztahům a v neposlední řadě i softwarovému vybavení pracoviště řešitele a jeho zkušenostem v tomto směru bylo zvoleno řešení celé úlohy v rastru (diskretizace řešeného území do pravidelných čtvercových elementů, jejichž identifikátory reprezentují hodnotu příslušné veličiny v daném elementu). Výhoda oproti vektorovému zpracování je velmi jednoduché a průhledné kombinování a provádění matematických operací s jednotlivými vrstvami.

1.1.1 Měřítko

Zadavatelem bylo požadováno zpracování klasifikace území z hlediska produkce povrchového odtoku bez specifikace měřítka výstupních map. Vzhledem k tomu, že veškeré práce byly prováděny v rámci GIS a stejně tak jsou prezentovány i výstupy, je měřítko mapy převážně otázkou příslušného zvětšení nebo zmenšení výstupu. Mnohem podstatnější otázkou je přesnost, které bylo dosahováno a do jaké má ještě smysl výstupy zvětšovat. Vstupní data pocházejí původně z mapových podkladů v měřítcích 1 : 5000 (zemědělská půda), 1 : 200000 (ostatní půda), 1 : 25000 (vrstevnicové mapy, mapy lesů a zastavěných ploch). Družicová mapa ČR jako podklad pro tvorbu mapy využití území je v rastru 15 x 15 m.

Podstatně důležitější je volba výpočtového rastru – rozlišení pracovních vrstev. Toto rozhodnutí je vždy kompromisem mezi maximální přesností řešení, danou co nejmenší velikostí elementu (pracuje se s velkými objemy dat a jemnost dělení může být neopodstatněná v případě hrubých vstupních dat) a větší velikostí elementu při menších objemech dat (usnadňuje práci s datovými vrstvami ale může dojít ke značnému zkreslení a

ztrátě informací). Otázka získává na významu při řešení větších oblastí, kde velikosti jednotlivých souborů se pak pohybují v řádech stovek MB.

Na základě zkušeností řešitelského týmu z minulých úloh, zpracovávaných pro větší oblasti (povodí Orlice nebo celé území ČR) se ukazuje, že rozhodujícím pro volbu velikosti rastru je zpravidla digitální model terénu. Sklony terénu většinou hrají ve všech vztazích velmi podstatnou roli a jejich odvození je proto potřeba věnovat náležitou pozornost. Přijatelná velikost rastru z hlediska vytvoření kvalitního DMT pro daný účel je na základě testování a analýz ještě 50 x 50 m. Na druhou stranu, rozlišení pod 15 x 15 m již prakticky nemá reálné opodstatnění vzhledem k zdrojové vrstevnicové mapě v měřítku 1 : 25000.

Podstatným argumentem pro volbu výpočetního rastru se nakonec stal podklad pro vytvoření mapy využití území (Land-use) – Družicová mapa ČR, která byla jako jediný z podkladů v rastrové podobě. Při převzorkování rastrových vrstev do jiného rastru nebo do jiné polohy hranic elementu nutně dochází ke ztrátě informace. Proto bylo rozhodnuto celé řešení zpracovávat v rastru s velikostí elementu 30 x 30 m, s tím, že některé operace (zejména vyhodnocení mapy land-use) bylo provedeno v rozlišení 15 x 15 m a následně převedeno na 30 x 30 m při zachování geometrického umístění elementů.

Vrstva srážek byla z technických důvodů vytvořena v síti 450 x 450 m a následně rozdělena do standardně použité sítě 30 x 30 m.

Veškeré vstupy, vlastní výpočet i výstupy jsou referencovány v souřadném systému JTSK.

Rámec řešené plochy byl zvolen z existující Družicové mapy ČR tak, aby počet řádků a sloupců umožňoval jednoduchý převod z rastru 15 x 15 m na 30 x 30 m následovně:

Souřadnice rohových bodů:

	Min.	Max.
X	- 821 907,896	- 661 437,896
Y	- 1 115 178,074	- 983 178,074

Pro rozlišení 15 x 15 m :

- počet sloupců 10 698
- počet řádků 8 800

Pro rozlišení 30 x 30 m :

- počet sloupců 5 349
- počet řádků 4 400

1.2 Vstupní data

V následující kapitole budou popsány jednotlivé vrstvy vstupních dat, využité pro řešení. Celkově byla pro řešení použita celá řada informačních zdrojů, z nichž pouze část (v souladu se smluvními podmínkami) zajistil zadavatel. Další vrstvy (volně využitelné) byly již v držení nebo byly získány řešitelem a vrstva pro klasifikace využití území (Družicová mapa ČR) byla pro potřeby tohoto projektu zakoupena.

Zdroje vstupních dat je možno rozdělit všeobecně na data popisující:

- Využití území
 - Družicová mapa ČR – ArcData s.r.o. (pořízena zpracovatelem v rámci řešení projektu)
 - Databáze CORINE – MŽP ČR (zajištěna zpracovatelem)
 - Vrstvy lesů, některých zemědělských kultur a zastavěných území - DMÚ 25 (poskytnuty zadavatelem)
- Digitální model terénu
 - Vrstevnicová mapa 1 : 25 000 - DMÚ 25 (poskytnuta zadavatelem)
- Hranice řešeného území
 - Hranice Středočeského kraje - DMÚ 25 (poskytnuta zadavatelem)
 - Hranice bývalých okresů - DMÚ 25 (poskytnuta zadavatelem)
 - Hranice povodí IV. řádu – VÚV TGM Praha (zajištěna zpracovatelem)
- Půdní mapa
 - Mapa BPEJ – VÚMOP Praha (poskytnuta zadavatelem)
 - Mapa KPP – ČZU Praha (pořízena zpracovatelem)
- Další pomocné vrstvy (pro grafickou prezentaci)

S výjimkou Družicové mapy ČR existují a jsou všechny ostatní datové vrstvy pořízeny a distribuovány ve vektorové podobě. Družicová mapa, jako zpracovaný družicový snímek Landsat ETM +, existuje vzhledem ke svému charakteru v rastrové podobě.

V následujících odstavcích jsou jednotlivé vrstvy popsány z hlediska jejich původu, přesnosti, doby pořízení, dostupnosti, ceny, výhod a nedostatků.

1.2.1 DMÚ 25

Databáze DMÚ 25 je vytvořena Vojenským topografickým ústavem v Dobrušce. Jedná se o digitální vektorovou mapovou databázi. Databáze byla vytvořena na podkladě vojenských topografických map v měřítku 1 : 25 000, zachovává jejich polohovou přesnost a klad listů. Jednotlivé mapové listy jsou řazeny v samostatných adresářích spolu s připojenými tabulkami. Celá databáze je rozdělena do dvaceti samostatných vrstev, přičemž každý vektorový objekt je charakterizován svým unikátním identifikátorem. Veškeré další informace o objektech jsou obsaženy v připojených tabulkách.

Mapa je distribuována v souřadných systémech S-42 i JTSK. V případě vrstvy digitálního modelu terénu je pro velká území poměrně náročným úkolem jeho sestavení na

základě velkého množství mapových listů. Hierarchicky uspořádané adresáře jednotlivých mapových listů obsahují totiž stejně pojmenované soubory, jež vyžadují samostatné načítání a následné zpracování. V rámci předchozích projektů řešitelského pracoviště byly nalezeny některé chyby v attributech DMT, tyto problémy jsou zřejmě již v databázi vyřešeny (Dostál a kol., 2001).

Zpracovatel měl od zadavatele k dispozici jednotlivé informační vrstvy vcelku (zadavatel provedl spojení jednotlivých mapových listů pro všechna nutná témata). Požadována a předána byla celá řada informačních vrstev, ne všechny však byly nakonec využity k řešení – některé proto, že se ukázalo, že nejsou nezbytně nutné, jiné proto, že se ukázaly jako jen velmi obtížně použitelné díky svým chybám – resp. nedostatkům daným způsobem jejich získání (viz. poznámky na konci zprávy).

1.2.2 Mapa BPEJ

Mapa BPEJ (bonitovaných půdně ekologických jednotek) byla vytvořena na základě bonitačního pedologického mapování zemědělské půdy v letech 1974 až 1982. Mapa klasifikuje zemědělskou půdu na území bývalého ČSSR pomocí pětimístního kódu. Jeho první číslice udává příslušnost ke klimatickému regionu (0 – 9), druhá a třetí pozice zařazuje do hlavní půdní jednotky klasifikační soustavy (01 – 78), čtvrtá číslice stanovuje stupeň sklonitosti a příslušnou expozici ke světovým stranám (0 – 9) a pátá číslice klasifikuje hloubku půdního profilu a její skeletovitost (0 – 9). V digitální podobě se v některých lokalitách vyskytuje i šestá číslice, která v tom případě vyjadřuje stupeň balvanovitosti nebo označuje výskyt antropogenních půd zařazených do HPJ podle znaků zrnitosti, stupně hydromorfismu apod. Pro označování nezemědělských půd, které nebyly bonitovány je používán pětimístný kód, z něhož však skutečný význam mají pouze poslední dvě pozice (první tři čísla jsou 000) a označují kategorie půdy podle jejího využití (23 – les, 26 – haldy a navážky, 29 – ostatní neplodná půda, 30 – intravilán, 34 – lomy, těžební prostory, 35 – vodní plochy a toky, 70 – vojenské prostory, 99 – nebonitovaná zemědělská půda) (Mašát a kol., 2002).

Původní analogová forma mapy byla vytvořena na podkladě Státní mapy odvozené 1 : 5000. V devadesátých letech 20. století byla tato mapa převedena do vektorových databází v prostředí ArcInfo. Pro potřeby zpracování projektů komplexních pozemkových úprav a oceňování půdy byla propojena s katastrální mapou a v současné době průběžně probíhá její aktualizace, spočívající především v doplňování průzkumu a upřesňování klasifikace.

Informační vrstvy jsou ve správě Výzkumného ústavu meliorací a ochrany půd Praha Zbraslav, který je resortním ústavem Mze ČR. Získání mapy BPEJ nebo jejích částí v digitální podobě od správce dat (VÚMOP Praha) je zpravidla velmi obtížné (bylo tomu tak i v případě této studie, v případě VaV/510/4/98 „Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR“ nebyla i přes opakovanou žádost data poskytnuta vůbec). Ústav odmítá poskytovat mapu s kompletními údaji a k dispozici jsou pouze vrstvy s částečnou informací nebo tzv. „tématické vrstvy“.

Pro zpracování studie odtokových poměrů byla po dlouhých průtazích poskytnuta vektorová vrstva polygonů i informací o HPJ (2. a 3. pozice pětimístního kódu). V místech

nebonitovaných půd pak polygony chyběly nebo byly označeny identifikátorem = 0. Mapu tak nebylo možno využít k doplnění a zpřesnění vrstvy land-use, i když se jednalo o jednoznačně polohopisně nejpodrobnější podklad.

1.2.3 Družicová mapa České Republiky

Družicová mapa ČR byla vytvořena Firmou Arcdata Praha s.r.o. v roce 2002. Podkladem pro tvorbu mapy byly družicové snímky pořízené senzorem ETM+ družice Landsat 7. Mapa byla vytvořena jako mozaika 9 snímků (3 z roku 1999, 6 z roku 2000). Podkladem pro ortogonální překreslení byla Základní mapa 1 : 10 000, střední polohová chyba mapy je uváděna 10 m. Mapa je k dispozici ve dvou variantách – v přirozených barvách s rozlišením 30 m nebo v nepravých barvách (kombinace s panchromatickým snímkem) s výsledným rozlišením 15 m.

Na základě předchozí zkušenosti řešitelského pracoviště s vyhodnocováním kompletních scén pořízených skenerem Landsat ETM+ (Krása, 2002) byla mapa uvažována jako možný podklad pro vyhodnocení mapy využití území. Doporučení firmy Arcdata s.r.o. v tomto ohledu byla pozitivní. Spektrální pásma červené a infračervené oblasti (kombinace pásem 453) jsou i pro vyhodnocení plných snímků základním zdrojem informace o typu a stavu vegetačního pokryvu. Poskytovaná verze mapy v nepravých barvách se skládá z těchto tří pásem (rozlišení 30 m) zkombinovaných s černobílým snímkem dvojnásobného rozlišení (15 m).

Mapa je poskytována jako samostatné rastrové vrstvy v referenčních systémech S-42, nebo JTSK. Pro využití v rámci tohoto projektu byla pořízena mapa v nepravých barvách v systému JTSK.

Při samotném vyhodnocování ovšem nastala řada problémů, z nichž některé byly přímo podmíněny kvalitou poskytované mapy. Několik oblastí Středočeského kraje je na mapě kryto vysokou nebo rozptýlenou oblačností, jednak kombinace každého z původních spektrálních pásem s černobílým snímkem je podle zkušenosti řešitele získané v tomto projektu méně vhodná pro klasifikaci než pásma původní (i přes dosažené vyšší rozlišení v případě protnutí vrstev – viz **Obr.25**). Více v kapitolách 3.1.5 a 7.1.1.

1.2.4 Databáze CORINE Land Cover

Tato databáze vznikla jako výstup z projektu CORINE Land Cover, který byl v České republice řešen v rámci regionálního programu PHARE pro životní prostředí. Podkladem pro její tvorbu byly družicové scény Landsat TM z let 1990-1992. Databáze byla zpracována ruční digitalizací pod koordinací firmy GISAT Praha (v souladu s evropskou metodikou). Nejmenší plošnou mapovanou jednotkou jsou útvary přesahující 25 ha a liniové útvary šířky min 100 m.

Celá nomenklatura databáze CORINE Land Cover je pojata hierarchickým způsobem s třemi podrobnostními úrovněmi povinnými ve všech zemích (dohromady 44 kategorií). Na

území České republiky je v rámci CORINE identifikováno 29 tříd povrchu. Pro řešení problematiky odtoku jsou využitelné pouze některé z nich.

Tato databáze je snadno aplikovatelná, problémem je její značná generalizace a nedostatečně specifická definice některých tříd (např. 2.4.2. Směsice polí luk a trvalých plodin, 2.4.3. Zemědělské oblasti s přirozenou vegetací apod.). Žádné podrobnosti povrchu nejsou v souladu s metodikou v databázi zahrnuty.

1.2.5 Hranice Středočeského kraje

Informační vrstvy tvoří hranice Středočeského kraje a hranice nižších správních jednotek (bývalých okresů Praha – město, Praha – Západ, Praha – Východ, Rakovník, Kladno, Beroun, Příbram, Benešov, Mělník, Mladá Boleslav, Kolín, Kutná Hora a Nymburk).

Dodané a použité hranice pocházely ze souboru DMÚ 25 na podkladě vojenských map 1 : 25 000. Obě datové vrstvy byly pak získány zpracovatelem manuální editací dodané vrstvy, která obsahovala polygony zmíněných okresů, dohromady tvořících Středočeský kraj, dále linie částí hranic sousedních navazujících okresů a to vše protnuté čarami, tvořícími hranice mapových listů mapy 1 : 25 000.

Výsledná plocha Středočeského kraje získaná převodem popsané vektorové mapy do rastru 30 x 30 m činí 11 511,576 km².

1.2.6 Hranice povodí IV.řádu

Vrstva hranice povodí IV. řádu byla využita z volně dostupné databáze Výzkumného ústavu vodohospodářského TGM v Praze. Mapa byla pořízena digitalizací hranic povodí IV. řádu ze základní vodohospodářské mapy 1 : 50 000 a pokrývá téměř celé území ČR (s výjimkou malých ploch u hranic republiky).

Hranice povodí byly stanoveny na podkladě Mapy ČR v měřítku 1 : 50 000 a povodí mají obecně výměry od cca 5 do cca 20 km². Výjimečně se vyskytují i povodí větší a naopak zejména v lokalitách soutoků, převodů vody a podobně nejednoznačných místech se vyskytují dílčí povodí o ploše i méně než 1,0 km².

Jednotlivá dílčí povodí jsou označena osmimístným kódem typu 1-23-24-678, kde jednotlivé skupiny číslic označují tzv. číslo hydrologického pořadí podle řádů povodí I. – IV. Číslování je unikátní.

V digitální podobě je každé povodí označeno identifikátorem o 9 pozicích, protože některá povodí IV. řádu jsou ještě doplňkově rozdělena na části 1 a 2 (např. 1-23-24-678/1).

Informační vrstva je v databázi VÚV TGM rozdělena podle povodí hlavních řek (Labe, Vltava, Berounka, Ohře, Odra, Morava). Jednotlivá povodí byla zřejmě zpracovávána odděleně a v oblasti Čech pak povodí I. řádu nebyla vzájemně slícována. Mezi jednotlivými hraničními povodími tak vznikají buď překryvy nebo naopak mezery.

Autorské pracoviště, podle našich informací, ukončilo podporu a údržbu této databáze a soustředilo se na práce na vytvoření nové vodohospodářské mapy na podkladě Základní mapy ČR 1 : 10 000 kompatibilní se soubory ZABAGED.

1.3 Výstupy

Výstupem výpočtu budou obecně rastrové mapy popisující jednak nejdůležitější dílčí vstupní vrstvy, které mohou již samy o sobě něco říci o vlastnostech řešeného území z hlediska jeho náchylnosti k produkci povrchového odtoku, jednak rastrové informační vrstvy, popisující výstupy z jednotlivých metod – tedy hodnoty vypočtených koeficientů, objemy odtoku nebo kulminační průtoky pro jednotlivé metody a různé návrhové srážky – a to jednak v hodnotách absolutních (na výstupu z dílčího povodí) a jednak v hodnotách relativních (měrných) – přepočtených na jednotku plochy povodí. Kromě těchto výstupů budou hlavním výsledkem mapy zájmového území s kategorizací jednotlivých dílčích povodí do celkem deseti kategorií podle nebezpečnosti povodí z hlediska produkce povrchového odtoku.

Většina vrstev vstupních parametrů pro výpočet je připravována po jednotlivých elementech a následně agregována do průměrných hodnot na jednotlivá dílčí povodí. V takových případech jsou součástí výstupů obě mapy. Všechny výsledkové vrstvy jsou pak již vztaženy na jednotlivá dílčí povodí – prezentovány jsou proto rastrové výstupní vrstvy hodnot vztažených k povodím. V případě zájmu je možné snadno tyto výstupy konvertovat do vektorových formátů.

Souběžně s řešením v GIS v informačních vrstvách jsou z každé vrstvy podstatné hodnoty extrahovány do databází ve formátu *.MDB (Microsoft Access), případně do souborů *.XLS (Microsoft Excel), kde pak byla prováděna část výpočtů. Výsledky jsou proto předány i v této databázové podobě.

2. Metodika výpočtu

2.1 Cíle, přehled metod

Jak bylo prezentováno výše, cílem práce je kategorizace dílčích povodí IV. řádu z hlediska jejich odpovědi na srážkovou událost (z hlediska produkce povrchového odtoku). Vzhledem k tomu, že řešené území má plochu cca 11 500 km² (čistá plocha území; obdélník opsaný území Středočeského kraje má plochu cca 21 200 km²), je nutno, aby používané metody byly co nejjednodušší, aplikovatelné v prostředí a s využitím nástrojů GIS a aby pro ně existovala dostupná data v rámci celého řešeného území ve standardní podobě, srovnatelné přesnosti a o přijatelném objemu.

Cílem řešení primárně není poskytnout hodnoty charakteristik povrchového odtoku v uzávěrových profilech dílčích povodí, ale vzájemně porovnat jednotlivá povodí vzhledem k jejich odpovědi na příčinnou srážku (náchylnosti k nadměrné produkci povrchového odtoku).

Z uvedeného důvodu není absolutně nezbytné se při hledání metod soustředit pouze na osvědčené hydrologicko-hydraulické postupy, ale v zásadě je možné hledat v široké škále nejrůznějších popisných součinitelů, koeficientů a metod. Hlavním kritériem by měla být jednoduchost, spolehlivost a stabilita výpočtu. Dále pak jeho ověřenost pro podmínky střední Evropy, dostupnost vstupních dat a jako velmi podstatné hledisko – zda metoda zahrnuje dostatek parametrů, aby byly popsány všechny podstatné charakteristiky povodí, mající vliv na produkci povrchového odtoku ze srážky.

2.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN)

Metoda čísel odtokových křivek (CN křivek – Curve Number) byla odvozena v USA Službou pro ochranu půdy (SCS – Soil Conservation Service). Jedná se o poměrně jednoduchou metodu pro stanovení objemu odtoku z přívalové srážky, použitelnou pro povodí o velikosti do cca 10 km². Běžně je však metoda v praxi extrapolována i na povodí mírně větší. Metoda vyžaduje relativně malý počet vstupních údajů, které jsou dobře získatelné a dává podle zkušeností relativně dobré výsledky.

Metoda určuje hodnotu tzv. přímého odtoku. Přímý odtok zahrnuje odtok povrchový a část odtoku hypodermického, jejichž podíly na přímém odtoku jsou dány pomocí čísel odtokových křivek - CN křivek. K hypodermickému odtoku dochází tehdy, kdy voda, která vsákla do půdy, odtéká po málo propustné mělce uložené vrstvě a po určité vzdálenosti opět vyvěrá na povrch. Základní odtok je tvořen vodou, která infiltruje do hlubších vrstev půdního profilu až k hladině podzemní vody a s ní pak odtéká do koryt vodních toků. Základní odtok

zpožďuje odtok vody z přívalových srážek a na tvorbě povodňové vlny se zpravidla nepodílí. Metoda CN křivek tedy ukazuje převažující typ odtoku, čím vyšší číslo CN křivky, tím vyšší podíl povrchového odtoku v přímém odtoku.

Přímý odtok ovlivňují především tyto faktory:

- množství srážek,
- infiltrace vody do půdy,
- vlhkost půdy,
- retence povrchu,
- vegetační kryt,
- podíl propustných a nepropustných ploch v povodí.

Metoda CN-křivek vychází z návrhové srážky, která je vyjádřena formou srážkového úhrnu pro srážku určité periodicity. Předpokladem metody je rovnoměrné zasažení celé řešené plochy (povodí) srážkou stejné intenzity. Příčinná srážka je pak převedena na přímý odtok pomocí čísel CN, která jsou závislá na vlastnostech půdy, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové akumulaci.

Metodu CN-křivek je možno využít pro určení odtokových množství ve zvolených profilech nebo v uzávěrovém profilu povodí, a to pro dimenzování nebo posouzení účinnosti protierozních opatření, propustků, mostků, kritických profilů intravilánu.

2.2.1 Výpočet odtokových množství metodou CN-křivek

Základním vstupním údajem pro výpočet objemu přímého odtoku z malého povodí s použitím metody CN-křivek je N-letý jednodenní srážkový úhrn, zpracovaný Šamajem, Valovičem, Brázdilem pro velký počet srážkoměrných stanic na území Čech a Moravy, a to pro srážky s pravděpodobností opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let. Tyto údaje jsou uvedeny v řadě publikací (např. Janeček a kol., 2002).

Přímý odtok v metodě CN-křivek vychází z předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalového deště se rovná poměru objemu vody zadržené při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Odtok zpravidla začíná až po určité akumulaci srážek, tedy po určité ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace. Povrchová akumulace je v metodě CN-křivek udávána ve výši 20 % potenciální retence půdního povrchu.

Základní vztah pro výpočet přímého odtoku má tvar

$$H_0 = \frac{(H_s - 0,2 \cdot A)^2}{H_s + 0,8 \cdot A}$$

kde H_0 je přímý odtok (mm)
 H_s – úhrn přívalové návrhové srážky (mm)
 A – potenciální retence (mm).

Potenciální retence A je dána vztahem

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{kde CN je průměrné číslo odtokové křivky v řešeném povodí}$$

Objem přímého odtoku udává vztah

$$O_{pH} = 1000 \cdot P \cdot H_0$$

kde O_{ph} je objem přímého odtoku (m^3)
P – plocha povodí (nebo části povodí) (km^2)
 H_0 – přímý odtok (mm).

Čísla odtokových křivek jsou uvedena tabelárně v řadě publikací (např. Janeček, 2002), a to podle tří kritérií:

- půdní vlastnosti, vyjádřené jako hydrologické vlastnosti půd, což v podstatě vyjadřuje minimální rychlost infiltrace srážkové vody do půdy nekryté vegetací po dlouhodobém sycení. Dle tohoto kritéria je možno CN křivky určovat pro 4 hydrologické skupiny půd, značené A, B, C, D. Zařazení půd v povodí do hydrologické skupiny půd je možno provést buď dle kódů bonitačních půdně ekologických jednotek (BPEJ) nebo komplexního průzkumu půd (KPP) půd, nacházejících se v povodí nebo přibližně podle tabulky, která uvádí slovní popis půd pro zařazení do příslušné hydrologické skupiny. Tabulka hydrologických skupin půd dle kódů BPEJ nebo KPP je uvedena v řadě publikací, zabývajících se metodou CN-křivek. Zařazení půd v povodí do hydrologických skupin A až D dle slovního popisu uvádí **Tab.2.1**,
- vlhkost půdy, vyjádřená na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek, respektive tzv. indexu předcházejících srážek (IPS) ve 3 stupních, kde 1.stupeň IPS 1 odpovídá suché půdě, při 3.stupni IPS 3 je voda přesycena vodou. Pro návrhové stavy je možno s dostatečnou přesností používat střední 2.stupeň IPS 2. Změna hodnoty CN křivky v závislosti na indexu předcházejících srážek je uvedena v literatuře formou grafu, pro návrhové hodnoty IPS 2 se odečtená hodnota CN neredukuje,
- využití půdy je uvedeno v materiálech, týkajících se metody CN křivek v tabelární formě, a to pro základní plodiny či běžná využití půdy a u zemědělských plodin je dále možno volit mezi způsobem obdělávání. Dále jsou v tabulce uvedeny další plochy, které se v povodí mohou vyskytnout. Konkrétně jsou tedy v tabulce uvedena tato využití ploch – úhor, širokořádkové plodiny, úzkořádkové plodiny, víceleté pícniny, luštěniny, pastviny, louky, křoviny, sady, lesy, zemědělské dvory, komunikace a nepropustné plochy.

Hodnoty CN křivek se stanoví pro každý typ využití plochy v povodí v závislosti na hydrologické skupině půd. Průměrná hodnota CN křivky pro povodí je určena váženým průměrem, tj. součtem součinitelů hodnot CN křivek pro jednotlivé plochy a jejich výměr,

dělených plochou zkoumaného povodí. Pro účely prognóz není nutno zahrnovat růstové fáze plodin a volit střední hodnoty čísel CN pro každou plodinu.

2.2.2 Výpočet kulminačního průtoku z návrhové srážky

Určení kulminačního průtoku Q_{pH} je poměrně obtížné a hodnota kulminačního průtoku je podle dále uvedené metody citlivá na heterogenitu podmínek zkoumaného povodí. Pro větší výrazně nehomogenní povodí je účelné povodí rozdělit na dílčí podpovodí a určovat kulminační průtok pro tyto menší plochy.

Při výpočtu kulminačního odtoku se v metodě odtokových křivek používá poměru počáteční akumulace k jednodennímu maximálnímu srážkovému úhrnu I_a/H_s (hodnoty tohoto poměru jsou odečítány z nomogramu na základě srážkového úhrnu a hodnoty CN). Pro poměr I_a/H_s se pak na základě doby koncentrace určí opět z nomogramu jednotkový kulminační průtok q_{pH} .

Kulminační průtok se pak stanoví dle vztahu:

$$Q_{pH} = 0.00043 \cdot q_{pH} \cdot P \cdot H_0 \cdot f$$

kde Q_{pH} je kulminační průtok (m^3/s)
 q_{pH} – jednotkový kulminační průtok
 P – plocha povodí (km^2)
 H_0 – výška přímého odtoku (mm)
 f – opravný součinitel pro rybníky a mokřady

Hodnota opravného součinitele f pro nádrže a mokřady v povodí se stanoví na základě plošného zastoupení těchto vodních ploch k ploše povodí hodnotami

- vodní plochy zaujímají 0 % - $f = 1,0$
- vodní plochy zaujímají 0,2 % - $f = 0,97$
- vodní plochy zaujímají 1,0 % - $f = 0,87$
- vodní plochy zaujímají 3,0 % - $f = 0,75$
- vodní plochy zaujímají 5,0 % - $f = 0,72$

Největším problémem je zejména u větších povodí reálný odhad doby koncentrace, což je doba doběhu vody z nejvzdálenějšího bodu povodí do uzávěrového profilu. Doba koncentrace je doporučována stanovit jako součet dob doběhu pro všechny tři formy povrchového odtoku v povodí. Předpokládá se, že voda z povodí stéká z horních částí jako plošný povrchový odtok, přechází v soustředěný odtok o malé hloubce a končí soustředěným odtokem v otevřeném korytě.

Pro plošný povrchový odtok kratší než 100 m lze použít pro výpočet doby doběhu T_{ta} Manningovu kinematickou rovnici:

$$T_{ta} = \frac{0.007 \cdot (n \cdot l / 0.3048)^{0.8}}{\left[\left(H_{s2} / 25.4 \right)^{0.5} \cdot s^{0.4} \right]}$$

kde T_{ta} je doba doběhu plošného povrchového odtoku (h)
 n – Manningův součinitel drsnosti
 l – délka proudění (m)
 H_{s2} – úhrn 24-hodinové srážky s dobou opakování 2 roky (mm)
 s – hydraulický sklon povrchu ($\text{tg } \alpha$)

Tento zjednodušený tvar Manningova kinematického řešení je založen na předpokladu ustáleného proudění v tenké vrstvě, konstantní intenzitě efektivního deště v době trvání 24 hodin a malém vlivu rychlosti infiltrace na dobu doběhu.

Po cca 100 m se plošný povrchový odtok zpravidla mění na soustředěný odtok o malé hloubce. Doba doběhu (T_{tb}) je dána podílem délky proudění a jeho rychlosti:

$$T_{tb} = \frac{l}{3600 \cdot v}$$

kde T_{tb} je doba doběhu povrchového odtoku o malé hloubce (h)
 n – Manningův součinitel drsnosti
 l – délka proudění (m)
 v – průměrná rychlost (m/s)

Průměrnou rychlost je možno odečíst z nomogramů nebo pro sklony povrchu menší než 0.005 je možno užít vztahy založené na řešení Manningovy rovnice pro nezpevněný povrch $n = 0.05$ a hydraulický poloměr $R = 0.12$, pro zpevněný povrch pak $n = 0.025$ a $R = 0.06$.

Pro nezpevněný povrch: $v = 4.918 \cdot s^{0.5}$
 Pro zpevněný povrch: $v = 6.196 \cdot s^{0.5}$

kde v – průměrná rychlost (m/s)
 s – sklon odtokového prvku ($\text{tg } \alpha$).

Otevřená koryta začínají tam, kde lze zaměřit příčný profil nebo kde jsou zakreslena na mapě. Průměrná rychlost proudění se obvykle stanoví pro průtok otevřeným korytem podle rovnice Manninga:

$$v = \frac{l}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}}$$

kde v je průměrná rychlost (m/s)
 s – sklon koryta ($\text{tg } \alpha$)
 R – hydraulický poloměr (m); $R = S/O$
 S – plocha příčného profilu (m^2)

O – omočený obvod (m)

n – Manningův součinitel drsnosti pro průtok otevřeným korytem

Doba doběhu T_{tc} se pak vypočte ze vztahu:

$$T_{tb} = \frac{l}{3600} \cdot v$$

Doby koncentrace povrchového odtoku T_c je potom součtem dob doběhu T_t pro jednotlivé po sobě následující úseky proudění

$$T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc} \quad (h)$$

Výše uvedený postup je sice poslední publikovaný (Janeček a kol., 2002; Janeček, Váška, 2001), nicméně dva z výpočtových faktorů je třeba odečítat z nomogramů bez možnosti matematického vyjádření. Tím je přístup takřka vyloučen pro jednoduchou aplikaci GIS. Ve starší literatuře (Pasák a kol., 1983) pak je uveden zjednodušený postup výpočtu kulminačních průtoků, využívající postupu podle Hrádka (in. Pasák a kol., 1983).

Výpočet kulminačního průtoku metodou CN křivek podle tohoto přístupu vychází z metody bezrozměrného jednotkového hydrogramu a pro výpočet kulminačního průtoku používá vztah

$$q_{pH} = \frac{F * H_0}{5,3 * T_L}$$

kde	q_{pH} je jednotkový kulminační průtok	(m^3/s)
	F – plocha povodí	(km^2)
	H_0 – jednotková výška odtoku	(mm)
	T_L – doba zpoždění	(hod)

Doba zpoždění T_L se pak určuje z nomogramu nebo podle vztahu:

$$T_L = \frac{(3,28 * l)^{0,8} * (0,04 * A + 1)^{0,7}}{1900 * s^{0,5}}$$

kde	l je hydraulická délka povodí (m) (<i>délka po které voda stéká od hydraulicky nejvzdálenějšího části povodí z uzávěrovému profilu</i>)
	s – průměrný sklon v povodí (%)
	A – potenciální retence

2.3 Výpočet kulminačních průtoků pomocí odtokového součinitele (proporční metoda)

Tato metoda byla poprvé uvedena v roce 1889. Přestože je často chápána jako příliš zjednodušující, je stále vhodná k určení kulminačního průtoku pro malá povodí do 80 hektarů, ve kterých se nenacházejí žádné podstatné retenční prostory, a s jistou mírou zjednodušení ji lze použít i na povodí větší.

Základním předpokladem této metody je skutečnost, že míra odtoku z jakékoliv srážky s konstantní intenzitou dosahuje maxima v okamžiku, kdy je dosaženo tzv. doby koncentrace. Za předpokladu konstantní intenzity deště to znamená, že celá plocha povodí k průtoku v uzávěrovém profilu přispívá právě v okamžiku, kdy byla dosažena doba koncentrace. Tento předpoklad ztrácí na důležitosti se zvyšující se plochou povodí. Pro povodí velkých rozměrů může být doba koncentrace natolik velká, že pro ni předpoklad deště s konstantní intenzitou nemůže být splněn, a proto mohou kratší a intenzivnější deště způsobit větší průtoky. Navíc je nutno brát v úvahu, že intenzita se během trvání deště obvykle mění.

Srážka je uvažována jako rovnoměrně rozložená na celou plochu povodí. Ve skutečnosti je intenzita srážky proměnná v prostoru i čase. Předpoklad rovnoměrného rozložení srážky je tak opodstatněná pouze pro malá povodí. Pokud se však plocha zvětšuje, je možné očekávat, že se intenzita bude významně měnit v prostoru i čase.

V této metodě je kulminační průtok určován jako funkce plochy, odtokového součinitele a průměrné intenzity odpovídající době do dosažení doby koncentrace (doby potřebné pro srážkovou vodu k dosažení uzávěrového profilu z nejbližšího bodu povodí). Rovnice je tedy vyjádřena následovně

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

kde	Q je	kulminační průtok	(m ³ /s)
	C -	odtokový součinitel	
	I -	průměrná intenzita deště	(mm/hod)
	A -	plocha povodí k uzávěrovému profilu	(ha)
	360 -	součinitel pro převod jednotek intenzity a plochy na základní jednotky SI	

Intenzita srážky je průměrná rychlost deště vyjádřená úhrnem za časovou jednotku pro danou dobu trvání a vybranou dobu opakování. Doba trvání se uvažuje rovná době koncentrace pro dané povodí.

Určení hodnoty odtokového součinitele (C) je do značné míry nejdůležitějším bodem při výpočtu kulminačního průtoku. V momentě, kdy srážka začíná produkovat odtok, je hodnota součinitele proměnná v závislosti na sklonitosti, druhu využití území, vegetačním krytu, půdním typu a vlhkosti půdy. V původní verzi metody byly hodnoty součinitele tabelovány pro různé druhy využití půdy, různé druhy půd a různé kategorie sklonů. Většinu nejdůležitějších faktorů zahrnuje rovnice pro výpočet odtokového součinitele, kterou lze nahradit původní tabulkou, jež však nevyklučovaly subjektivitu výběru hodnoty. Jejím

nejdůležitějším vstupem je hodnota CN (viz. kap. 2.2). Dále do výpočtu vstupují hodnoty sklonů, parametry příčinné srážky a procento nepropustnosti daného území. Rovnice má následující tvar

$$C = 7,2 \cdot 10^{-7} \cdot CN^3 \cdot T^{0,05} \left[(0,01 \cdot CN)^{0,6} \right]^{-s^{0,2}} \cdot (0,001 \cdot CN^{1,48})^{0,15-3,94 \cdot 10^{-3} \cdot i} \cdot [(p+1)/2]^{0,7}$$

kde C je odtokový součinitel (-)
 CN - číslo odtokové křivky pro dané území (-)
 T - doba opakování příčinné srážky (v letech)
 s - průměrný sklon terénu v daném území (%)
 i - intenzita příčinné srážky (v mm/hod)
 p - procento nepropustnosti území, tj. podíl území, který lze uvažovat jako nepropustný (relativní číslo)

Tato metoda je v rámci komplexního přístupu k vyhodnocení velkého území použitelná a vhodná především díky své jednoduchosti a průhlednosti. Pro dané účely je však třeba hodnoty součinitele odtoku vypočítat pomocí výše uvedené rovnice. To je nutné pro aplikaci při automatickém zpracování dat pomocí prostředků GIS. Nevýhoda tohoto přístupu je nasnadě, při automatickém vyhodnocování není možno využít inženýrského úsudku při posuzování jednotlivých povodí. To je však dáno celkovou koncepcí automatického zpracování velkých ploch, při kterém je nutná generalizace, která je závislá na měřítku zpracování.

2.4 Poměr odnosu (SDR)

Hodnota Poměru odnosu (SDR = Sediment Delivery Ratio) je součinitel, který byl odvozen s cílem jednoduchým způsobem popsat, jakým způsobem dílčí povodí zachycuje půdní částice, uvolněné na zemědělské půdě v povodí před jejich vstupem do vodních toků, resp. před průchodem uzávěrovým profilem povodí. Tento poměr závisí na velikosti povodí a dále na řadě charakteristik, které společně ovlivňují povrchový odtok, který je pro uvolněné půdní částice hlavním transportním médiem. Součinitel nabývá hodnot mezi 0,0 a 1,0 (0 = veškerý sediment je zachycen v povodí, 1,0 = veškerý sediment pokračuje vodním tokem do následujícího povodí). Použitý vztah SDR je výsledkem delšího snažení o odvození takových vztahů na ryze empirickém základě při zahrnutí různých vstupních parametrů. (Williams, 1977) uvádí vztah, odvozený v USA na přelomu 70. a 80. let ve tvaru

$$SDR = 1,366 * 10^{-11} * F^{-0,0998} * RP^{0,3629} * CN^{5,444}$$

kde F - plocha povodí (km²)
 RP - reliéfový poměr (m/km) – (poměr výškového rozdílu mezi nejnižší a průměrnou výškou rozvodnice a největší délky odtokové dráhy v povodí)
 CN - číslo odtokové křivky (průměrná hodnota pro povodí)

Jeho výhodou je relativní jednoduchost a dostupnost vstupních dat. Nevýhodou pak to, že do výpočtu není zahrnut vliv prostorového rozmístění retenčních prvků v povodí. Stejně hodnoty SDR tak dosáhnou povodí, která mají louky a les na rozvodnici a orná půda zasahuje až k vodoteči jako povodí, kde je orná půda na rozvodnici a podél vodoteče je široký pás trvalého travního porostu a lesa. Stejně tak do vztahu není zahrnut vliv prostorové variability srážky.

Sám autor navíc ve své práci upozorňoval, že se jedná o čistě empirický vztah, odvozený na základě korelací z naměřených dat z několika desítek povodí v USA a jiné využití vztahu může být tudíž značně problematické. Řešitelé úkolu však již řadu let tento vztah používají v našich podmínkách, provedli jeho citlivostní analýzu i řadu verifikací a je možno konstatovat, že v běžných případech je aplikace vztahu pro odhad poměru odnosu v našich podmínkách možná.

3. Technické řešení

V této kapitole bude postupně popsána tvorba jednotlivých informačních vrstev, způsob jejich odvození a zpracování, následný vlastní výpočet i způsob prezentace dat. Pro jednotlivé metody pak jsou diskutovány i výsledky a to jak z hlediska přesnosti, tak především spolehlivosti a reprezentativnosti.

3.1 Základní vstupy

3.1.1 Hranice řešeného území (Středočeského kraje)

Informační vrstva byla dodána zadavatelem jako datová vrstva ze souboru DMÚ 25 jako soubory SPRV_LIN.SHP a SPRV_POL.SHP. Jedná se v obou případech o výřez z vrstvy hranic správních území z mapy 1 : 25 000.

Soubor SPRV_LIN.SHP je tvořen liniemi, znázorňujícími hranice bývalých okresů v rámci současného Středočeského kraje i části hranic mimo toto území. Linie nejsou logicky celistvé, ale skládají se z velkého počtu kratších segmentů. Vzhledem k tomu, že se jedná o linie a navíc nespojitě, je vrstva pro další práci nepotřebná a využitelná nejvýše pro grafickou prezentaci.

Soubor SPRV_POL.SHP je tvořen polygony, ohraničujícími území bývalých okresů na území Středočeského kraje. Do těchto polygonů je však promítnut klad listů vojenské mapy 1 : 25 000. Základní polygony proto netvoří ani území bývalých okresů, ale mapové čtverce, či jejich segmenty, tam kde přes čtverec přechází hranice okresu. Tento soubor se stal východiskem pro další editaci s cílem vytvořit informační vrstvu s hranicí zájmového území (**Obr.2**).

Postup práce byl následující:

1. Manuální editací (spojováním polygonů na základě stejného identifikátoru v databázi) byly z vrstvy odstraněny hranice mapových listů.
2. Z vrstvy pak byly odstraněny i hranice jednotlivých bývalých okresů a vznikla vektorová vrstva, popisující hranici Středočeského kraje jako hranici zájmového území.
3. Manuální editací byly z vrstvy hranic bývalých okresů odstraněny všechny okresy, kromě okresu Praha, který leží uprostřed území Středočeského kraje, jeho území však nemuselo být součástí řešení zadané studie.
4. Obě vzniklé vektorové vrstvy ve formátu *.SHP byly konvertovány jako vektorové-polygonové vrstvy do prostředí IDRISI.

3.1.2 Hranice povodí IV. řádu

Vektorová informační vrstva povodí IV. řádu, získaná pro řešení zpracovatelem od VÚV TGM Praha (volně použitelná vrstva), byla pořízena ve VÚV TGM digitalizací hranic povodí ze základní vodohospodářské mapy 1 : 50 000 (ZVH). Jednotlivá povodí byla označena identifikátorem, odpovídajícím číslu hydrologického pořadí (č.h.p.), vyznačenému na ZVM 1 : 50 000, na konci kódu však byla přidána poslední číslice (pro případné odlišení rozdělených povodí). Výsledný kód tak má 9 míst.

Poskytnutá mapa povodí IV. řádu pokrývá až na malé výjimky u hranice ČR celé území ČR a v databázi VÚV je rozdělena podle správních území jednotlivých podniků Povodí – Labe, Vltava, Berounka, Ohře, Odry, Morava. Při pokusu o sloučení těchto souborů do jediné informační vrstvy bylo zjištěno, že jednotlivá povodí s výjimkou Moravy a Odry **nebyla po vytvoření na sebe nalícována** a mezi hranicemi povodí proto jsou v některých místech mezery, jinde se vrstvy překrývají.

Tyto chyby byly odstraněny manuální editací (posunem, případně přidáváním bodů na hranici polygonů hraničních povodí).

Z předchozích prací s tímto podkladem bylo zjištěno, že software IDRISI není schopen bezchybně a spolehlivě pracovat s 9-ti místným identifikátorem povodí ani ve formátu INTEGER, ani ve formátu REAL.

Následný postup zpracování informační vrstvy po její editaci byl následující:

1. Z vrstvy, zahrnující dílčí povodí IV. řádu na celém území ČR byl proveden výřez dílčích povodí spadajících do obdélníku, s rezervou opaného kolem hranice Středočeského kraje.
2. Manuální editací byly dále z vrstvy odstraněna další povodí tak, aby zůstala pouze povodí IV. řádu, zasahující alespoň svou částí na území Středočeského kraje a dále pak povodí v hydrologickém smyslu bezprostředně předcházející povodím na hranici Středočeského kraje, případně povodí, svým tvarem logicky doplňující kompaktní tvar řešeného území.
3. Bylo provedeno přečíslování dílčích povodí z jejich původního 9-ti místného kódu ČHP jejich pořadovým číslem 1 – 1301. Přečíslování proběhlo automaticky v závislosti na pořadí jednotlivých povodí v databázovém souboru, doprovázejícím vektorovou informační vrstvu hranic povodí IV.řádu. Převodní tabulka je přílohou studie (**Tab.3.1**) a ve formátu *.XLS je rovněž součástí výstupní dokumentace.
4. Informační vektorová vrstva byla konvertována do formátu IDRISI v podobě vektorů – polygonů.
5. Vektorová vrstva byla převedena do rastrové podoby na podkladě iniciálních souborů v rozlišení 30 x 30 m, s identifikátorem elementů odpovídajícím jejich příslušnosti k jednotlivým podpovodím.
6. Následně bylo zjištěno, že řešení bude třeba redukovat pouze na území Středočeského kraje (z důvodu nedostatečného přesahu vrstvy digitálního modelu terénu za hranici Středočeského kraje).

7. Rastrová informační vrstva s čísly povodí IV. řádu (náhradními indexy) byla oříznuta rastrovou vrstvou představující hranice kraje – čímž klesl celkový počet povodí nebo jejich částí, zasahujících do řešeného území na 1221. Tato vrstva byla následně používána k extrakci hodnot z jednotlivých výpočtových a výstupních vrstev pro dílčí povodí (**Obr.2**). Převodní tabulka ve formátu *.DOC je součástí zprávy (**Tab.3.1**), v podobě *.XLS je rovněž součástí výstupní dokumentace.

3.1.3 Digitální model terénu

Digitální model terénu (dále jen DMT) je informační vrstva, sestávající z elementů, jejichž identifikátory mají význam nadmořské výšky bodu nebo plochy, jemuž jsou přiřazeny. DMT může existovat buď ve vektorové nebo rastrové podobě. Vzhledem k tomu, že celé řešení probíhalo na vrstvách v rastrové podobě s rozlišením 30 x 30 m, bylo rozhodnuto vytvořit i digitální model terénu v rastrové formě.

Podkladem pro vytvoření DMT byla dána zadavatelem k dispozici vektorová vrstva vrstevnic ze souboru DMÚ 25, představující vrstevnice z mapy 1 : 25 000 v intervalu 5 m, pokrývající spojenými mapovými listy území Středočeského kraje.

Způsobů, jak vytvořit DMT v rastrové podobě je celá řada, v zásadě však je možno rozlišit mezi převodem vrstevnic z vektorové do rastrové podoby a následnou interpolací mezi vzniklými řetězci bodů nebo jednotlivými body a mezi vytvořením DMT přes tzv. TIN (trojúhelníkovou nepravidelnou síť), spočívající v interpolaci mezi body na úsečkách, spojujících jednotlivé body s přiřazenou výškou. Kromě různých postupů pro tvorbu DMT používají různé software i různé algoritmy a matematické postupy interpolace.

Na zpracovatelském pracovišti byly dosud poměrně dobré zkušenosti s tvorbou DMT v prostředí software IDRISI, kde postup práce tvorby DMT z vektorové vrstevnicové mapy je možno shrnout následovně:

1. Vytvoření prázdného rastrového INI souboru, udávajícího rozlišení a velikost řešeného území.
2. Rasterizace vektorových vrstevnic do vytvořeného prázdného rastru.
3. Interpolace mezi řetězci elementů jejichž identifikátor je roven jejich nadmořské výšce.

V případě území Středočeského kraje však bylo zjištěno, že vytvořený DMT v řadě lokalit (vrcholy, sedla, ...) a především pak v rozsáhlých rovinách bez vrstevnic v Polabí generuje nereálné tvary a průběhy terénu.

Z toho důvodu byl pro tvorbu DMT využit modul software EasyPace, pracující obdobným způsobem a jeho výstupem je rovněž rastrový DMT. Procedura je však složitější. Výsledek však rovněž nebyl zcela uspokojivý, a to především opět v rovinách v Polabí, kde výškový rozdíl mezi dvěma vrstevnicemi se nacházel v rozmezí několika buněk s tím, že následné území bylo zcela ploché. V území tak byly generovány jakési stupně. Pokusy o odstranění těchto stupňů nástroji filtrace selhaly, protože vzhledem k jemnému dělení by bylo

nezbytné použít filtr na matici cca 11 x 11 a více, což by mělo velmi nepříjemný dopad na „ohlazení“ celého DMT a výrazné ovlivnění extrémních hodnot (vrcholů i údolí).

Proto bylo přistoupeno k poněkud nestandardní variantě vytvoření rastrového DMT pomocí sítě TIN. TIN síť byla generována automaticky bez preferovaných spojnic mezi body, tvořícími linie vrstevnic. Vzhledem k enormnímu počtu bodů na liniích se jednalo o mimořádnou výpočetní úlohu, zabírající řádově hodiny strojového času, jejímž výstupem byl binární vektorový soubor o velikosti cca 1,3 GB. Tento soubor se však podařilo převést na rastrový DMT, který po ošetření filtrem MEAN na matici 7 x 7 elementů již nevykazoval mimořádné singularity. Celá procedura byla nakonec prováděna v prostředí IDRISI (**Obr.1**).

3.1.4 Půdní mapa

Cílem je vytvoření rastrové půdní mapy, kde jednotlivým elementům budou přiřazeny hodnoty odpovídající kódu hydrologické skupiny půd podle jejich charakteristice v metodice výpočtu objemů odtoků a kulminačních průtoků podle čísel odtokových křivek (CN) (**Tab. 2.1**).

Protože členění všech půd pouze do tří skupin, z nichž navíc dvě okrajové jsou extrémní a velmi málo rozšířené typy a navíc převodní tabulky z kódů BPEJ nejsou tak striktní, bylo rozhodnuto pro potřeby řešené studie členění zjemnit na celkem 13 tříd hydrologických skupin podle schématu v tabulce **Tab.3.2**.

Základním podkladem pro tvorbu půdní mapy (mapy hydrologických skupin půd) byla mapa Bonitovaných půdně ekologických jednotek (BPEJ), zajištěná zadavatelem pro celé území Středočeského kraje od tvůrce mapy VÚMOP Praha. Mapa obsahovala pouze kód hydrologických půdních jednotek (HPJ) a v neklasifikovaných lokalitách nebyl uveden kód způsobu využití území, ale všude 0.

S využitím doporučené převodní tabulky (Janeček a kol., 2002), byla vytvořena vlastní převodní tabulka do třináctistupňového kódu (**Tab.3.3**). I přesto, že v zájmovém území nebyly obsaženy všechny kategorie HPJ v rozsahu 1 – 78, převodní tabulka pokryla celé spektrum.

Postup práce byl pak následující:

1. Konverze datových vrstev z formátu *.SHP do vlastního formátu IDRISI
2. Rastrování mapy HPJ do prázdné rastrové vrstvy požadované geometrie a rozlišení 30 x 30 m
3. Nahrazení pořadových čísel původních polygonů jejich kódem HPJ (viz obrázek **Obr. 3** = mapa HPJ)
4. Nahrazení identifikátorů jednotlivých polygonů HPJ kódem hydrologické skupiny půd dle tabulky **Tab. 3.3**.

Vzniklá mapa HPJ však pokrývala pouze zemědělsky využívané půdy (**Obr.3**). Vzniklá prázdná místa bylo rozhodnuto zaplnit mapou KPP v měřítku 1 : 200 000, která je sice podstatně méně podrobná a přesná, nicméně pokrývá beze zbytku celé území ČR.

Mapa komplexního průzkumu půd (KPP) je vektorová mapa vytvořená na podkladě základní mapy 1 : 200 000, která k identifikačním číslům polygonů v databázi přiřazuje jejich půdní typ (vyjádřený v různých klasifikačních systémech a terminologii), dále pak kód zrnitostního složení a některé další charakteristiky. Pro zařazení do hydrologické skupiny půd je klíčový právě půdní typ, vyjádřený v databázi kódem pod označení DOM_1. Tento kód nabývá hodnot od 1 do 99, přičemž ne všechny kategorie jsou obsazeny. V literatuře (Janeček a kol., 2002) je uvedena orientační konverzní tabulka pro převod půdních subtypů na hydrologickou skupinu půdy. Tabulka je však značně nejednoznačná a i porovnání genetických půdních typů v databázi KPP s přehledem půdních subtypů, uváděným v převodní tabulce není zcela jednoznačné. Zpracovatelé proto požádali experty v oboru hydrologie o doplnění a zpřesnění klasifikace. Výslednou převodní tabulku databázového kódu DOM_1 podle KPP na třináctistupňovou klasifikační stupnici hydrologických půdních tříd uvádí **Tab. 3.4**.

Postup práce byl pak následující:

1. Konverze datových vrstev z formátu *.SHP do vlastního formátu IDRISI
2. Rastrování mapy KPP do prázdné rastrové vrstvy požadované geometrie a rozlišení 30 x 30 m
3. Nahrazení pořadových čísel původních polygonů jejich kódem DOM_1
4. Nahrazení identifikátorů jednotlivých polygonů DOM_1 kódem hydrologické skupiny půd dle **Tab. 3.4**.

V této fázi existovaly dvě půdní mapy v rastrové podobě, popisující klasifikaci půd na území Středočeského kraje do hydrologických skupin. První z nich, na základě map BPEJ je sice výrazně přesnější co do popisu vlastností půd i co do polohopisu, pokrývá však jen zemědělsky využívanou půdu. Druhá mapa, vytvořená na podkladě KPP je podstatně méně přesná co do klasifikace hydrologických tříd půdy i co do polohopisu a je značně generalizovaná, pokrývá však beze zbytku celé zájmové území.

Z důvodu kontroly srovnatelnosti převodních tabulek klasifikace hydrologických skupin půd byl proveden rozdíl obou vrstev. V případě plné shody v klasifikaci by měla výsledná rastrová vrstva mít na všech plochách pokrytých mapou BPEJ hodnoty rovné 0 a na plochách, kde nejsou zemědělské půdy, klasifikované podle BPEJ by měla být hodnota rovna záporné hodnotě kódu podle KPP. Výsledná vrstva toto kritérium nesplnila zcela, lze však konstatovat, že oba klasifikační systémy jsou si velmi blízké, celkově však vycházejí půdy podle klasifikace KPP mírně nepropustnější (spadají do mírně vyšší třídy klasifikace hydrologických skupin půd). Rozdíl však není zásadní a většinou dosahuje jedné, nejvýše dvou tříd třináctistupňové stupnice.

Obě vrstvy proto byly přes sebe položeny pomocí procedury OVERLAY, tak, že vrstva KPP doplnila chybějící plochy v mapě a mapa BPEJ byla zachována a plně respektována všude, kde území pokrývala. (**Obr.3**).

3.1.5 Mapa využití území (Land-use)

3.1.5.1 Výběr vhodného podkladu

Kvalitní mapa využití území je pro řešení srážkoodtokových vztahů zcela zásadním podkladem. Typ povrchu spolu s morfologií terénu nejvíc ovlivňují zejména generování přímého povrchového odtoku. Přípravě kvalitní mapy tak byla již před započítím projektu věnována značná pozornost, protože předchozí zkušenosti řešitele s dostupnými databázemi pro rozsáhlá území nebyly příliš uspokojivé (Dostál a kol., 2001). Na základě testování dat během předchozích výzkumných projektů bylo vytipováno několik dostupných zdrojů mapy využití území:

Vektorové databáze:

- DMÚ25. Vektorová databáze odvozená z vojenských topografických map měřítka 1 : 25 000. Více informací v kapitole 1.2.1.
- CORINE Land Cover. Měřítko 1 : 100 000. Podkladem pro tvorbu databáze byly družicové scény Landsat TM z let 1990-1992. Více v kapitole 1.2.4.
- ZABAGED. Podrobná databáze (podklad 1 : 10 000) zahrnující desítky kategorií mapovaných prvků, pro řešení na velkém území cenově nedostupná. Navíc poskytovaná ve formátu Microstation, přičemž řešitelský tým nemá k dispozici prostředky umožňující převést automaticky data tohoto formátu na soubor uzavřených polygonů s atributem a do rastrového formátu (např. ArcInfo).

Rastrové vrstvy (DPZ):

- Letecké snímky a ortofotomapy. Rozlišení obvykle do 1 metru (často i vyšší). Ideální podklad pro ruční digitalizaci intravilánu, a dalších ploch. Bez terénního průzkumu v řadě případů není jednoznačně rozlišitelná orná půda od TTP. Pro řešení velkých území neefektivní a příliš náročný postup. Vzhledem k zobrazení ve skutečných barvách včetně stínů u snímků v běžném spektru prakticky není možná automatická klasifikace.
- Družicová data s vysokým rozlišením (Ikonos, Spot, QuickBird). Rozlišení do 4 metrů, v případě družice QuickBird již na úrovni leteckých snímků. Oproti leteckým ortofotomapám nabízí ucelenou časovou řadu jednotlivých scén, aktuální informace a některé i širokospektrální rozsah umožňující mnohem lepší identifikaci digitalizovaných ploch. Z ekonomického hlediska dosud nedostupná.
- Landsat TM (resp. ETM+). Zdrojové rozlišení 30 m. Díky šesti využitelným spektrálním pásmům zejména v infračervené oblasti spektra (v případě skeneru Landsat ETM+ navíc panchromatické scény s dvojnásobným rozlišením) lze s úspěchem využít metod automatické klasifikace pro definici ploch s odlišným vegetačním pokryvem. Nelze klasifikovat plochy s plošně proměnlivou odrazivostí – intravilán. Pro velká území je ovšem tento postup pouze omezeně aplikovatelný a kvalita závisí značně na době pořízení snímku, stavu vegetace a kvalitě snímku (stavu atmosféry).
- Družicová mapa ČR, (Arcdata Praha). Rozlišení 15 m. Sestavená na základě několika scén Landsat ETM+ z let 1999 a 2000, určená jako podklad pro další klasifikaci,

podobně jako scény Landsat (TM) (**Obr.5**). Více v kapitole 1.2.3. Praktická použitelnost oproti deklarovaným standardům značně nižší.

Při výběru dat pro tento úkol byla volba jednoznačně omezena na databáze použitelné pro řešení rozsáhlého území. Při mapování plochy řádově 13 000 km² je předem vyloučena ruční digitalizace a podrobná klasifikace jednotlivých pozemků. Pro představu např. databáze DMÚ25 pokrývá území Středočeského kraje desítkami tisíc jednotlivých polygonů krajinných ploch (nemluvě o zástavbě čítající řádově 100 000 polygonů). Výběr se tedy zúžil na možnost přibližné klasifikace Landsat TM, databázi CORINE, Družicovou mapu ČR Arcdata, případně databázi DMÚ 25, která ale nebyla kompletně dostupná.

Pro řešení byla vybrána jako hlavní podklad Družicová mapa ČR z několika důvodů:

- Předchozí zkušenosti řešitelského týmu se snímky Landsat TM byly vyhovující (při předpokladu jisté generalizace pro řešení na velkém území).
- Nebyla k dispozici vhodná jedna konkrétní scéna Landsat ETM+ pokrývající celé řešené území.
- Družicová mapa ČR se skládá z hlavních spektrálních pásem používaných v rámci klasifikace, je zkombinována s panchromatickým snímkem vyššího rozlišení a správně rektifikována.
- Doporučení firmy Arcdata Praha s.r.o., týkající se družicové mapy, hovořily v její prospěch z hlediska použitelnosti pro klasifikaci a kvality. Byly očekávány částečné problémy z důvodu různých ročních období scén využitých pro přípravu mapy, ty ale neměly být zásadního rázu.
- Již při přípravě byl předpoklad využití vektorových databází k doplnění informace nerozlišitelné z dat DPZ.
- Cílem je překonat přesnost databáze CORINE v případě typů povrchu dosažitelných přímou klasifikací (jednak z hlediska polohové přesnosti, jednak z hlediska aktuálnosti). Při vytváření databáze CORINE byla výsledná data silně generalizována krajinná mozaika včetně řady podstatných prvků z výsledné vrstvy zmizela.

3.1.5.2 Postup tvorby mapy

Prvním krokem byla **klasifikace Družicové mapy ČR** s následujícím postupem:

1. Převedení mapy z formátu ESRI do používaných GIS formátů PCI Easy/Pace a IDRISI. Pro celý postup tvorby mapy bylo zachováno rozlišení 15 metrů.
2. Výřez řešeného území a odhad klasifikovatelných typů povrchu. První odhad na základě předchozích zkušeností s Landsat ETM+ a vizuálního hodnocení mapy předpokládal konečné rozlišení dvou kategorií lesa, orné půdy, zatravněných ploch (TTP) a vodních ploch. Při této prohlídce mapy byly nalezeny oblasti rozptýlené oblačnosti a především pak výrazně bílé oblačnosti kompletně překrývající některé oblasti mapy (zhruba 4 km² čisté plochy na ploše území desítek km²), dále hluboké stíny této oblačnosti posouvající odrazivost zasaženého povrchu téměř na úroveň vodních ploch (minimální odrazivost – **Obr.7**). Okamžitě byl kontaktován dodavatel mapy (Arcdata Praha s.r.o.), avšak poskytnuté náhradní výřezy z jiných dostupných scén jednak nebyly shodně georeferencovány s mapou ČR, jednak nepokrývaly

nejkritičtější nalezené oblasti. Tento nedostatek byl řešen náhradními postupy, které budou dále uvedeny.

3. Základní podrobný terénní průzkum s využitím GPS s cílem jednoznačně na mapě identifikovat pozemky s trvalým travním porostem (dále jen TTP). Tento průzkum bohužel ukázal, že TTP naopak nejsou na mapě prakticky identifikovatelné, rozhodně ne jednoznačně, a přes značné úsilí musela být koncepce vyhodnocení TTP z družicové mapy opuštěna. Důvodem je jednak nižší kvalita podkladu, než byla předpokládána, jeho značná různorodost daná vlivem kombinace snímků z několika období (navíc bohužel ne ideálních pro odlišení TTP) a proměnlivá odrazivost v jednotlivých oblastech kraje, dále nižší spektrální rozsah ve srovnání plnou scénou Landsat ETM+. Extrapolovat nejednoznačně odlišené plochy TTP získané průzkumem na celé území kraje (i když průzkum byl prováděn v různých částech Středočeského kraje), znamenalo vnést do dalších výpočtů neodhadnutelnou chybu, proto bylo rozhodnuto doplnit TTP z využitelných vektorových databází.
4. Veškeré další operace byly prováděny v prostředí GIS PCI Easy/Pace. Výběr trénovacích množin pro kategorie – orná půda (původně 14 kategorií); vodní plochy; převážně jehličnatý les; ostatní lesní porosty (nejednoznačně definovatelné listnaté, smíšené a mladé porosty); vysoká oblačnost (rozptýlená oblačnost je nepostižitelná); stíny vysoké oblačnosti.
5. Úprava priority a spektrálního rozsahu trénovacích ploch pomocí zobrazení v příznakovém prostoru, sdružení některých trénovacích množin orné půdy.
6. Řízená klasifikace algoritmem Maximum Likelihood.
7. Následná analýza vyhodnoceného území prokázala nepřesné a překrývající se vyhodnocení některých kategorií orné půdy, smíšených kategorií lesa a stínů vysoké oblačnosti zasahujících výrazně do pásma odrazivosti vodních ploch.
8. Proto byla dále provedena neřízená klasifikace algoritmem Isodata rozdělující území nejprve na 49 a následně na 99 kategorií povrchu s různou spektrální odrazivostí ve všech třech vyhodnocovaných pásmech.
9. Nejprve byla vyzkoušena cesta sdružení některých tříd a následné opětovné řízené klasifikace algoritmem Maximum Likelihood. Nicméně ani 99 kategorií neposkytlo dostatečné rozlišení hranic požadovaných kategorií.
10. Proto na základě dosud vyhodnocených území (neřízené klasifikace) i původní zdrojové mapy byly opět ruční editací připraveny nové trénovací množiny zvolených ploch. Celkem bylo manuálně digitalizováno 979 trénovacích množin s celkovou plochou 390 km².
11. Při vyhodnocování následných výstupů řízené klasifikace (porovnávání vyhodnocených ploch, kvality a prolínání trénovacích množin, atd.) bylo nutno opustit koncept automatického vyhodnocení stínů vysoké oblačnosti, jejich trénovací množiny příliš ovlivňovaly kvalitu vyhodnocení vodních ploch. Samotná vysoká oblačnost byla naštěstí poměrně snadno identifikovatelná a byla tedy vyhodnocena pro další postup jako samostatná třída. Orná půda byla po klasifikaci sdružena veškerá do jedné kategorie, neboť její podkategorie nenesly z důvodu různého období snímaných scén a proměnlivé odrazivosti žádnou specifickou informaci o jednotlivých plodinách.
12. Pro odstranění izolovaných odlišně vyhodnocených pixelů byl zvolen standardní algoritmus filtru MODE na matici 3 x 3 pixely. Jedná se o dostatečně silný nástroj k vyčištění vyhodnocené mapy, který v tomto rozsahu ještě nemanipuluje hranice větších ploch a zachovává jejich zakřivení. Aplikace na matici 5 x 5 a více elementů

odstraní izolované shluky buněk lépe, ale její efekt je již příliš výrazný a dochází k vyrovnání křivosti a posunu hranic vyhodnocených ploch.

13. Pro další operace byla vyhodnocená vrstva převedena do rastrového formátu GIS Idrisi32.

Dále bylo třeba do mapy zahrnout ostatní kategorie povrchu, získané na podkladě dostupných **vektorových databází** (DMÚ25 a CORINE Land Cover). Postup byl následující:

1. V prostředí GIS Arcview 3.2 byly výběrem v databázi lesních ploch z DMÚ25 separovány kategorie: chmelnice; křoviny; louky a pastviny; sady; vinice a lesní školky.
2. Obdobně bylo z vrstvy CORINE podle klasifikačních kódů separováno 17 kategorií povrchu (přírodních i urbanizovaných ploch). Veškeré podrobnosti nabízí tabulka **Tab.3.5**.
3. Veškeré separované vektorové vrstvy byly převedeny do formátu vektoru Idrisi32, každé vrstvě byl (všem polygonům) přiřazen unikátní identifikátor.
4. Stejným způsobem byla zpracována vrstva zástavby z DMÚ25. Výsledné hodnoty identifikátorů jednotlivých kategorií jsou uvedeny rovněž v **Tab.3.5**.
5. Polygony byly převedeny na rastr, a postupně OVERLAY procedurou pokládány na vyhodnocenou družicovou mapu. Přitom byl dodržován postup, že nejprve byly zahrnuty polygony CORINE, a ty následně překryty polygony DMÚ25. To souhlasí s předpokladem mnohem vyšší polohové přesnosti databáze DMÚ25, která upřesňuje výsledek. Zejména je tento postup patrný na příkladu urbanizovaných ploch – ve vrstvě CORINE se jedná o celé plochy obcí, ve vrstvě DMÚ25 pouze o přímo zastavěné plochy. Tak je kombinací obou vrstev lépe charakterizován skutečný typ povrchu v daných lokalitách (**Obr.6**).

Dalším krokem postupu bylo odstranění vyhodnocené **vysoké oblačnosti**. Ta byla dosud v klasifikované vrstvě ponechána, neboť byl oprávněný předpoklad, že část z ní bude překryta použitými vektorovými databázemi.

1. Nejprve byla tedy zbylá oblačnost separována jako samostatná vrstva (po doplnění mapy vektorovými databázemi naštěstí zůstalo pouze 3,89 km² zbylé vyhodnocené oblačnosti).
2. Dále byla tato oblačnost překryta shodným postupem jako při tvorbě mapy – nejprve kompletní vrstvou CORINE a následně dostupnými daty DMÚ25 (tentokrát včetně orné půdy, lesů, aj.).
3. Takto „klasifikovaná“ oblačnost byla vrácena (pomocí OVERLAY) do původní kompletní mapy, která již tedy žádnou oblačnost neobsahuje (**Tab.3.5**), nicméně v místech jejího výskytu je její zejména polohopisná přesnost a podrobnost popisu krajinné mozaiky snížena.

Samostatné úsilí bylo ještě věnováno **vyhodnocení lesních porostů**:

1. Již vyhodnocené lesy byly separovány do samostatné rastrové vrstvy bez ostatních kategorií.

2. Pro tyto samotné lesy byly opět vytvořeny nové trénovací množiny, tentokrát na základě podskupin lesa ve vektorové databázi DMÚ25. Databáze DMÚ25 člení les na dvě protínající se množiny: věk (nízký les, vzrostlý les); typ (jehličnatý, listnatý a smíšený les). Obě jsou v tabulce atributů neúplné, to znamená, že ne všechny polygony lesa jsou zaříděny podle věku a typu. Nicméně pro přiřazení odtokových charakteristik je třeba vybrat si mezi nabízenými možnostmi tu s vyšší pravděpodobností. Proto byly na základě polygonů se známou charakteristikou klasifikovány i ostatní části vyhodnocených lesů podle obou skupin atributů. Problémem byla opět nestejná odrazivost v různých částech snímku (**Obr.8**).
3. Nejprve tedy byla na základě nových trénovacích ploch provedena řízená klasifikace algoritmem Maximum Likelihood do dvou tříd: nízký les, vzrostlý les (**Tab.3.6**).
4. Poté byly stanoveny nové trénovací množiny a veškerý les byl klasifikován do tří nových tříd: jehličnatý les, listnatý les, smíšený les (**Tab.3.6**). Z tabulky je jasně patrné, že každý element lesní půdy je klasifikován podle obou kritérií (věku i typu). Je samozřejmé, že při takovém rozdělení došlo k chybným vyhodnocením některých elementů, protože z družicové mapy prostě nejsou tyto kategorie jednoznačně stanovitelné, a jedná se o aproximaci na základě dostupných informací v DMÚ25. Protože šlo o extrapolaci, je třeba k novým kategoriím přistupovat s určitou tolerancí jejich přesnosti. Nové kategorie lesa dostaly specifické identifikátory v rozsahu 33 až 37 tak, aby je bylo možno snadno přiřadit ke stávající mapě využití území.

Poslední částí postupu bylo vylíšení kategorie **pasek**, která nebyla uvažována v žádném z předchozích kroků. Důvodem byla skutečnost, že paseky nejsou klasifikovány v žádné datové vrstvě DMÚ 25 ani nejsou jako jedna z kategorií databáze CORINE. Přitom však mají nepochybně diametrálně odlišné charakteristiky, týkající se produkce povrchového odtoku než plně zapojený lesní porost. Během klasifikace družicového snímku LANDSAT ETM+ také nebyly rozlišeny vzhledem k odrazivosti velmi podobné orné půdě, a tedy byly v naprosté většině klasifikovány jako orná půda. Hlavním předpokladem použitého postupu byla úvaha, že veškeré plochy orné půdy jsou ohodnoceny bonitou půdy a každé je proto přiřazen kód BPEJ. Pokud se tedy v klasifikované mapě vyskytnou plochy, které jsou klasifikovány jako orná půda a současně pro tyto plochy nebude znám kód BPEJ, je možno tvrdit, že jsou to plochy pasek.

1. Nejprve byly z dosavadní mapy využití území separovány veškeré plochy orné půdy.
2. Dále pak byla vrstva orné půdy protnuta s vrstvou BPEJ. Elementům, které spadaly do kategorie orná půda a zároveň byly klasifikovány kódem BPEJ, dostaly atribut 1, ostatní pixely byly reklasifikovány na hodnotu atributu 0. Tím byla získána mapa „potenciálních“ pasek. Bylo však ještě nutno z těchto ploch oddělit plochy orné půdy navazující na různé meze a podobně, které však z hlediska nedostatečné přesnosti mapy BPEJ neměly znám kód BPEJ, a proto byly klasifikovány jako potenciální paseky.
3. Byl proto stanoven předpoklad, že paseky se nacházejí pouze v rámci lesních celků přesahujících rozlohou 2,5 ha.
4. V dalším kroku tedy byly z dosavadní mapy využití území separovány všechny tři kategorie lesa a tyto byly sloučeny do jedné vrstvy s kategorií potenciálních pasek.
5. Všem sloučeným kategoriím (jehličnatý les, smíšený les, listnatý les a potenciální paseka) byl přiřazen atribut 1 a ostatním plochám atribut 0.

6. Následně byla vrstva získaná v předchozím kroku převedena příkazem POLYVEC na polygony.
7. Z vrstvy polygonů byly následně s použitím databáze vyloučeny polygony s rozlohou menší než 25 ha a výsledná vrstva byla opět převedena na rastr.
8. Konečná vrstva pasek pak byla získána protnutím vrstvy potenciálních pasek a vrstvy získané v předchozím kroku.
9. Vrstva pasek pak byla do stávající mapy využití území doplněna pomocí příkazu OVERLAY.

Uvedeným postupem byla získána výsledná mapa využití povrchu v rastrovém formátu Idrisi32 použitá v dalším výpočtu (**Obr.4**).

3.1.6 Srážky

Informační vrstva srážek by měla popisovat prostorovou variabilitu ve výskytu příčinných srážek o různé periodicitě. Vzhledem k tomu, že takovou mapu je sice schopen poskytnout ČHMÚ, nicméně cena takové informační vrstvy je pro zpracování této studie neúměrně vysoká, byl jako zdroj použit materiál (Šamaj a kol., 1985), který uvádí 24-hodinové srážkové úhrny pro dobu opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let pro celé území bývalé ČSSR. Návrhové srážky byly vyhodnoceny z měřených řad 1901 - 1980. Území současné ČR je pokryto celkem 529 stanicemi. Pro pokrytí území Středočeského kraje s dostatečným přesahem bylo vybráno celkem 190 stanic (**Obr.9**).

Cílem bylo vytvořit na základě bodových údajů hladkou rastrovou vrstvu dané geometrie a rozlišení 30 x 30 m, kde každému elementu bude přiřazen jeho srážkový úhrn. Vrstva srážek byla tvořena odděleně pro každou periodicitu.

Metodicky je jasné, že vzhledem k charakteru vstupních dat – bodové pole, je nutno použít metodiku odvození DMT postupem přes TIN s následným převodem do rastru a vyhlazením. Prakticky byly testovány jak přímá interpolace rastrového DMT z bodového pole, tak tvorba TIN při různých algoritmech a s následnou rasterizací do různého rozlišení.

Metoda přímé interpolace z bodového pole naprosto nepřinesla kýžený výsledek hladkého DMT, vzhledem k charakteru dat, které vykazují značné lokální extrémy v obou směrech a malé hustoty datových bodů – a to bez ohledu na volbu rastru pro interpolaci (od 30 x 30 do 900 x 900 m).

Při volbě velikosti rozlišení pro odvození DMT jak metodou TIN tak přímou interpolací se jedná o kompromis mezi rastrem jemným (30 x 30 m), který sice nezkrasí hodnoty ve stanicích, ale v prostorech mezi nimi interpoluje nesprávným způsobem a rastrem hrubým (až 900 x 900 m), kdy interpolovaná plocha je sice přijatelně hladká bez lokálních neopodstatněných singularit, ale dochází k výraznému ovlivnění extrémů ve stanicích (až 15 %).

Metodou pokusů byl nakonec jako nejlepší zvolen následující postup:

1. Výběr stanic na území Středočeského kraje a v jeho okolí s dostatečným přesahem.
2. Vytvoření souboru, zahrnujícího jméno stanice, její zeměpisnou polohu a srážkové úhrny.
3. Konverze polohopisu stanic ze souřadnicového systému (délka, šířka) do JTSK.
4. Import bodového pole ve vektorovém tvaru do prostředí IDRISI, jako identifikátor bodu bylo použito pořadové číslo stanice.
5. Vytvoření TIN sítě bez preferenčních spojnic a následný převod do rastru 450 x 450 m
6. Ošetření vzniklého DMT filtrem MEAN 7 x 7 - s cílem vyhlazení celkové plochy; při volbě větší matice by došlo k neúměrnému ovlivnění extrémních hodnot.
7. Rozdělení rastru do výpočtového rozlišení 90 x 90 m.
8. Ošetření vzniklého DMT filtrem MEAN 5 x 5 – s cílem odstranění výrazných stupňů v místech bývalých hranic elementů 450 x 450 m; vzhledem k dosahu operace nedojde k ovlivnění extrémů, ale jen k vyhlazení ploch.
9. Rozdělení rastru do výpočtového rozlišení 30 x 30 m.
10. Ošetření vzniklého DMT filtrem MEAN 3 x 3 – s cílem odstranění výrazných stupňů v místech bývalých hranic elementů 90 x 90 m; vzhledem k dosahu operace nedojde k ovlivnění extrémů, ale jen k vyhlazení ploch.
11. Vytvoření výpočetní vrstvy pro každou dobu opakování deště extrakcí průměrné hodnoty srážkového úhrnu na plochy povodí nebo jejich částí, spadajících do území Středočeského kraje.

Výsledné rastrové vrstvy srážkových 24-hodinových úhrnů při různé době opakování vykazují poměrně značnou prostorovou variabilitu, která dosahuje mezi lokalitou s minimálním a maximálním úhrnem při stejné době opakování rozdíl až 50 %. Při porovnání prostorového rozdělení srážek při různých dobách opakování dochází k mírným rozdílům v poměrech mezi jednotlivými stanicemi. Diference jsou však nepodstatné.

Prostorové rozdělení srážkových úhrnů na území Středočeského kraje přibližně odpovídá nadmořské výšce, kde s jejím nárůstem roste i srážkový úhrn.

Nejvyšší srážkové úhrny dosahují následující oblasti:

- centrální, zalesněná část Brd,
- jižní část řešeného území v okolí České Sibiře (Miličín),
- oblast Českomoravské vrchoviny severně od vodní nádrže Želivka.

Nejnižších hodnot srážkových úhrnů je naopak dosaženo v oblastech:

- Mělnicko,
- Oblast západně od Rakovníka,
- Oblast v okolí Slaného (poměrně výrazné lokální minimum),
- Jižně od Příbrami (srážkový stín hlavního hřebene Brd).

Výsledné mapy rozdělení srážkových úhrnů pro různé doby opakování je prezentováno na **Obr.10**.

3.1.7 Mapa hodnot čísel odtokových křivek (CN)

3.1.7.1 Podklady

Hlavními podklady pro zpracování mapy čísel odtokových křivek jsou mapa využití území a půdní mapa. Postup vytvoření těchto vrstev je popsán v kapitolách 3.1.4 a 3.1.5. Dalšími podklady byly především zdroje informací o hodnotách CN pro různé kombinace druhu využití půdy a hydrologických půdních skupin. Pro stanovení hodnoty CN pro ornou půdu bylo také použito statistických informací o struktuře využití orné půdy. Za účelem zohlednění prostorové diferenciací zemědělství (v nížinách je zaměření zemědělství odlišné od zaměření na vrchovinách) bylo použito rozdělení hodnot CN pro bývalé okresy (v digitální podobě byl k dispozici stav odpovídající roku 1995, který se však vzhledem k poslednímu vývoji zemědělství jeví jako dostatečně aktuální – z pozdějších období se nepodařilo během řešení projektu zajistit data v digitální podobě a současně členěná po okresech a nikoliv po krajích).

3.1.7.2 Postup tvorby mapy CN

Nejprve byla z mapy využití území získána vrstva orné půdy, pro kterou bylo rozhodnuto zjemnit přiřazení hodnot CN zohledněním příslušnosti k bývalým okresům, pro které bylo dostupné rozdělení hodnot CN.

Na základě znalosti poměrného zastoupení jednotlivých plodin na orné půdě v rámci celého kraje a jim odpovídajícímu rozdělení hodnot CN byly určeny průměrné hodnoty CN pro jednotlivé hydrologické skupiny půd (viz **Tab.3.7**).

Dále byly na základě znalosti rozložení hodnot CN (stav z roku 1995) pro ornou půdu a bývalé okresy určeny koeficienty určující pro každý okres relativní poměr k hodnotě průměrné pro celý kraj (viz **Tab.3.8**).

V následujícím kroku byla na základě průměrných hodnot CN pro celý kraj a koeficientů pro jednotlivé okresy určeny hodnoty CN pro všechny kombinace hlavní hydrologických skupin půd a jednotlivých okresů a následně také interpolovány hodnoty pro všechny kombinace mezilehlých hydrologických skupin půd a jednotlivých okresů. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v **Tab.3.9**.

Poté bylo pro jednotlivé okresy vytvořeno 13 dílčích půdních map, tj. pro každý okres mapa hydrologických skupin (13 kategorií). Reklasifikováním těchto map (příkaz RECLASS v prostředí IDRISI 32) bylo získáno 13 map hodnot CN pro ornou půdu pro jednotlivé okresy.

Mapa hodnot CN pro ornou půdu pro území celého Středočeského kraje byla získána prostým překrytím vrstev (příkaz OVERLAY) získaných v předcházejícím kroku.

Pro získání mapy hodnot CN pro ostatní kategorie byl již postup jednodušší. Nejprve byly stanoveny hodnoty CN pro každou kombinaci druhu využití území (obsaženou v mapě využití půdy) a hydrologické skupiny půd (viz **Tab.3.10**).

Následně byla na základě půdní mapy rozdělena mapa využití půd na třináct samostatných vrstev odpovídajících jednotlivým hydrologickým skupinám půd.

Získané vrstvy byly reklasifikovány (příkaz RECLASS) hodnotami CN uvedenými v tabulce **Tab.3.10**, tj. každému způsobu využití půdy byla vždy přidělena odpovídající hodnota CN. Tím bylo získáno 13 dílčích map CN, ze kterých byla prostým postupným překrytím (příkaz OVERLAY) získána mapa celková. Tato mapa však ještě neobsahovala hodnoty CN pro ornou půdu.

Překrytím (příkaz OVERLAY) vrstvy získané v předcházejícím kroku vrstvou hodnot CN pro ornou půdu byla získána výsledná mapa CN. Výsledná mapa je oříznuta hranicí kraje tak, že v jeho okolí jsou hodnoty 0. Mapa hodnot CN pro jednotlivé elementy je prezentována na **Obr.11**, průměrné hodnoty na jednotlivých povodích IV. řádu pak na **Obr.12**.

3.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN) – objemy odtoku

Výstupem metody je odhad celkového objemu odtoku z příčné srážky z každého řešeného povodí. Výstupem jsou absolutní hodnoty v (m³), případně relativní hodnoty, uváděné buď v (mm) nebo v (m³/km²). Hodnoty neříkají nic o tom, jakým způsobem ani za jak dlouho k odtoku dojde, nelze s jejich pomocí určovat kulminační průtoky, hovořit o úrovních hladiny v korytě. Hodnoty jsou cenné z hlediska porovnání povodí co do celkového objemu průtoku, vyprodukovaného ze srážky. Smysl by mělo tato čísla používat například pro dimenzování retenčních prostorů poldrů a vodních nádrží. Spočtené objemy by v zásadě bylo možno počítat ve směru po toku. I přesto je však doporučeno respektovat hodnoty pouze jako relativní – tedy srovnávací.

3.2.1 Metodika

Metodika výpočtu přesně sleduje postupy a matematické vztahy, nastíněné v kapitole 2.2.1.

Základní vztahy pro výpočet přímého odtoku mají tvar

$$H_0 = \frac{(H_s - 0,2 \cdot A)^2}{H_s + 0,8 \cdot A}$$

kde H_0 je přímý odtok (mm)
 H_s – úhrn přívalové návrhové srážky (mm)
 A – potenciální retence (mm).

Vztah má smysl pro hodnoty $H_s \geq 0,2A$.

Potenciální retence A je dána vztahem

$$A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad \text{kde } CN \text{ je průměrné číslo odtokové křivky v řešeném povodí}$$

Objem přímého odtoku udává vztah

$$O_{pH} = 1000 \cdot P \cdot H_0$$

kde O_{ph} je objem přímého odtoku (m^3)
 P – plocha povodí (nebo části povodí) (km^2)
 H_0 – přímý odtok (mm).

3.2.2 Příprava dat a výpočet

3.2.2.1 Potenciální retence

Prvním krokem byl výpočet potenciální retence A , která byla spočtena zadáním výše uvedeného vztahu do Image Calculatoru v prostředí IDRISI, přičemž za CN byla dosazena vrstva hodnot CN v jednotlivých elementech (**Obr.11**). Výstupem výpočtu pak byla informační vrstva, kde v každém elementu byla přiřazena hodnota potenciální retence A , která přes hodnotu CN závisí na půdních vlastnostech a způsobu využití pozemku.

Vzhledem k tomu, že celá metoda je odvozena pro dílčí povodí, byly následně z vrstvy potenciální retence A extrahovány průměrné hodnoty A pro jednotlivá dílčí podpovodí IV. řádu, která spadají do území Středočeského kraje.

V tomto kroku bylo pro jednotlivá dílčí povodí testováno splnění podmínky $H_s \geq 0,2A$ v jednotlivých dílčích podpovodích, přičemž za H_s byla uvažována hodnota srážkového úhrnu v daném povodí pro danou periodicitu. V povodích, kde podmínka splněna nebyla, nastává problém, že výraz v čitateli bude záporný a výsledek tudíž chybný. Vzhledem k tomu, že v čitateli je však druhá mocnina, dojde k úpravě znaménka a výsledku, který bude na první pohled vypadat reálně, ve skutečnosti však bude hodnota nesmyslná.

Fyzikální interpretace podmínky je, že v povodí, kde podmínka není splněna má větší retenci než je hodnota příčné srážky a srážka zde proto neprodukuje žádný odtok.

Z uvedeného důvodu byla informační vrstva, popisující rozdíl $H_s - 0,2A$ reklasifikována tak, že v povodích, kde podmínka není splněna byla všem elementům

přiřazena hodnota rovna 0. Touto informační vrstvou pak byly překrývány (násobeny) výsledné informační vrstvy pro jednotlivé příčinné srážky.

3.2.2.2 Přímý odtok

V dalším kroku byla opět dosazením skalárních veličin i jednotlivých informačních vrstev do Image Calculatoru vypočtena vrstva přímého odtoku H_0 . Za H_s byly dosazovány rastrové vrstvy srážek jednotlivé doby opakování. Výsledná informační vrstva byla nakonec překryta vrstvou, kde pro danou srážku je dílčím povodím, která nespĺňují podmínku $H_s \geq 0,2A$ přiřazena nula (předpokládána nulová odtoková výška).

Posledním krokem byl výpočet objemu přímého odtoku z dílčího povodí. Do Image Calculatoru byly podle výše uvedeného vztahu dosazeny skalární hodnoty, dále pak hodnota přímé odtokové výšky H_0 (informační vrstva) a informační vrstva ploch jednotlivých dílčích povodí, resp. jejich částí, spadajících do řešeného území Středočeského kraje.

Vzhledem k tomu, že prostorová variabilita srážek na území Středočeského kraje je značná (např. u 100-leté srážky se 24 hodinový úhrn liší v extrémních lokalitách o 33 mm, což činí 45 % z minimální hodnoty), ovlivní nepochybně toto rozložení srážek významným nebezpečných povodí. Informační vrstva srážek je současně jednou z nejméně jistých ze všech použitých vstupních dat. Proto byl učiněn krok směrem k vyjádření odpovědi jednotlivých povodí při zanedbání prostorové variability srážky – tedy pouze díky vlastnostem povodí.

Toto vyhodnocení bylo provedeno opakováním celého výše uvedeného výpočtu avšak pro srážku, představující 50 mm za 24 hodin na celém území Středočeského kraje. Tento srážkový úhrn odpovídá přibližně srážce s dobou opakování 10 let (Šamaj a kol., 1985).

3.2.3 Výstupy

Výstupem výpočtu objemů odtoků je mapa celkových objemů odtoků v (m^3) z jednotlivých řešených dílčích povodí nebo jejich částí, způsobených příčinnou srážkou dané doby opakování (2, 10, 20, 50 a 100 let) a srážkou konstantního úhrnu 50 mm na celém území kraje (**Obr.15**).

Vzhledem k tomu, že absolutní hodnota objemu odtoku je do značné míry ovlivněna velikostí povodí, která se pohybuje u některých povodí až o dva řády, je dalším výstupem relativní hodnota objemu odtoku z každého dílčího povodí, vyjádřená jako objem na jednotku plochy (m^3/km^2).

Všechny operace byly prováděny v prostředí GIS kombinací jednotlivých datových vrstev, nicméně veškeré hodnoty podstatné pro výpočet byly paralelně extrahovány do databáze *.MDB a průběžně převáděny do tabulek *.XLS. Tyto tabulky umožňují výpočet opakovat, či velmi jednoduše modifikovat a upravené hodnoty pak zpět přiřadit informačním vrstvám. Tabulky ve formátu *.XLS jsou součástí výstupní dokumentace, vzhledem ke značnému rozsahu (cca 1300 řádek) nebyly však tištěny.

3.2.4 Diskuze výsledků

Metoda výpočtu objemu odtoku z povodí z příčinné srážky je vcelku velmi jednoduchá a průhledná. V zásadě je založena jen na redukci srážkové výšky retencí povodí, která je závislá na půdních vlastnostech a způsobu využití půdy. Tyto jednoduchost je výhodou ve stabilitě výpočtu a snadné orientační kontrole jeho správnosti. Nevýhodou však je to, že do výpočtu nejsou vůbec zahrnuty sklonitostní poměry ani geometrie dílčího povodí, čímž dochází nepochybně ke ztrátě přesnosti výstupů.

3.3 Metoda čísel odtokových křivek (CN) – kulminační průtoky

Výstupem metody je kulminační průtok, způsobený v uzávěrovém profilu každého řešeného povodí. Vzhledem k tomu, že součástí výpočtu je i doba koncentrace, je možno výsledky interpretovat skutečně jako průtokové charakteristiky a jejich potenciální použitelnost by mohla být použita i pro dimenzování objektů na toku. Vzhledem k zcela náhodným kombinacím doby koncentrace však zásadně nelze výsledné hodnoty sčítat směrem po toku k dosažení hodnoty kulminace v níže ležícím povodí. I proto je doporučeno respektovat hodnoty pouze jako relativní – tedy srovnávací.

3.3.1 Metodika

Metodika výpočtu přesně sleduje postupy a matematické vztahy, nastíněné v kapitole 2.2.2. s tím, že vzhledem k tomu, že vztahy publikované v nejnovější literatuře (Janeček a kol., 2002) vycházejí z několikanásobného používání nomogramů bez možnosti stanovení mezivýsledků matematickým výpočtem, byla pro použití zvolena metoda starší (Pasák a kol., 1983), rovněž uvedená ve zmíněném odstavci.

Výpočet kulminačního průtoku metodou CN křivek podle tohoto přístupu vychází z metody bezrozměrného jednotkového hydrogramu a pro výpočet kulminačního průtoku používá vztah

$$q_{pH} = \frac{F * H_0}{5,3 * T_L}$$

kde q_{pH} je jednotkový kulminační průtok (m^3/s)
F – plocha povodí (km^2)
 H_0 – jednotková výška odtoku (mm)
 T_L – doba zpoždění (hod)

Doba zpoždění T_L se pak určuje z nomogramu nebo podle vztahu:

$$T_L = \frac{(3,28 * l)^{0,8} * (0,04 * A + 1)^{0,7}}{1900 * s^{0,5}}$$

kde l – hydraulická délka povodí (m) (*délka po které voda stéká od hydraulicky nejvzdálenějšího části povodí z uzávěrovému profilu*)
 s – průměrný sklon v povodí (%)
 A – potenciální retence.

3.3.2 Příprava dat a výpočet

3.3.2.1 Doba zpoždění

Prvním krokem výpočtu je stanovení doby zpoždění (v podstatě tedy odhad doby koncentrace pro dané povodí). V novější a přesnější metodě (Janeček a kol., 2002) je doba koncentrace určována kombinací tří základních typů odtoku (plošného, soustředěného s malou hloubkou a soustředěného v korytech) a touto dobou koncentrace je pak redukována doba trvání příčné srážky s cílem získat nejnejpříznivější srážku pro dané povodí. Tento přístup však nebyl z důvodu nemožnosti využít v řešení odečítání z nomogramů v řešené studii aplikován a byl nahrazen jednodušším empirickým přístupem, který redukcí srážky neuvažuje a doba zpoždění je počítána z jediného vztahu (viz předchozí odstavce).

➤ *Průměrný sklon*

Vrstva průměrného sklonu byla získána z finálního DMT v rastru 30 x 30 m procedurou SURFACE v prostředí IDRISI. V oblasti Polabí se však vyskytují poměrně velké plochy s nulovým sklonem. Nulová hodnota by však působila při dalším výpočtu značné problémy, proto byla reklasifikací všem elementům s nulovým sklonem přiřazena hodnota sklonu 0,9 %. (Tato hodnota byla zvolena z důvodu zachování ostatních hodnot ve formátu REAL a tedy nedošlo k významné ztrátě přesnosti). Informační vrstva hodnot sklonů v jednotlivých elementech je prezentována na **Obr.13** a průměrných sklonů v jednotlivých povodích IV. řádu na **Obr.14**.

➤ *Hydraulická délka povodí*

Hydraulickou délkou povodí se podle metodiky rozumí délka dráhy, po níž by voda povrchově stékala z nejvzdálenějšího bodu povodí až k jeho uzávěrovému profilu. Tuto úlohu by bylo možno řešit automaticky vyhledáním nejdelší trajektorie povrchového odtoku za předpokladu, že by digitální model terénu byl ošetřen tak, aby v něm nebyla bezodtoká místa. Takový DMT však nebyl řešitelům k dispozici, resp. dostupnými postupy a z dostupných vektorových dat nebyli řešitelé takový model terénu schopni vytvořit. Existují samozřejmě procedury, které překážky odtoku z DMT uměle odstraňují, ale jedná se o neřízené procesy, bez možnosti kontroly procesu a jejich opakované použití na jednom území by vyústilo v nekontrolovanou modifikaci DMT. Podle zkušenosti řešitelů navíc v tak extrémním území

(z hlediska minimálních sklonů) jako je Polabí, je pak vytvořená trasa toku zcela nahodilá a nemá nic společného s realitou.

Pokud není takto ošetřený DMT k dispozici, je jediným způsobem, jak zjistit správné hodnoty hydraulických délek jejich ruční digitalizace nástrojem pro měření délek. To je však vzhledem k počtu povodí zcela nereálné.

Byl proto využit postup, aplikovaný již v předchozích projektech velkého měřítká (Dostál a kol., 2001), kdy je hydraulická délka povodí nahrazena největší přímou vzdáleností uzávěrového bodu povodí a bodů na jeho hranici. Tento přístup byl aplikován například pro řešení podobné úlohy v měřítku celé ČR (Dostál a kol., 2001) se zjištěním, že použitá hodnota vzdálenosti je nejmenší možná, ale v průměru se od skutečné neliší o více než o 30 %.

Území Středočeského kraje je však výrazně menší než celá ČR a i z hlediska morfologie území je homogennější. Pro zpřesnění proto bylo na celém území Středočeského kraje náhodně vybráno celkem 50 povodí IV. Řádu, u nichž byla na podkladě vrstevnicové mapy manuálně změřena délka nejdelší odtokové dráhy. Tyto změřené hodnoty pak byly porovnány s automaticky odečtenými vzdálenostmi pro tatáž povodí. S výjimkou 5 extrémů se hodnoty pohybovaly velmi podobně a průměrná hodnota skutečné délky činí 1,19 násobek automaticky odečtené největší přímé vzdálenosti. Tato hodnota proto byla akceptována a jako délky odtokové dráhy byly ve všech povodích v řešeném území uvažovány automaticky zjištěné nejdelší přímé odtokové vzdálenosti, zvýšené o 19 % délky.

Technicky byla informační vrstva délek odtokových drah vytvořena následujícím způsobem. Na rozvodnici každého povodí byl nalezen element s nejnižší nadmořskou výškou. Povodí pak bylo izolováno do samostatného souboru a byla spočtena přímá vzdálenost od tohoto bodu. Maximální vzdálenost v rámci povodí pak byla určena extrakcí vypočtených vzdáleností pro každé izolované povodí.

Celý postup byl zautomatizován a výpočet byl opakován pro každé povodí (celkem 1221krát) samostatně. Všechny vrstvy dílčích délek povodí byly následně spojeny do společné mapy délek v řešeném území. Je třeba upozornit, že v povodích na hranici řešeného území vykazují vypočtené hodnoty určitou chybu od skutečnosti, protože hraniční povodí jsou hranicí kraje dělena, ale délka je počítána ze skutečných ploch.

Pracovní postup byl použit následující:

1. Získání samostatné rastrové hranice jednoho řešeného povodí 4.řádu ČHP (reklasifikací z vrstvy hranic povodí).
2. Definování uzávěrového profilu povodí jako samostatného bodu s hodnotou 1 rastru s hodnotami 0 pomocí několikeré reklasifikace nad DMT (jako buňky hranice povodí s nejmenší nadmořskou výškou).
3. Výpočet vzdáleností všech buněk rastru od uzávěrového profilu (modul DISTANCE).
4. Oříznutí rastru délek plochou řešeného povodí, získanou z vrstvy plošných povodí 4.řádu ČHP.
5. Připojení (OVERLAY) k vrstvě již vypočtených povodí.
6. Po získání vrstvy všech povodí s takto definovanými vzdálenostmi byla provedena extrakce maximální hodnoty vzdálenosti pro každé povodí do zvláštní vrstvy i do tabulky.

3.3.2.2 Kulminační průtok

Kulminační průtok byl pro každé řešené povodí v zájmovém území spočten podle vztahu v předchozích odstavcích (**Obr.16**). Ve vztahu figuruje doba zpoždění T_L , jejíž způsob stanovení je popsán v předchozím odstavci, dále pak jednotková výška odtoku H_0 , která byla odvozena při výpočtu objemu odtoku O_{PH} a dále plocha povodí, jejíž zjištění je sice triviální úlohou, nicméně pro úplnost je popsána v následujícím odstavci.

➤ Plocha povodí

Plocha povodí je informační vrstva, použitá jak pro výpočet objemu odtoku (viz výše), tak pro stanovení kulminačních průtoků. Extrakce hodnot pro jednotlivá dílčí povodí do databáze pak navíc umožní přepočítání všech zjištěných absolutních hodnot odtokových charakteristik (objemů a kulminací) pro jednotlivá podpovodí na relativní hodnoty.

Vrstva ploch povodí byla vytvořena pomocí funkce AREA v prostředí IDRISI na podkladě rastrové vrstvy dílčích povodí a jejich částí, spadajících do řešeného území Středočeského kraje.

Při porovnání ploch jednotlivých namátkou vybraných povodí získaných v GIS a ploch, uvedených v Základních vodohospodářských mapách 1 : 50 000 byl zjištěn mírný nesoulad, dosahující místy až 10 % z celkové výměry. Řešitelé tuto skutečnost připisují tomu, že obě hodnoty byly sice získány ze stejného podkladu (hranice povodí vytvořené nad vrstevnicovou mapou 1 : 50 000), nicméně výměry uvedené v ZVM 1 : 50 000 byly zjišťovány již dříve, a to planimetrováním. Z tohoto důvodu považují řešitelé za přesnější hodnoty zjištěné pomocí dotazu v GIS, a to i přes to, že plochy byly počítány na rastrové vrstvě s rozlišením 30 x 30 m (což nepochybně nepatrně snižuje přesnost stanovení).

3.3.3 Výstupy

Výstupem výpočtu kulminačních průtoků je mapa kulminačních průtoků v (m^3/s) v uzávěrových profilech jednotlivých řešených dílčích povodí nebo jejich částí, způsobených příčinnou srážkou dané doby opakování (2, 10, 20, 50 a 100 let) a srážkou konstantního úhrnu 50 mm na celém území kraje.

Vzhledem k tomu, že absolutní hodnota kulminačního průtoku je do značné míry ovlivněna velikostí povodí, která se mezi největšími a nejmenšími dílčími povodími liší až o dva řády, je dalším výstupem relativní hodnota kulminačního průtoku z každého dílčího povodí, vyjádřená jako objem na jednotku plochy ($m^3/s.km^2$).

Všechny operace byly prováděny v prostředí GIS kombinací jednotlivých datových vrstev, nicméně veškeré hodnoty podstatné pro výpočet byly paralelně extrahovány do databáze *.MDB a průběžně převáděny do tabulek *.XLS. Tyto tabulky umožňují výpočet opakovat, či velmi jednoduše modifikovat a upravené hodnoty pak zpět přiřadit informačním

vrstvám. Tabulky ve formátu *.XLS jsou součástí výstupní dokumentace, vzhledem ke značnému rozsahu (cca 1300 řádek) nebyly tištěny.

3.3.4 Diskuze výsledků

Metoda stanovení kulminačních průtoků v uzávěrových profilech jednotlivých dílčích povodí je velmi jednoduchou empirickou metodou, založenou na odhadu jednotkového kulminačního průtoku na základě plochy povodí, jednotkové (redukované) výšky odtoku a doby zpoždění (doby koncentrace).

Výhoda metody je v tom, že v sobě zahrnuje největší počet vstupních parametrů (charakteristiky srážky, vlastnosti půdy i využití území v povodí, charakteristiky sklonů i morfologii území) ze všech aplikovaných metod.

Nevýhodou naopak je nikoliv zcela průhledná formulace použitého vztahu a to, že kromě oficiální metodiky (Pasák a kol., 1983) MZe ČR (tehdejší MZVŽ ČSSR) se nepodařilo dohledat k vztahu další podrobnosti. Vzhledem k tomu, že nebyl zcela jasný původ a způsob odvození vztahu, byla do vztahu dosazována dostupná návrhová srážka jako 24-hodinový úhrn dané doby opakování a nikoliv jeho redukovaná hodnota podle doby koncentrace.

I přes uvedené nesrovnalosti a nevýhody se v současném stupni poznání jeví prezentovaný vztah jako zřejmě nejvhodnější pro dané účely. Absolutní hodnoty vypočtených kulminačních průtoků pro jednotlivá povodí mají smysl a odpovídají reálně očekávatelným hodnotám. Jiný způsob kontroly není v prezentovaném měřítku k dispozici. Za vhodný způsob prezentace však autoři považují buď relativní hodnoty kulminačních průtoků ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$) nebo jejich kategorizace.

3.4 Výpočet kulminačních průtoků pomocí odtokového součinitele (proporční metoda)

Konečným produktem této metody je kulminační průtok v uzávěrovém profilu každého z řešených povodí. Tyto výsledky vyjadřují skutečné průtokové vlastnosti v uzávěrových profilech povodí. Výsledné hodnoty je však nutno chápat s jistou rezervou, neboť tato metoda je původně koncipována pro povodí rozměrů menších, než pro jaká byla v této studii použita. Omezení přesnosti však tkví hlavně v tom faktu, že pro větší povodí se mohou vyskytnout srážky kritičtější, než jaké odpovídají době koncentrace. Dalším důležitým faktorem při uvažování výsledků je skutečnost, že tato metoda, stejně jako metoda CN, neuvažuje transformaci průtoků v korytech. Z toho vyplývá, že ačkoliv vypočtené hodnoty jsou vypoovídající charakteristikou povodí, je lépe je uvažovat jako srovnávací.

3.4.1 Metodika

Metodika výpočtu kulminačních průtoků dle odtokového součinitele sleduje postupy a matematické vztahy, nastíněné v kapitole 2.3. Pro určení hodnot součinitele odtoku bylo použito výpočtu pomocí níže uvedené rovnice vycházející z nejdůležitějších faktorů majících vliv na povrchový odtok. Nebylo tedy použito tabelovaných hodnot tak, jak je původně uvedeno v originální metodice, a to především proto, že nebyl nalezen zdroj hodnot součinitele, který by popisoval všechny použité druhy využití území. Dalším podstatným důvodem pro výpočet součinitele odtoku bylo to, že tento postup je pro automatické zpracování velkého množství povodí snáze aplikovatelný. Je však nutno podotknout, že vypočítané hodnoty součinitele odtoku byly konfrontovány s tabelovanými.

Výpočet kulminačního průtoku metodou odtokového součinitele vychází z jednoduchého vztahu zahrnujícího kromě odtokového součinitele ještě intenzitu deště a plochu povodí. Tento vztah má pak následující tvar:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{360}$$

- kde Q - kulminační průtok (m³/s)
 C - odtokový součinitel (-)
 I - průměrná intenzita deště (mm/hod)
 A - plocha povodí k uzávěrovému profilu (ha)
 360 - součinitel pro převod jednotek intenzity a plochy na základní jednotky SI

Odtokový součinitel se pak vypočte ze vztahu:

$$C = 7,2 \cdot 10^{-7} \cdot CN^3 \cdot T^{0,05} \left[(0,01 \cdot CN)^{0,6} \right]^{s^{0,2}} \cdot (0,001 \cdot CN^{1,48})^{0,15-3,94 \cdot 10^{-3} \cdot i} \cdot [(p+1)/2]^{0,7}$$

- kde C - odtokový součinitel (-),
 CN - číslo odtokové křivky pro dané území (-),
 T - doba opakování příčinné srážky (v letech),
 s - průměrný sklon terénu v daném území (v %),
 i - intenzita příčinné srážky (v mm/hod)
 p - procento nepropustnosti území, tj. podíl území, který lze uvažovat jako nepropustný (relativní číslo)

3.4.2 Příprava dat a výpočet

Vzhledem k tomu, že do obou rovnic vstupují proměnné, které jsou charakteristikami pro celé povodí byl celý výpočet prováděn pomocí tabulkového procesoru. Proměnné, jejichž hodnoty byly známy i s prostorovou distribucí, byly pro jednotlivá povodí průměrovány.

➤ *Doba opakování příčinné srážky*

Jako doba opakování byly postupně použity intervaly 2, 10, 20, 50 a 100 let. Výpočet kulminačních průtoků byl proveden pro každou dobu opakování.

➤ ***Průměrný sklon terénu***

Hodnoty průměrného sklonu terénu byly pro jednotlivá povodí extrahovány z mapy sklonů, jejíž tvorba je popsána v kapitole 3.3.2.1.

➤ ***Intenzita příčinné srážky***

Výchozím údajem pro získání této charakteristiky pro každé povodí byly 24-hodinové srážkové úhrny pro každou z výše uvedených dob opakování (Šamaj a kol., 2985). Ty byly poté průměrovány na každé povodí a redukovány na dobu trvání odpovídající době zdržení (odhadu doby koncentrace) jejíž výpočet je popsán v kapitole 3.3.2.1. K této redukci bylo použito metody doporučené jednak v nejnovější literatuře (Janeček a kol., 2002) a také metody ČHMÚ. Jedná se o metodu pro redukci jednodenních maximálních úhrnů (Hrádek F., Kovář P., 1994). Tímto postupem bylo pro každé povodí získáno pět náhradních intenzit pro pět dob opakování příčinné srážky (2, 10, 20, 50 a 100 let).

➤ ***Procento nepropustnosti***

Pro získání procenta nepropustnosti pro každé povodí bylo použito mapy využití území. Z této mapy byly separovány kategorie, které lze považovat za nepropustné (viz následující tabulka). Následně pak bylo vypočítáno poměrné zastoupení těchto ploch v každém povodí. Kategorie, uvažované jako nepropustné jsou uvedeny v následující tabulce:

Popis	ID
souvislá městská zástavba	13
průmyslové a obchodní areály	15
silniční a železniční síť	16
přístavy	17
zástavba - DMU	24

➤ ***Plocha***

Tvorba tohoto podkladu je popsána v kapitole 3.3.2.2. Údaje byly opět extrahovány z informačních vrstev do tabelární podoby.

3.4.2.1 Součinitel odtoku

Základním údajem vstupujícím do rovnice výpočtu součinitele odtoku je průměrná hodnota CN. Ta zůstává stejná pro všechny doby opakování srážky spolu s procentem nepropustnosti. S dobou opakování se ovšem mění intenzita. Pro každé povodí tak bylo ve výsledku pět různých hodnot součinitele odtoku. Hodnot součinitele bylo dosaženo prostým dosazením hodnot získaných postupem popsáním výše do rovnice.

3.4.2.2 Kulminační průtok

Kulminační průtok se počítá jednoduše z výše uvedené rovnice, do které vstupuje plocha povodí, intenzita příčné srážky a odtokový součinitel. Vzhledem k tomu, že hodnot odtokového součinitele je v našem případě pět (pro každé povodí), je pro každé povodí ve výsledku také pět kulminačních průtoků odpovídajících jednotlivým dobám opakování pro každé povodí.

3.4.3 Výstupy

Přípravné operace prováděné v rámci této metody byly prováděny buď v prostředí GIS nebo v prostředí tabulek. Výpočty pak byly prováděny výhradně v tabulkách, a to tak, že složitější rovnice byly rozloženy do několika částí pro zprůhlednění procesu pro zpracovatele. Veškeré výstupy jsou tedy primárně ve formátu tabulek Microsoft Excel *.XLS. Na základě vypočtených kulminačních průtoků byly také určeny hodnoty kulminačních průtoků z jednotkové plochy každého povodí ($\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2$). Z těch pak byla kvůli vizualizaci výsledků v prostředí GIS vytvořena mapa jednotkových kulminačních průtoků. Na základě jednotkových kulminačních průtoků pak byla povodí rozdělena do deseti kategorií tak, aby každá kategorie reprezentovala stejnou plochu, tj. 10 % území celého kraje. Způsob vyhodnocení je popsán podrobněji v odstavcích věnovaných způsobům prezentace a diskuzi výsledků (**Obr.18**).

3.4.4 Diskuze výsledků

Metoda výpočtu kulminačních průtoků v uzávěrových profilech malých povodí pomocí odtokového součinitele je empirická a relativně jednoduchá, zahrnující většinu podstatných faktorů, majících vliv na povrchový odtok. Jednoduchost metody je jedním ze základních předpokladů použití automatického zpracování dat pomocí GIS prostředků, případně jiných prostředků, které umožňují hromadné automatické zpracování.

Jistou nevýhodou této metody je snad její jednoduchost a dále pak fakt, že přes hodnoty parametru čísel odtokových křivek CN je svázána i s ostatními použitými metodami včetně SDR.

Přes svou jednoduchost však tato metoda poskytuje relevantní výsledky, což je patrné i při porovnání výsledných kulminačních průtoků s kulminačními průtoky získanými metodou CN křivek, od kterých se neliší nikterak zásadně a výsledné hodnoty jsou zdůvodnitelné. I přes to, že tato metoda není na našem území známa nebo používána tolik jako metoda CN křivek, jeví se pro dané účely jako použitelná.

Přes skutečnost, že primárním výstupem je kulminační průtok v uzávěrovém profilu, jeví se autorům jako vhodné, prezentovat výsledky jako relativní nebo kategorizované, stejně jako u výsledků metody CN křivek.

3.5 Poměr odnosu (SDR)

Metoda výpočtu Poměru odnosu (SDR = Sediment Delivery Ratio) byla odvozena jako ryze empirická metoda ke stanovení podílu sedimentu, který je z dílčího povodí transportován uzávěrovým profilem k celkovému množství půdních částic, uvolněných erozními procesy v povodí na zemědělské půdě. Výsledný poměr odnosu nabývá hodnot mezi 0,0 (veškerý sediment je zachycen v povodí před dosažením hydrografické sítě = povodí produkuje nízký povrchový odtok ze srážky) a 1,0 (veškerý sediment uvolněný na zemědělských pozemcích dosahuje vodotečí a jimi uzávěrového profilu povodí = povodí produkuje velký povrchový odtok z příčné srážky).

Metoda není určena ke kvantifikaci charakteristik povrchového odtoku, ale nepřímě o něm dosti dobře vypovídá. Navíc je vcelku jednoduchá a s výjimkou srážky zahrnuje v sobě všechny podstatné činitele, ovlivňující tvorbu povrchového odtoku.

3.5.1 Metodika

Metodika výpočtu přesně sleduje postupy a matematické vztahy, nastíněné v kapitole 2.4. Hodnota součinitele Poměru odnosu SDR je tak určována na základě vztahu dle (Williams, 1977) ve tvaru

$$\text{SDR} = 1,366 * 10^{-11} * F^{-0,0998} * \text{RP}^{0,3629} * \text{CN}^{5,444}$$

kde F je plocha povodí (km²),
RP - reliéfový poměr (m/km), tj. poměr výškového rozdílu mezi nejnižší a průměrnou výškou rozvodnice a největší délky odtokové dráhy v povodí,
CN - číslo odtokové křivky (průměrná hodnota pro povodí).

3.5.2 Příprava dat a výpočet

Vlastní výpočet je prostým dosazením skalárních veličin a předem připravených informačních vrstev do jediného vztahu. Z informačních vrstev ve vztahu figurují plochy dílčích povodí (F - km²) a průměrná hodnota čísla odtokové křivky (CN) v dílčím povodí. Obě informační vrstvy byly již vytvořeny pro dříve aplikované metody a jejich příprava je detailně popsána v předchozích kapitolách.

➤ *Reliéfový poměr*

Reliéfový poměr je parametr popisující geometrii a sklonitost povodí a je vyjádřen jako poměr výškového rozdílu mezi nejnižší a průměrnou výškou rozvodnice a největší délky odtokové dráhy v povodí (m/km).

➤ **Délka odtokové dráhy (hydraulická délka povodí)**

Délka odtokové dráhy je nejdelší odtoková dráha po které může voda odtékat v rámci každého dílčího povodí. Tato veličina byla použita již pro stanovení doby zpoždění T_L při výpočtu kulminačních průtoků metodou CN křivek. Její odvození je proto podrobně popsáno v příslušných odstavcích.

➤ **Výškový rozdíl**

Jedná se o výškový rozdíl mezi nejnižším bodem povodí (jeho uzávěrovým profilem) a průměrnou výškou rozvodnice.

Nadmořská výška nejnižších bodů každého povodí byla zjišťována extrakcí minimální hodnoty z rastrované hranice každého povodí ve formátu LINE nad DTM. Průměrná výška rozvodnice pak zcela analogicky extrakcí průměrných hodnot z rastrové hranice dílčích povodí nad DMT.

3.5.3 Výstupy

Výstupem výpočtu je mapa, kde každému povodí je přiřazena jeho hodnota SDR. I přesto, že z fyzikálního hlediska jsou smysluplné hodnoty SDR mezi 0,0 a 1,0, matematicky je možné, aby výsledkem této ryze empirické rovnice byly i hodnoty vyšší než 1,0. Fyzikální interpretace tohoto výsledku by zřejmě spočívala v tvrzení, že transportní kapacita povrchového odtoku z povodí přesahuje dostupné množství uvolněného sedimentu a zřejmě tedy může docházet k vymílání koryt. Nicméně způsob odvození rovnice SDR takové vysvětlení nedovoluje (tato interpretace by odpovídala fyzikálně založenému modelu).

Faktem nicméně je, že z ryze matematických důvodů výsledek přesáhl mezní hodnotu $SDR = 1,0$ a to z důvodu, že vstupní parametry nabývaly neobvykle vysokých hodnot, což v zásadě napomáhá tvorbě povrchového odtoku.

Z uvedeného důvodu byla nakonec provedena reklasifikace celkem 19 povodí, kde výstupní hodnota SDR přesáhla hodnotu 1,0 na hodnotu $SDR = 0,99$. Důvodem hodnoty 0,99 je zachování formátu reklasifikované vrstvy ve formátu REAL.

Tato úprava se týkala následujících povodí:

Číslo povodí identifikační	Číslo hydrolog. pořadí	SDR	Plocha v kraji (km ²)	Číslo povodí identifikační	Číslo hydrolog. pořadí	SDR	Plocha v kraji (km ²)
160	112020460	1,09	1,09	469	109020990	1,73	0,99
171	112010240	1,11	4,79	498	109020890	4,74	0,005
173	112010210	1,69	1,90	575	113030940	1,48	0,0009
177	112010010	1,12	0,54	604	112030030	1,04	0,74
185	109030900	1,09	0,18	998	103050430	1,60	0,0009
189	109030700	1,07	1,03	1011	104050410	1,12	0,04

261	112020150	1,02	3,36	1037	103050420	1,81	0,03
280	112010230	1,44	4,41	1194	111010140	1,04	1,21
336	109031300	1,42	0,23	1209	111040530	1,49	0,15
440	109030680	1,38	0,78				

Jak ukazuje následující tabulka, jedná se výhradně o povodí malá, až zanedbatelná, velmi často navíc o povodí, ležící na hranici řešeného území a tudíž redukovaná hranicí Středočeského kraje. Vliv těchto lokálních extremalit na celkový výsledek je zanedbatelný.

Všechny operace byly prováděny v prostředí GIS kombinací jednotlivých datových vrstev, nicméně veškeré hodnoty podstatné pro výpočet byly paralelně extrahovány do databáze *.MDB a průběžně převáděny do tabulek *.XLS. Tyto tabulky umožňují výpočet opakovat, či velmi jednoduše modifikovat a upravené hodnoty pak zpět přiřadit informačním vrstvám. Tabulky ve formátu *.XLS jsou součástí výstupní dokumentace, vzhledem ke značnému rozsahu (cca 1300 řádek) nebyly tištěny (**Obr.17**).

3.5.4 Diskuze výsledků

Metoda je velmi jednoduchá a byť odvozená pro jiný účel, srážko-odtokové poměry řešených povodí pro potřeby studie dosti dobře charakterizuje.

Nevýhodou je do určité míry absence faktoru srážek v rovnici, na druhé straně však poskytuje stejné výstupy, které byly v jiných metodách dosahovány zahrnutím konstantního úhrnu na celé ploše s cílem vyloučit vlivy prostorové variability srážek.

Ve výsledcích byly zjištěny v několika povodích extrémní hodnoty, přesahující interval vysvětlitelných výstupů. Analýzou však bylo zjištěno, že se jedná téměř výhradně o zanedbatelně malá podpovodí a tudíž jde s největší pravděpodobností jen o nepříznivou kombinaci náhodných vstupů bez významného vlivu na interpretovatelnost celého výstupu.

4. Shrnutí a vyhodnocení výsledků

4.1 Způsoby prezentace

Výstupem řešení zadaného projektu je velké množství jak grafických, tak tabelárních výsledků. Jednoznačným výstupem může být například mapa rozložení relativních kulminačních průtoků podle metody CN křivek. Nicméně celkový počet zobrazených povodí je 1221 a barevná stupnice neumožní u tak velkého počtu ploch a rozpětí hodnot v několika řádech dostatečně jemnou analýzu pouhým okem. Tabelární prezentace seřazení jednotlivých povodí podle kulminačního průtoku (relativního) sice tento problém do jisté míry řeší, ale je zde pak problém doplňkových informací (poloha povodí, jeho velikost,...).

Aby bylo možno výsledky prezentovat co nejpřehlednějším způsobem, byly veškeré dosažené výsledky nejdříve klasifikovány do 10-stupňové klasifikace a následně sdruženy do povodí II. řádu.

4.1.1 Klasifikace výsledků

Klasifikace výsledků do deseti tříd od třídy 1 – nejméně nebezpečná, po třídu 10 – maximální ohrožení byla prováděna s cílem usnadnit vizuální posouzení situace a vzájemné porovnání rizikových lokalit. Při zobrazení skutečných (byť i relativních hodnot) je spektrum barev výrazně ovlivněno velmi širokým rozpětím minimálních a maximálních hodnot, přičemž celková distribuce povodí různého stupně nebezpečnosti odpovídá přibližně normálnímu statistickému rozdělení, avšak s velkou špičatostí.

Z důvodu výše uvedeného rozdělení výsledných hodnot byly třídy voleny tak, aby do každé kategorie nebezpečnosti spadala 1/10 z celkové plochy řešeného území. Tak je zajištěna dobrá přehlednost a vypovídací schopnost map z hlediska vzájemné srovnatelnosti jednotlivých povodí za cenu nepravidelného členění stupnice do jednotlivých intervalů. (**Obr.19**).

Podobných způsobů kategorizace by bylo možno vytvořit nekonečné množství a vzhledem k tomu, že zadavatel dostává ve výstupní dokumentaci veškeré potřebné podklady, může si výstupy libovolně modifikovat podle svých potřeb.

4.1.2 Prezentace v povodí II. řádu

Vzhledem ke značné prostorové nerovnoměrnosti byla snaha o lepší prezentovatelnost výsledků. Proto bylo řešené území Středočeského kraje rozděleno na části, podle jejich příslušnosti k povodím II. řádu dle čísla hydrologického pořadí. Takových částí je na území Středočeského kraje celkem 11, z toho 3 jsou zastoupeny pouze zanedbatelnou plochou (do 20 km²) (**Obr.22**).

V řešených částech povodí II. řádu je pak extrakcí hodnot kategorií jednotlivých povodí IV. vypočtena hodnota průměrné kategorie celé řešené části povodí II. řádu jako vážený průměr jednotlivých dílčích podpovodí IV. řádu podle jejich plochy.

Tento způsob prezentace jednoznačně ukazuje, že nejrizikovější částí území Středočeského kraje z hlediska produkce kulminačních průtoků Q_{pH} je oblast povodí Sázavy, nejméně riziková pak naopak povodí Labe od Jizery po Vltavu včetně povodí Jizery. Z hlediska objemu povrchového odtoku O_{pH} je nejnebezpečnější východní část řešeného území – povodí Sázavy a povodí Labe od Doubravy po Jizeru, nejméně nebezpečná je pak, stejně jako v případě kulminačních průtoků oblast povodí Labe od Jizery po Vltavu včetně Jizery (**Obr.23**).

Podobným způsobem by samozřejmě bylo možno kategorizaci vztáhnout i na povodí III. řádu, kterých by však bylo již podstatně více.

4.1.3 Vliv prostorové variability srážek

Vliv prostorové variability srážek byl ve studii zahrnut tím, že výpočty byly prováděny jednak na návrhové srážky daných dob opakování, vytvořených na základě údajů v literatuře (Šamaj a kol., 1985) z velkého počtu stanic a tedy s poměrně vysokou variabilitou (rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou srážky téže doby opakování na území Středočeského kraje dosahuje téměř 50 %) a jednak pro konstantní srážkový úhrn 50 mm na celém řešeném území.

Z metod, které byly nakonec doporučeny jako nejvhodnější (kulminační průtoky a objemy odtoku dle metody CN) vyplývá, že větší význam je patrný u celkových objemů odtoku, kde v použitém vztahu hraje srážkový úhrn podstatně větší vliv. Výsledky zde naprosto odpovídají rozdělení srážkových úhrnů – tedy za předpokladu konstantní srážky na celém území je zjednodušeně řečeno více ohrožena severní část území a naopak poměrně méně ohrožena jižní část oproti variantě výpočtu se zahrnutím prostorové variability srážky.

Zahrnutí prostorové variability srážek do výpočtu je samozřejmě správné, současně se však jedná o nejméně jistý článek vstupních dat, který přitom zejména výpočet objemů odtoků ovlivní dosti významně. Na druhou stranu, uvažování konstantní srážky na celém území Středočeského kraje je sice evidentně nesprávný předpoklad, na druhé straně ale jednoznačně popisuje chování povodí za stejných podmínek. Pravdou je, že tyto podmínky se v každém povodí vyskytnou s jinou pravděpodobností, ale jako možnou informaci nebo způsob porovnání to zpracovatelé považují za zcela relevantní.

Je třeba si uvědomit (což bude v závěrech ještě několikrát zmíněno), že předávaná studie není konečným materiálem, ale jakýmsi dynamickým systémem, s nímž by zadavatel měl dále pracovat a zpracovatel nabízí jeho další rozvíjení, zpřesňování a zdokonalování zahrnováním lepších výpočetních metod a nových a přesnějších zdrojů vstupních dat. Výstupy proto rovněž nemohou být jednoznačné, ale konečné rozhodnutí je vždy na zadavateli. Zpracovatel se mu touto studií snaží poskytnout co nejlepší podklady pro kvalifikované rozhodnutí – které však musí zohledňovat řadu dalších kritérií a priorit.

4.2 Zhodnocení jednotlivých metod

Po zvážení pozitiv a negativ všech použitých metod byla řešiteli jako nejvhodnější doporučena metoda na základě čísel odtokových křivek CN, a to jak metoda objemů odtoků, tak i kulminačních průtoků. Pro verifikaci absolutních nebo relativních výsledků pro jednotlivá povodí nejsou bohužel dostupná data, proto je možno metody porovnávat pouze na základě logických úvah a odvození.

Navíc je třeba na tomto místě zmínit i fakt, že všechny aplikované metody jsou vzájemně provázány přes hodnotu čísel odtokových křivek (CN), která tvoří jeden ze základních vstupů do každé z nich. Vzhledem k tomu, že tento parametr, popisující půdní vlastnosti a způsob využití území byl spolu se sklonem území, velikostí povodí a případně i jeho geometrií zahrnut do všech metod, nelze očekávat dramaticky odlišné výsledky. Různé výstupní hodnoty, jejich distribuce, výskyt extrémů, ... pak závisí především na váze, která je jednotlivým faktorům přiřazena a na způsobu práce s nimi.

Zmíněná metoda CN křivek byla jako nejvýhodnější zvolena z následujících důvodů:

- Metoda je již po dlouhou dobu využívána v inženýrské praxi nejen u nás ale i na řadě dalších pracovišť ve světě
- Metoda byla oficiálně doporučenou metodikou pro výpočet charakteristik povrchového odtoku
- Metoda v sobě zahrnuje všechny podstatné parametry z hlediska tvorby povrchového odtoku
- Pro metodu jsou k dispozici všechny nutná vstupní data a převodní tabulky doporučených hodnot
- Metoda je jednoduchá a dostatečně průhledná
- Metoda poskytuje jak celkové objemy odtoku, tak i kulminační průtoky

Z obou uvedených pod-metod je za závaznější možno považovat výpočet kulminačních průtoků, protože jednak jsou jejím výstupem hodnoty kulminací v uzávěrových profilech povodí, což je z hlediska protipovodňové ochrany nejzajímavější a nejdůležitější charakteristika, a jednak v sobě zahrnuje nejvíce parametrů, popisujících vlastnosti povodí, podstatné z hlediska tvorby povrchového odtoku. Je sice pravdou, že se jedná o metodu velmi jednoduchou, empirickou a dnes zajisté překonanou, ale pro generelní přístup, jehož cílem je vzájemné porovnání a kategorizace povodí ji zpracovatelé studie považují za dostatečnou.

V následujících odstavcích je provedena diskuse rozdělení nebezpečných povodí z hlediska jednotlivých metod tak, aby poskytla rámcový obraz o ohroženosti celého území Středočeského kraje. Znovu je třeba připomenout, že postupy byly aplikovány na jednotlivá dílčí povodí, která pak byla a musí být posuzována odděleně. Jednotlivé hodnoty nelze sčítat, navíc zatím neexistuje informační vrstva, která by formou orientovaného grafu mohla vytvořit schéma takové kumulace směrem po toku.

Lokalizace uvedená v následujících odstavcích je spíše orientační a nemůže být chápána doslovně – především proto, že vyhodnocení bylo prováděno pro jednotlivá povodí a u některých metod (především metoda kulminačních průtoků podle CN) je prostorová variabilita velká a sousední povodí co do nebezpečnosti mohou ležet na opačných okrajích

stupnice. Proto zadavatele a další případné uživatele odkazujeme na tabulkové výstupy, kde je možno povodí jednoduše třídit a řadit podle různých kritérií (viz. též tabulka nejnebezpečnějších povodí **Tab.4.1**).

V **Tab.4.1** je prezentováno pořadí prvních 20 povodí IV.řádu z hlediska nebezpečnosti podle kulminačních průtoků dle metody CN křivek. Jako dodatečné kritérium byla vložena velikost dílčího povodí nad 5 km² (z důvodu eliminace pravděpodobně výpočtových chyb v lokalitách extrémně malých a ve zbytcích povodí IV. řádu po jejich oříznutí hranicí řešeného území) a dále bez povodí, spadajících významnou částí do kraje Pražského (který jednak není zájmovým územím podle zadání studie a jednak se jedná převážně o plochy významně urbanizované, pro které použitá metoda není vhodná).

4.2.1 Objemy odtoku – CN křivky

Povodí IV. řádu jsou podle této metody poměrně pravidelně sdružena do větších oblastí přibližně stejných kategorií nebezpečnosti. Rozdíly v distribuci nebezpečných povodí mezi variantami s různou dobou opakování příčinné srážky je zcela zanedbatelný, poměrně větší je však rozdíl mezi variantami, kdy je uvažována reálná distribuce srážek a nebo konstantní srážkový úhrn. Při konstantním srážkovém úhrnu výrazněji vystupují do popředí vlastnosti povodí a ukazuje se, že obecněji je více ohrožena severnější část a méně jižní (než u skutečného rozdělení srážek), tj. rozdíly mezi severní a jižní částí jsou menší (**Obr.19a**).

Nejvíce ohroženými oblastmi jsou:

- Levý břeh Jizery v okolí Mladé Boleslavi
- Pravý břeh Labe kolem Městce Králové až k Nymburku
- Severní a jižní svahy pod hlavním hřebenem Brd
- Okolí Uhlířských Janovic
- Oblast kolem řeky Blanice je sice poměrně ohrožená, nicméně situace není zdaleka tak závažná, jako z hlediska kulminačních průtoků (viz níže).

Výrazně špatné výsledky (nejvyšší riziko) vykazuje i většina území kraje Praha. Toto území však jednak nebylo předmětem řešení a jednak pro něj, jak již bylo několikrát upozorňováno, nejsou výsledky zcela relevantní, protože použitá metoda není vhodná pro výrazně urbanizovaná území.

Nejméně ohroženými oblastmi naopak jsou:

- Pravý břeh Labe od Nymburka po Mělník
- Dolní Pojizeří
- Okolí Berounky od Berouna po hranici kraje

4.2.2 Kulminační průtoky – CN křivky

Výsledková vrstva ohroženosti podle kulminačních průtoků se vyznačuje poměrně pravidelnou distribucí nejvíce ohrožených povodí po celé ploše území. I přesto lze v některých lokalitách vysledovat shluky nebo jen vyšší počet více ohrožených povodí v jedné oblasti.

Rozdíly mezi výpočtovými variantami s konstantní nebo prostorově proměnnou srážkou jsou viditelné, ale ne výrazné; rozdíl je většinou jen o jednu kategorii (**Obr.19b**).

Nejohroženějšími oblastmi podle popisované metody jsou:

- Levý břeh Jizery kolem Mladé Boleslavi
- Oblast severovýchodně od Kolína na pravém břehu Labe
- Nebezpečná povodí se častěji vyskytují přibližně v celé jižní části povodí s výraznější kumulací podél Blanice

Výrazně špatné výsledky (nejvyšší riziko) vykazuje i část území kraje Praha. Toto území však jednak nebylo předmětem řešení a jednak pro něj, jak již bylo několikrát upozorňováno, nejsou výsledky zcela relevantní, protože použitá metoda není vhodná pro silně urbanizovaná území. Zajímavý je výsledek, že do nejnebezpečnějších kategorií nespadá jihovýchodní oblast Prahy, což zřejmě koresponduje s místy řidší zástavbou (neplatí pro Jižní město) a menšími sklony).

Nejméně ohroženými oblastmi naopak jsou:

- Polabí, zejména na pravém břehu řeky
- Okolí Kolína a Kutné Hory
- Oblasti Slánska a Rakovnicka

Zejména v případě výčtu méně ohrožených lokalit je však třeba připomenout poměrně výrazné prostorové rozložení nebezpečných povodí, a to izolovaně i do jinak bezproblémových regionů. Informaci proto nelze reprodukovat plošně bez analýzy konkrétní lokality.

4.2.3 Odtokový součinitel – proporční metoda

Výsledné vrstvy ohroženosti jednotlivých povodí z hlediska kulminačních průtoků vypočtených metodou odtokového součinitele pro různé doby opakování se liší, rozdíly jsou však patrné především u povodí, které nejsou negativním ani pozitivním způsobem extrémní.

Z výsledných map tedy vyplývá, že neohroženějšími jsou oblasti:

- Okolí Litavky severně od Příbrami
- Okolí soutoku Berounky s Litavkou
- Oblast severně od Benešova

- Údolí Vltavy jižně od soutoku se Sázavou
- Pojizeří v okolí Mladé Boleslavi
- Levý břeh Sázavy od soutoku s Želivkou po soutok s Blanicí
- Oblast Blanice v okolí Blaníku

Obecně je možno říci, že více ohrožená je jižní až jihozápadní část území kraje. Stále však platí, že výrazně ohrožená povodí se vyskytují po celém území kraje, takže je před dalšími kroky třeba jednotlivá vybraná povodí podrobněji analyzovat (**Obr.19c**).

Z výsledků dále vyplývá, že relativně méně jsou ohrožena povodí v údolí Labe a povodí vyskytující se v oblasti mezi Rudnou u Prahy a Slaným. I zde se však vyskytují roztroušena povodí, která je možno charakterizovat jako značně riziková a proto nelze analýzy bezvýhradně generalizovat na území o větších rozlohách..

4.2.4 Poměr odnosu (SDR)

Výsledná vrstva hodnot poměru odnosu SDR vykazuje podobné vlastnosti jako závěry výše prezentovaných metod. Metoda SDR v sobě nezahrnuje faktor srážky, proto plošné rozdělení výsledků nekoresponduje nijak s plošným rozvržením srážek.

Obecně se plošné rozvržení nebezpečnosti jednotlivých povodí podle SDR dá charakterizovat tak, že v severní části řešeného území převažují plochy neohrožené, resp. tvoří poměrně velké celky, zatímco nebezpečná povodí jsou výrazně odlišena. V jižní části pak je velmi pestrá mozaika z hlediska nebezpečnosti povodí bez významných shluků.

Pohledově se zdá, že v této metodě se výrazným způsobem uplatňuje kombinace faktorů sklonu terénu s půdními podmínkami (**Obr.19d**).

Nejohroženějšími oblastmi podle popisované metody jsou:

- Na levém břehu Jizery na východ od Mladé Boleslavi je na rozdíl od předchozích metod výrazně ohrožených jen několik povodí
- Pravý břeh Cidliny
- Severní a jižní svahy pod hlavním hřebenem Brd
- Oblast soutoku Litávky a Berounky
- Podél toku Blanice a v okolí Uhlířských Janovic

Výrazně špatné výsledky (nejvyšší riziko) vykazuje i většina území kraje Praha. Toto území však jednak nebylo předmětem řešení a jednak pro něj, jak již bylo několikrát upozorňováno, nejsou výsledky zcela relevantní, protože použitá metoda není vhodná pro silně urbanizovaná území.

Nejméně ohroženými oblastmi naopak jsou:

- Většina Polabí a dolní Pojizeří
- Území podél Berounky od Berouna k hranici zájmového území a dále směrem na Rakovník a Řevničov

Zejména v případě výčtu méně ohrožených lokalit je však třeba připomenout poměrně výrazné prostorové rozložení nebezpečných povodí, a to izolovaně i do jinak bezproblémových regionů. Informaci proto nelze reprodukovat plošně bez analýzy konkrétní lokality.

4.3 Lokalizace nejnebezpečnějších povodí

Při pokusu o analýzu výskytu nejnebezpečnějších povodí, zejména podle metody CN křivek, z hlediska kulminačních průtoků nelze jednoznačně identifikovat příčinu ohroženosti. S výjimkou části centrálního Polabí, kde jsou povodí s extrémními hodnotami retence, což je dáno výskytem borových lesů na písčitéch půdách (hodnoty CN se zde pohybují kolem 30 a na základě metody povodí produkují povrchový odtok až při srážce s dobou opakování 100 let) se příčiny výskytu extrémně nebezpečných povodí střídají – v některých případech se jedná o povodí, zatěžovaná vysokou srážkou, jinde s vysokým sklonem, nevhodně využívaná a na nepropustných půdách.

Celkově se však zdá, že klíčovým faktorem z hlediska produkce kulminačních průtoků je kombinace půdních a sklonitostních podmínek, při menším akcentu na způsob využití území. Prostorové rozložení srážek se pak zdá být spolu s půdními podmínkami velmi významné při odhadu objemu odtoku.

Rozmístění nejnebezpečnějších povodí bylo popsáno podrobněji v odstavci 4.2.2. Přesto je nezbytné si přesnou lokalizaci řešené lokality ověřit pomocí podrobnější mapy nebo tabelárních výstupů, které tvoří nedílnou součást studie.

Jako určitá prezentace možnosti a aplikace výsledků studie je uváděna následující tabulka **Tab.4.1**, shrnující nejohroženější povodí v rámci Středočeského kraje z hlediska produkce povrchového odtoku při srážce s dobou opakování $N = 100$ let. Při tvorbě tabulky bylo dalším kritériem jednak velikost povodí nad 5 km^2 , z důvodu eliminace velmi malých ploch, kde často dochází k výpočtovým chybám vlivem náhodné kombinace extrémů, jednak vyloučení povodí, významně zasahujících do kraje Praha, kde je u nich předpokládán vysoký podíl urbanizovaných ploch.

5. Závěry a doporučení

Závěry a doporučení celé studie je možno shrnout do následujících stručných bodů:

- ***Doporučená metoda***

Při současném stupni poznání, na základě logické analýzy doporučují autoři studie jako kritérium pro stanovení nebezpečnosti povodí používat metodu výpočtu kulminačních průtoků pomocí CN křivek (Pasák a kol., 1983)

- ***Nejnebezpečnější povodí***

Přehled 20 nejnebezpečnějších povodí uvádí v pořadí **Tab.4.1**; obecně je rozložení nebezpečných povodí popsáno v kapitole 4.2.2. Při interpretaci obecné lokalizace je třeba si uvědomit, že spolu mohou sousedit i povodí z opačných konců klasifikační stupnice, proto je při jednání o konkrétním povodí vždy nutno si jeho polohu a výsledek ověřit buď pomocí podrobnější mapy nebo s využitím tabelárních výstupů přes číslo hydrologického pořadí.

- ***Využití Studie***

Je třeba si uvědomit, že výstupem studie je „otevřený dynamický systém“, který tím, že byl zpracován na základě 4 výpočetních metod, pro 6 srážkových alternativ s několika různými způsoby výstupu (absolutní hodnoty, relativní hodnoty, kategorie), poskytuje zadavateli (uživateli) možnosti samostatně si zadáváním různých kritérií a priorit hledat nejvhodnější kombinace informací tak, aby mohl co nejkvalifikovaněji rozhodovat. K tomu jsou mu rovněž předány všechny nezbytné podklady ve formě textových informací metodického charakteru, tabulek i informačních vrstev GIS jak se vstupními parametry, tak se všemi výsledky.

Studie byla navíc řešena „modulárním způsobem“. Není proto v budoucnu problém, výpočet modifikovat v případě, že bude dostupná přesnější informační vrstva některého ze vstupních parametrů.

- ***Podrobnější řešení***

Prezentovaná metoda je metodou spadající do tzv. „globálního přístupu“, jehož cílem je vyhledání problémových lokalit. Metoda si nečiní ambice, stát se duplicitou například ČHMÚ při poskytování základních hydrologických dat (cílem studie je například to, že není nutno si od ČHMÚ objednávat Základní hydrologická data z cca 1200 dílčích povodí, aby bylo možno vyhodnotit nejnebezpečnější z nich).

Metodicky správným přístupem by proto bylo do povodí, vytipovaných jako nebezpečná, soustředit podrobnější řešení na bázi matematických simulačních modelů srážko-

odtokových vztahů s využitím podrobnějších dat, jejichž cílem pak je již přímo návrh a dimenzování ochranných opatření.

- ***Ochranná opatření***

Z hlediska ochranných opatření se ukazuje, že při kratší době opakování výskytu srážky (cca do 20 let) je efektivním způsobem ochrany změna využití území. Při srážkách zcela extrémních dob opakování (např. $N = 100$ let) se tato organizační opatření ukazují jako zcela neefektivní a rozhodnutí se přesouvá ke zvážení výstavby technických opatření (zkapacitnění koryta, ochranných hrází nebo retenčních vodních nádrží a poldrů) a nebo ekonomicky výhodnější nižší stupeň ochrany území, nejsou-li ohroženy lidské životy.

6. Perspektivy budoucího vývoje řešení

Prezentovaná studie představuje současný stav poznání. Jedná se sice o velký krok vpřed při efektivním plánování v protipovodňové ochraně, stále je to však jen jeden z prvních kroků, které umožňují stávající metody, založené na geografických informačních systémech, metodách DPZ, kombinacích databázových údajů různých resortů a poskytovatelů.

Základní slabinou metody, kromě nepřesnosti vstupních dat i samotného výpočetního postupu, je to, že sice označí povodí produkující velký odtok, ale již nepodá informaci o tom, co tento odtok v povodí může způsobit. Taková informace by byla jistě velmi žádoucí a mohla by celkovou prezentovanou kategorizaci povodí významně změnit oběma směry.

Dalším krokem by pak měl být přechod od systémů statických (které jsou jednou vytvořeny a podávají pouze informace o potenciálních rizicích) k systémům dynamickým, pracujícím v reálném čase.

Prvním z takových dynamických systémů by mohl být systém, kde by byla mapa rizikových povodí, popsaná v předchozím odstavci, porovnávána s reálnou meteorologickou předpovědí. Dalším krokem by pak logicky měl být systém, který do popsaného schématu zařazuje informaci o aktuální nasycenosti povodí vodou, která je pro hydrologickou odpověď daného povodí prakticky stejně důležitá jako vlastní srážka. Zatímco pohyb výrazných bouřkových útvarů, zasahujících plochu povodí IV.řádu je již dnes schopen ČHMÚ s relativně vysokou pravděpodobností sledovat pomocí meteorologických radarů a varovný signál pak vyslat v řádovém předstihu desítek minut, průzkum aktuální nasycenosti je ideální úlohou pro metody dálkového průzkumu Země – i když dosud v této oblasti nebylo dosaženo uspokojivých výsledků. Možnost, že by mohly být radnice a úřady ohrožených lokalit varovány s vysokou pravděpodobností v řádu hodin před vážnou povodňovou událostí by oproti současnému stavu znamenalo zajisté značný přínos. Ještě je třeba poznamenat, že řeč je o povodních způsobených přívalovými dešti na menších povodích, nikoliv o velkých povodních typu let 1997 nebo 2002, jejichž mechanismus je zcela jiný. Podrobněji byly možnosti metodiky popsány například v článku (Dostál a kol., 2003).

7. Kritické poznámky – limity využitelnosti

V následujících odstavcích je provedena diskuze limitů využitelnosti výsledků studie co do jejich přesnosti a způsobů interpretace. Jedná se jednak o to, že ve vstupních datech byla nalezena během řešení řada chyb, s nimiž se zpracovatelé museli vyrovnat, často však za cenu ztráty přesnosti a jednak o to, že výstupy svou grafickou prezentací mohou být někdy zavádějící a nekvalifikovaný uživatel by je mohl interpretovat nesprávným způsobem, ať již nedoceněním jejich informační hodnoty, nebo naopak jejich přeceněním.

Kritické poznámky ke zkušenostem, získaným při zpracování zadaného úkolu spočívají především v tom, že stejně, jako v předchozích řešených úlohách, rozhodující množství času (a nutno podotknout, že zcela nepředvídatelné) zabralo řešení problémů, spojených s opravami chyb v datových vrstvách, které byly již dříve nejrůznějšími institucemi a firmami za nemalých nákladů vytvořeny, avšak ukazuje se, že kontrola při přebírání výsledků nefunguje resp. že vrstvy nejsou prakticky využívány, protože jinak by na podobné chyby musela upozorňovat již dříve řada jiných subjektů.

Kromě problémů, podrobně popsanych v kapitole 7.1 je řada dalších zmíněna například v citované práci (Dostál a kol., 2001), řešící otázky eroze a transportu sedimentu v měřítku České Republiky (například nejednoznačnost hranic České republiky, chyby a chybějící kategorie v databázi CORINE a některé další poznámky).

7.1 Limity využití z důvodu chybných vstupních dat

Výsledky získané výpočtem mají přesnost danu přesností metod. Tato zásada však platí v případě rovnocenné kvality vstupních dat. Během řešení byla zjištěna celá řada nedostatků v kvalitě vstupních dat, která byla pro řešení zajištěna ať již zadavatelem nebo řešitelem. Tato skutečnost je o to více zarážející, že ve všech případech šlo o oficiální a údajně i často využívané datové vrstvy, které byly pořízeny za nemalé státní prostředky. Některé z nich musely být navíc od státních institucí pro zpracování „státní zakázky“ znovu za nemalou cenu zakoupeny (mapy BPEJ – VÚMOP Praha).

Tyto chyby pak nepochybně negativně ovlivňují přesnost řešení v místech jejich výskytu a to i přesto, že řešitel se snažil o jejich co nejpřesnější zahlazení. Způsob odstranění totiž v zásadě může spočívat jedině v nahrazení chybné vrstvy v dané lokalitě vrstvou sice správnou, ale nižší kvality, která je dostupná, doplněním odhadnutých hodnot nebo vypuštěním lokality z řešení.

Konkrétně se tyto problémy týkaly především:

7.1.1 Družicová mapa ČR

Použitá Družicová mapa ČR (Arcdata, Praha) se jednoznačně ukázala méně vhodným podkladem pro klasifikaci, než bylo před započítím projektu předpokládáno. Zkušenost řešitele s vyhodnocováním kompletních scén Landsat ETM+, které rovněž vedly k využití této mapy, nebyly zcela dostačující k přesnému odhadu náročnosti práce s tímto produktem, což ovšem lze do značné míry omluvit nepřesnými údaji, které poskytovatel uvedeného podkladu uvádí ve své nabídce. Všechny důvody použití Družicové mapy ČR jsou shrnuty v předchozích kapitolách (1.2.3. a 3.1.5.), a zde tedy pouze stručně k jejím nedostatkům:

- Jednotlivé oblasti mapy se značně liší co do odrazivosti odpovídajících si kategorií povrchu. To je pochopitelné, neboť se jedná o montáž několika snímků, navíc ne zcela ze stejného období. Tato nevýhoda může být částečně překonána opatrnou klasifikací jednotlivých oblastí s důrazem na terénní průzkum a využití podrobných map. Automatizace procesu díky tomu není možná a je vhodné, aby vyhodnocení probíhalo v každé scéně zvlášť (**Obr.8**).
- Další problém je způsoben použitím spektrálních pásem kombinovaných s černobílým snímkem. Tímto postupem bylo sice dosaženo vyššího rozlišení zdrojových dat, ale za cenu částečné ztráty kompaktnosti odrazivosti územních celků (černobílý snímek vnesl do mapy další rozdíly v odrazivosti jednotlivých ploch). Pro automatickou klasifikaci by bylo vhodnější použití skutečných pásem družicového snímku (nejlépe všech šesti), případně také černobílého snímku, jako samostatné vrstvy (**Obr.25**). Naopak Družicová mapa může být přesnějším podkladem pro ruční digitalizaci na základě vizuální interpretace. To ovšem není cesta vedoucí k efektivnímu vyhodnocení rozsáhlého území (pokud není k dispozici velký tým řešitelů).
- Zcela oprávněně kritizovatelným nedostatkem mapy je zjištěná oblačnost. Mapu degraduje jednak zcela neprůhledná vysoká oblačnost na řadě míst, hluboké stíny této oblačnosti a částečně propustná rozptýlená oblačnost v několika dalších oblastech (**Obr.7**). Jsou to nedostatky, které by distributor mapy neměl tolerovat, pokud je nemůže řešit, přinejmenším měl na ně před prodejem mapy důrazně upozornit (což se však nestalo).

7.1.2 Vrstvy DMÚ 25

Informační vrstvy byly získány zřejmě skenováním rastrového podkladu a následnou automatickou vektorizací. V liniích tak jsou přerušeny, způsobená například křížením s jinou linií, zřejmě i textem v mapovém podkladu apod. Tento fakt může být značným problémem, pokud je snaha podklad využít s cílem použít linie k vedení jakýchkoliv toků v území.

V rámci této studie se kritika soustřeďuje na vrstvy, popisující vodní toky a vodní nádrže:

- VOD2_LIN – vrstva, zahrnující jen vodní nádrže, jejich hladiny ale nejsou uzavřenými polygony, protože často jsou ukončeny hrází, která spadá do jiné vrstvy. Navíc se často jedná o několik vzájemně vnořených polygonů, protože

vektorizovány byly linie modré barvy a těmi jsou v DMÚ 25 i vrstevnice v prostoru vodních nádrží.

- VOD1_POL – vrstva uzavřených polygonů, zahrnující veškeré vodní plochy v území – jak vodní nádrže i menší rybníky, tak i hladiny širších řek. Do polygonů se promítly rovné úsečky, není zcela jasné, co značí, ale zdá se, že se jedná o části hranic mapových listů, stejně jako se tak děje i v řadě dalších vrstev.
- VOD1_LIN – vrstva vodních toků, liniová. Objevují se nejen informace z předchozí vrstvy (VOD1_POL = hranice vodních nádrží i širších vodních toků), ale i všechny vodní toky, zakreslené v mapě 1 : 25 000. Problémem však je, že významnější vodní toky jsou zakresleny dvěma nebo i více paralelními čarami – jako břehové hrany a jejich korytech je promítnuta celá řada dalších objektů (plavební zařízení, jezy,...), které jsou v původní mapě zakresleny modrou barvou. Menší toky navíc nejsou zakresleny souvislými čarami, mají řadu chybějících úseků a skládají se z velkého počtu malých, zcela náhodně volených úseků, takže je prakticky nemožné je využít jako linii odtoku.

Další problematickou vrstvou, kterou bylo třeba před použitím výrazněji editovat, byla vrstva správních území, zahrnující v sobě hranice bývalých okresů v podobě polygonů. Do vrstvy (alespoň tak, jak byla předána zadavatelem) byly promítnuty hranice jednotlivých mapových listů, které musely být manuálně odstraňovány.

Mají-li uvedené vrstvy být chápány jako obrazový podklad pro vizuální hodnocení, je vše v pořádku, pokud by se ale mělo jednat o datovou vrstvu GIS, která má sloužit pro analýzu území (orientovaný graf), jedná se o materiál velmi těžko využitelný.

7.1.3 Oblasti podél hranice Středočeského kraje

Povodí IV. řádu pochopitelně zasahují i za hranici Středočeského kraje. Z tohoto důvodu byla původně pro řešení vytvořena hranice řešeného území tvořená vnější hranicí všech dílčích povodí IV. řádu, která do území Středočeského kraje byt' jen minimálně zasahují. S tímto přesahem byly vytvářeny i všechny informační vrstvy. Nicméně bohužel vrstva vrstevnic z DMÚ 25 měla, jak se ukázalo tak malý přesah přes hranici Středočeského kraje, že celá řada hraničních povodí jí nebyla plně pokryta. Při tvorbě DMT pak automatická procedury v částech povodí, které nebyly zcela pokryty vrstevnicemi, generovala naprosto chybný průběh DMT (**Obr.21**).

Z uvedeného důvodu byla hranice řešeného území uvažována skutečná hranice Středočeského kraje a z hraničních povodí pak byla uvažována jen jejich část, spadající přímo do povodí (přičemž však některé charakteristiky, jako např. hydraulická délka povodí) byly odvozovány ze skutečné velikosti povodí.

7.1.4 Hranice povodí IV. řádu

Vektorová vrstva hranic povodí IV. řádu byla vytvořena ve VÚV TGM Praha. Problémem vrstvy je, že byla tvořena po jednotlivých celcích (Berounka, Vltava, Labe, Ohře, Morava, Odra) a na Českém území pak tyto celky nebyly na sebe nalícovány – to znamená, že

mezi hranicemi těchto hlavních povodí jsou buď překryvy, nebo mezery. Vzhledem k dalšímu zpracování (převodu do rastru), překryvy nevadí. Problémem pak zůstávají mezery. Z toho důvodu byla zpracovatelem provedena manuální korekce hranic povodí na styku velkých povodí tak, aby se hranice všude napatrně překrývaly a byla jistota, že nikde nebude mezera.

Při kontrole výsledků na konci řešení však bylo zjištěno, že v místě se souřadnicemi (-778150; -1065470) je ve všech vrstvách jeden element s nulovými hodnotami. Při zpětné kontrole vektorového podkladu bylo zjištěno, že v tomto místě je mezi povodími č.h.p.1-11-04-015 a 1-11-04-017 mezera délky cca 100 m a šířky v nejširším místě 9,5 m, vzniklá chybnou digitalizací vodohospodářské mapy. Chyba nebyla korigována v rámci výše popsaných úprav, protože povodí neleží na hranici větších celků, ale v jejich středu, navíc vzhledem k velikosti je viditelná až při mnohonásobném zvětšení dané lokality. Tato mezera se při rasterizaci promítla do jednoho pixelu 30 x 30 m.

Vzhledem k zanedbatelnému rozsahu chyby se zpracovatelé za chybu sice omlouvají, na druhé straně však konstatují, že výsledky není třeba korigovat, protože se jedná o zcela zanedbatelnou plochu a zjistit tuto chybu během řešení by znamenalo předem předpokládat u každé vrstvy možnost jakýchkoliv chyb a provádět přísné kontroly – což by nemělo být náplní aplikačních studií.

7.2 Limity využití z důvodu omezenosti metod

Z hlediska využitých metod je třeba si uvědomit rovněž určité limity platnosti:

- Všechny použité výpočetní metody, včetně doporučené metody CN křivek, jsou metody jednoduché, empirické a z hlediska přesnosti dnes již překonané. Jejich výhoda spočívá v tomto případě v aplikovatelnosti v prostředí GIS a s využitím dostupných datových vrstev a doporučených tabulek vstupních dat.
- Proto je nutno mít na paměti, že absolutní výsledky jsou spíše orientační a měly by být prezentovány buď v podobě relativní a nebo lépe jen jako kategorizace a vzájemné porovnání dílčích povodí. Především v povodích menších nebo jinak extrémních mohou metody vykazovat i značné chyby.
- Všechny použité metody jsou doporučeny pro volnou nebo jen řídko urbanizovanou krajinu. V silně urbanizovaných lokalitách jsou proto výsledky výpočtů nespolehlivé a je třeba je tak chápat a prezentovat.
- Řešení bylo prováděno pro správní území Středočeského kraje a nikoliv povodí. Na hranicích řešeného území, kde musela být z výše uvedených důvodů dílčí povodí uměle odříznuta může docházet ovlivnění přesnosti výsledků.
- Použité metody neumožňují kumulaci výsledků směrem po toku. Každé povodí je třeba posuzovat odděleně a ani níže ležící povodí nemohou být vyhodnocena v kontextu s výše ležícími. Navíc dosud není k dispozici schéma, které by mohlo soužit pro podobný výpočet z povodí do povodí.

8. Reference

- Dostál T., Krása J., Váška J., Vrána K. – Mapa erozní ohroženosti půd a transportu sedimentu v České republice; dílčí zpráva projektu VaV/510/4/98 za rok 2001, koordinátor VÚV TGM Praha; ČVUT, Praha, 2001
- Dostál, T., Krása, J., Koudelka, P., David, V., Nováková, H., Váška, J., Vrána, K. (2001): Strukturovaný přístup k odhadu produkce povrchového odtoku z území In: Extrémní hydrologické jevy v povodí. Praha : ČVUT, Fakulta stavební, 2001, s. 147-160. ISBN 80-01-02445-8. ČVUT: Fakulta stavební, Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství
- Dostál, T., David, V., Krása, J., Nykl, J., Nováková, H., Uhlířová, K., Váška, J., Vrána, K. (2002): Strukturovaný přístup k odhadu povrchového odtoku z území, kapitola závěrečné monografie ke grantu GAČR č.103/99/1470 – Extrémní hydrologické jevy v povodí s prac. názvem: Povodně - prognózy, vodní toky a krajina, ČVUT v Praze, 80-01-02511
- Dostál T., Krása J., Nováková H., Váška J., Vrána K. (2002): Erozní a transportní procesy v povodí VN Vrchlice. Dílčí zpráva Projektu Rady vlády České republiky pro výzkum a vývoj VaV/510/4/98 - Omezování plošného znečištění povrchových a podzemních vod v ČR, VÚV TGM Praha, ČVUT Praha
- Dostál T., David V., Krása J., Vrána K (2003): Strukturovaný přístup k odhadu produkce povrchového odtoku z území a předpovědní systém povodňové ohroženosti, Vodní hospodářství 10/2003, Praha
- Dostál T. – David V. – Krása J. – Vrána K. – Váška J. (2003): Strukturovaný přístup k odhadu produkce povrchového odtoku z území a předpovědní systém povodňové ohroženosti, Vodní hospodářství 10/2003, str.269-272, 6319 ISSN 1211-0760
- Hrádek F., Kovář P. – Výpočet náhradních intenzit přívalových dešťů-metoda redukce 1-denních maximálních srážkových úhrnů; Vodní hospodářství 11/12, 1994
- Janeček M. a kol. – Ochrana zemědělské půdy před erozí, metodiky pro zavádění výsledků výzkumu do zemědělské praxe, ÚVTIZ 5/1992
- Janeček a kol. – Ochrana zemědělské půdy před erozí; ISV Praha, 2002
- Janeček M., Váška J. – Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy; Doporučený standard technický, skupina hydrologické výpočty; DOS T 4/06/2001; ČKAIT, 2001
- Krása J. - Vyhodnocení družicových snímků Landsat ETM+ za účelem získání tématické mapy využití území pro modelování erozních procesů, Arcrevue 1/2002, Praha, 2002
- Mašát K. a kol. – Metodika vymezení a mapování bonitovaných půdně ekologických jednotek; Mze ČR a VUMOP Praha, 2002
- Mistrya S.K., Singh V.P. – Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN) Metodology, Kluwer Academic Publisher, Water Science and Technology Library, Vol.42, London 2003
- Pasák V., Janeček M., Šabata M. – Ochrana zemědělské půdy před erozí; Metodika MZVŽ 11/83, ÚVTIZ Praha, 1983

- Patera, A. - Váška, J. - Jakubíková, A. (ed.), 2003: Sborník z příspěvků z Workshopu 2003 - Extrémní hydrologické jevy v povodích. ČVUT v Praze. 332 s. ISBN 80-01-02872-0.
- Šamaj F., Valovič Š., Brázdil R. – Denné úhrny srážok s mimoriadnou vydatnosťou v období 1901 – 1980. Zborník prác SHMÚ Bratislava, 1985
- Tan C.H., Melesse A.M., Zeh S.S. – Remote sensing and geographic information system in runoff coefficient estimation in China, Agricultural Engineering Research Center, China Taipei, 2000
- Williams J.R. – Sediment delivery ratio, determined with sediment and runoff models, 1977, In. Janeček a kol., 1992
- Williams J. R. – Sediment Delivery Ratios Determined with Sediment and Runoff Models. In. Erosion and Solid Matter Transport in Inland. International Association of Hydrological Sciences, Paris, 1977

9. Seznam obrázků a grafů (uvedeno ve zprávě)

Obr.1 – Digitální model terénu - DMT

Obr.2 – Hranice povodí IV. řádu a hranice Středočeského kraje

Obr.3 – Mapa BPEJ - kódy HPJ (nahore) a výsledná mapa hydrologických typů půd (dole)

Obr.4 – Mapa využití území – výsledná klasifikace pro území Středočeského kraje (legenda obsahuje pouze vybrané kategorie)

Obr.5 – Družicová mapa ČR pro území Středočeského kraje (na základě družicového snímku LANDSAT ETM+) – rozlišení 15 x 15 m

Obr.6 - Detail výsledku klasifikace – kombinace jednotlivých vstupů pro klasifikaci

Obr.7 - Ukázka chyb na satelitním snímku – mraky a jejich stíny

Obr.8 - Ukázka vlivu spojení scén z různého období na možnost automatické klasifikace lesů

Obr.9 - Přehled srážkoměrných stanic na území Středočeského kraje a v jeho blízkém okolí

Obr.10 - Vypočtená vrstva 24-hodinových srážkových úhrnů pro území Středočeského kraje s dobou opakování 10 a 100 let

Obr.11 - Vypočtená vrstva hodnot čísel odtokových křivek CN pro území Středočeského kraje – hodnoty v elementech

Obr.12 - Vypočtená vrstva hodnot čísel odtokových křivek CN pro území Středočeského kraje – hodnoty v dílčích povodích IV. řádu

Obr.13 - Vypočtená vrstva sklonů terénu pro území Středočeského kraje – hodnoty v elementech

Obr.14 - Vypočtená vrstva sklonů terénu pro území Středočeského kraje – hodnoty v dílčích povodích IV. řádu

Obr.15 - Objemy odtoku metodou CN křivek – relativní hodnoty pro srážky s dobou opakování 10 a 100 let a srážku 50 mm

Obr.16 - Kulminační průtoky metodou CN křivek – relativní hodnoty pro srážky s dobou opakování 10 a 100 let a srážku 50 mm

Obr.17 - Hodnoty součinitele poměru odnosu SDR

Obr.18 – Kulminační průtoky dle odtokového součinitele – relativní hodnoty pro srážky s dobou opakování 10 a 100 let

Obr.19a – Klasifikace povodí IV. řádu z hlediska objemu odtoku vypočteného metodou CN (pro dobu opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let a pro srážku 50 mm)

Obr.19b – Klasifikace povodí IV. řádu z hlediska kulminačního průtoku vypočteného metodou CN (pro dobu opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let a pro srážku 50 mm)

Obr.19c – Klasifikace povodí IV. řádu z hlediska kulminačního průtoku vypočteného metodou odtokového součinitele (pro dobu opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let)

Obr.19d – Klasifikace povodí IV. řádu z hlediska metody SDR

Obr.20 - Ukázka chyby v půdní mapě BPEJ

Obr.21 - Ukázka vlivu malého přesahu vrstevnic přes hranici kraje na přesnost výpočtu

Obr.22 - Členění kraje na povodí II. řádu

Obr.23 - Průměrná klasifikace na povodí II.řádu pro objem odtoku a kulminační průtok vypočtený metodou CN pro 100 – letou srážku

Obr.24a, Obr.24b – Koláčové grafy – poměrná zastoupení jednotlivých kategorií v rámci jednotlivých povodí druhého řádu – kategorizováno dle objemu odtoku vypočteného metodou CN

Obr. 25 - Porovnání Družicové mapy ČR (vlevo) a originální scény Landsat ETM+. Obrázky pokrývají stejné území, zobrazují spektrální pásma 453 ve stejném pořadí a bez úprav (pouze automatické zakotvení kontrastu). Na výřezech dole je vidět horší rozlišení a hranovou přesnost originální scény Landsat ETM+. Na druhou stranu jsou v případě scény jednotlivé plochy více konzistentní.

10. Seznam tabulek (uvedeno ve zprávě)

Tab.2.1 – Hydrologické skupiny půd

Tab.3.1 – Vztah mezi výpočetním kódem povodí a číslem hydrologického pořadí

Tab.3.2 – Podrobnější dělení hydrologických skupin půd

Tab.3.3 – Převodní tabulka pro konverzi HPJ do třináctistupňové stupnice hydrologických skupin půd

Tab.3.4 - Převodní tabulka pro konverzi kódu DOM_1 do třináctistupňové stupnice hydrologických skupin půd

Tab.3.5 - Zastoupení jednotlivých typů povrchu ve výsledné mapě využití území

Tab.3.6 - Zastoupení kategorií lesa v dodatečně vyhodnocené mapě

Tab.3.7 – Zastoupení jednotlivých skupin plodin v rámci území celého kraje a jim odpovídající hodnoty CN

Tab.3.8 – Hodnoty CN pro jednotlivé okresy a jim odpovídající poměry k průměru (stav z roku 1995)

Tab.3.9 – Výsledné hodnoty CN pro ornou půdu pro jednotlivé kombinace hydrologických skupin půd a okresů

Tab.3.10 – Hodnoty CN pro jednotlivé kombinace hydrologických skupin půd a použité kategorie druhu využití půdy

Tab.4.1 – Přehled 20 nejnebezpečnějších povodí z hlediska produkce povrchového odtoku (kulminační průtok pomocí CN křivek, srážka N = 100 let)

11. Seznam tabulek (předáno na CD)

STREDOCESKY_KRAJ_VYPOCTY.XLS – Přechíslování povodí 4. řádu, dokumentační tabulky s veškerými nutnými hodnotami pro výpočet kulminačního odtoku, objemu odtoku a součinitele SDR pro dílčí povodí 4. řádu. V tabulkách jsou uvedena všechna povodí, která spadají do řešeného území nebo leží v jeho těsné blízkosti. Výpočet je však prováděn pouze pro povodí nebo jejich části ležící uvnitř řešené oblasti.

VYSLEDKY_KATEGORIE.XLS – uvedení absolutních výsledků jednotlivých metod pro jednotlivá povodí a následná jejich kategorizace do 10 tříd.

12. Seznam GIS vrstev (předáno na CD)

Vstupní data

Název souboru	Popis
DMT	Digitální model terénu (rastr)
LAND USE	Mapa využití území (legenda je uvedena ve zprávě) (rastr)
CN na povodi 4 radu	Průměrné hodnoty CN v povodích 4 řádu (rastr)
Hranice kraje_rastr	Hranice kraje (rastr – uvnitř 1, vně 0)
Hranice	Hranice kraje (vektor – polygon)
Hydrologické skupiny pud	Mapa hydrologických skupin půd (legenda uvedena ve zprávě) (rastr)
Pov4radu	Hranice povodí 4 řádu na území středočeského kraje a jeho těsném sousedství (vektor – polygon)
Povodi 4 radu oriznuta hranici kraje	Povodí 4 radu, oříznutá hranicí kraje a převedená do náhradního číslování (rastr)

Srážky

Název souboru	Popis
Srazka_002 Srazka_010 Srazka_020 Srazka_050 Srazka_100	Mapa 24 hodinových srážkových úhrnů pro dobu opakování 2, 10, 20, 50 a 100 let (rastr)

Výsledky

Název souboru	Popis
Kulminace CN 002 Kulminace CN 010 Kulminace CN 020 Kulminace CN 050 Kulminace CN 100 Kulminace CN 50mm	Mapa kulminačních průtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity (m ³ /s) (rastr)
Kulminace CN 002 relativní Kulminace CN 010 relativní Kulminace CN 020 relativní Kulminace CN 050 relativní Kulminace CN 100 relativní Kulminace CN 50mm relativní	Mapa kulminačních průtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity (m ³ /s.km ²) (rastr)
Kulminacní prtok CN 002 kategorie Kulminacní prtok CN 010 kategorie Kulminacní prtok CN 020 kategorie Kulminacní prtok CN 050 kategorie Kulminacní prtok CN 100 kategorie Kulminacní prtok CN 50mm kategorie	Mapa kulminačních průtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity – klasifikováno do 10 kategorií (rastr)
Objemy odtoku CN 002 Objemy odtoku CN 010 Objemy odtoku CN 020	Mapa objemů odtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity (m ³)

Objemy odtoku CN 050 Objemy odtoku CN 100 Objemy odtoku CN 50mm	(rastr)
Objemy odtoku CN 002 relativni Objemy odtoku CN 010 relativni Objemy odtoku CN 020 relativni Objemy odtoku CN 050 relativni Objemy odtoku CN 100 relativni Objemy odtoku CN 50mm relativni	Mapa objemů odtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity (m ³ /km ²) (rastr)
Objemy odtoku 002 kategorie Objemy odtoku 010 kategorie Objemy odtoku 020 kategorie Objemy odtoku 050 kategorie Objemy odtoku 100 kategorie Objemy odtoku 50mm kategorie	Mapa objemů odtoků podle metody CN, vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-hodinové intenzity a dané periodicity – klasifikováno do 10 kategorií (rastr)
Kulminacni prtok 002 relativni Kulminacni prtok 010 relativni Kulminacni prtok 020 relativni Kulminacni prtok 050 relativni Kulminacni prtok 100 relativni	Mapa kulminačních průtoků podle metody odtokového součinitele (proporční metoda), vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou redukované doby trvání a dané periodicity (m ³ /s.km ²) (rastr)
Kulminacni prtok 002 kategorie Kulminacni prtok 010 kategorie Kulminacni prtok 020 kategorie Kulminacni prtok 050 kategorie Kulminacni prtok 100 kategorie	Mapa kulminačních průtoků podle metody odtokového součinitele (proporční metoda), vyprodukovaných jednotlivými povodími návrhovou srážkou 24-redukované doby trvání a dané periodicity – klasifikováno do 10 kategorií (rastr)
SDR na povodi	Mapa hodnot poměru odnosu SDR pro jednotlivá povodí (rastr)
SDR kategorie	Mapa hodnot poměru odnosu SDR pro jednotlivá povodí – klasifikováno do 10 kategorií (rastr)

Obsah

1.	Úvod a cíl projektu.....	2
1.1	Metodika řešení.....	3
1.1.1	Měřítko.....	4
1.2	Vstupní data.....	6
1.2.1	DMÚ 25.....	6
1.2.2	Mapa BPEJ.....	7
1.2.3	Družicová mapa České Republiky.....	8
1.2.4	Databáze CORINE Land Cover.....	8
1.2.5	Hranice Středočeského kraje.....	9
1.2.6	Hranice povodí IV.řádu.....	9
1.3	Výstupy.....	10
2.	Metodika výpočtu.....	11
2.1	Cíle, přehled metod.....	11
2.2	Metoda čísel odtokových křivek (CN).....	11
2.2.1	Výpočet odtokových množství metodou CN-křivek.....	12
2.2.2	Výpočet kulminačního průtoku z návrhové srážky.....	14
2.3	Výpočet kulminačních průtoků pomocí odtokového součinitele.....	17
2.4	Poměr odnosu (SDR).....	18
3.	Technické řešení.....	20
3.1	Základní vstupy.....	20
3.1.1	Hranice řešeného území (Středočeského kraje).....	20
3.1.2	Hranice povodí IV. řádu.....	21
3.1.3	Digitální model terénu.....	22
3.1.4	Půdní mapa.....	23
3.1.5	Mapa využití území (Land-use).....	25
3.1.6	Srážky.....	30
3.1.7	Mapa hodnot čísel odtokových křivek (CN).....	32
3.2	Metoda čísel odtokových křivek (CN) – objemy odtoku.....	33
3.2.1	Metodika.....	33
3.2.2	Příprava dat a výpočet.....	34
3.2.3	Výstupy.....	35
3.2.4	Diskuze výsledků.....	36
3.3	Metoda čísel odtokových křivek (CN) – kulminační průtoky.....	36
3.3.1	Metodika.....	36
3.3.2	Příprava dat a výpočet.....	37
3.3.3	Výstupy.....	39
3.3.4	Diskuze výsledků.....	40
3.4	Výpočet kulminačních průtoků pomocí odtokového součinitele.....	40
3.4.1	Metodika.....	41
3.4.2	Příprava dat a výpočet.....	41
3.4.3	Výstupy.....	43
3.4.4	Diskuze výsledků.....	43
3.5	Poměr odnosu (SDR).....	44

3.5.1	Metodika	44
3.5.2	Příprava dat a výpočet.....	44
3.5.3	Výstupy	45
3.5.4	Diskuze výsledků.....	46
4.	Shrnutí a vyhodnocení výsledků	47
4.1	Způsoby prezentace	47
4.1.1	Klasifikace výsledků.....	47
4.1.2	Prezentace v povodí II. řádu.....	47
4.1.3	Vliv prostorové variability srážek	48
4.2	Zhodnocení jednotlivých metod.....	49
4.2.1	Objemy odtoku – CN křivky.....	50
4.2.2	Kulminační průtoky – CN křivky.....	51
4.2.3	Odtokový součinitel – proporční metoda.....	51
4.2.4	Poměr odnosu (SDR).....	52
4.3	Lokalizace nejnebezpečnějších povodí.....	53
5.	Závěry a doporučení.....	54
6.	Perspektivy budoucího vývoje řešení.....	56
7.	Kritické poznámky – limity využitelnosti	57
7.1	Limity využití z důvodu chybných vstupních dat	57
7.1.1	Družicová mapa ČR.....	58
7.1.2	Vrstvy DMÚ 25	58
7.1.3	Oblasti podél hranice Středočeského kraje	59
7.1.4	Hranice povodí IV. řádu	59
7.2	Limity využití z důvodu omezenosti metod.....	60
8.	Reference	61
9.	Seznam obrázků a grafů (uvedeno ve zprávě)	63
10.	Seznam tabulek (uvedeno ve zprávě)	65
11.	Seznam tabulek (předáno na CD).....	66
12.	Seznam GIS vrstev (předáno na CD)	67

Přílohy

Tabulky (tištěné) – 12 ks

Obrázky (tištěné) – 25 ks