

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geoinformatiky



Přemysl BŘEZOVÍČ

**Vliv změny využití půdy na srážko-odtokové
poměry vybraného povodí**

diplomová práce

Vedoucí práce: Mgr. Aleš LÉTAL, Ph.D.

Olomouc 2006

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a uvedl v ní
veškerou literaturu a ostatní informační zdroje, které jsem použil.

V Hodoníně, 24. srpna 2006

.....

podpis

Rád bych poděkoval Mgr. Aleši Létalovi, Ph.D. a Mgr. Vilému Pechancovi, Ph.D.
za poskytnuté materiály a rady při zpracovávání této diplomové práce.

OBSAH

Úvod.....	- 6 -
1. Cíl práce.....	- 7 -
2. Hydrologické vlastnosti krajiny	- 8 -
2.1 Hydrologické procesy v krajině	- 8 -
2.2 Vodní bilance, srážko-odtokový proces	- 9 -
2.3 Faktory ovlivňující vodní bilanci	- 11 -
2.4 Využití půdy v srážko-odtokovém procesu	- 11 -
3. Vymezení zájmového území	- 14 -
3.1 Fyzicko-geografické poměry	- 14 -
3.2 Využití půdy	- 17 -
4. Metody zpracování.....	- 19 -
4.1 Charakteristika programových prostředků	- 19 -
4.2 Metoda odtokových křivek - CN	- 22 -
5. Příprava srážko-odtokového modelu	- 29 -
5.1 Vstupní data	- 30 -
5.2 Schematizace povodí v HEC-GeoHMS	- 30 -
5.3 Doplnění charakteristik povodí v HEC-GeoHMS Add-In.....	- 34 -
5.4 Zpracování meteorologických dat v HEC-DSSVue	- 37 -
6. Kalibrace modelu	- 39 -
6.1 Kalibrace odtoků	- 39 -
6.2 Kalibrace meteorologického modelu.....	- 41 -
6.3 Kalibrace kontrolních specifikací	- 41 -
6.4 Optimalizace parametrů	- 42 -
7. Modelování.....	- 44 -
8. Výsledky modelování	- 46 -
8.1 Výsledky modelování při PVP II	- 46 -
8.2 Výsledky modelování při PVP III.....	- 48 -
9. Diskuze.....	- 51 -
10. Závěr	- 55 -
11. Použité zdroje	- 57 -
Summary	- 60 -
Přílohy	

Úvod

Intenzita využívání krajiny je v našich zeměpisných polohách limitována přírodními a hospodářskými podmínkami. V posledním období dochází k velmi významným změnám ve využívání naší krajiny zejména v důsledku změn vlastnických vztahů a restrukturalizace venkova, kdy se očekává dosažení příznivější relace produkční a zejména ochranné funkce krajiny, která byla v minulosti zatížena intenzivní zemědělskou výrobou. Připravované programy Evropské unie (např. Agenda 2000) vytvářejí plán restrukturalizace venkova s výraznou změnou dotační politiky, který mimo jiné ve k úbytku ploch orné půdy ve prospěch trvalých travních porostů a zvýšení podílu lesních kultur [20]. Realizace takových programů přispívá k podpoře přirozených akumulačních a retenčních schopností povodí, což následně vede ke zvýšení stability dané oblasti při extrémních hydrologických jevech (sucha, povodně) a zvyšování ochrany před nadměrnou erozí půdy.

Změny organizace půdního fondu a využívání krajiny se tak promítají do změn hydrologického režimu povodí. Zejména u malých povodí mohou tyto změny ovlivňovat výrazně srážko-odtokové procesy. Proto je velmi žádoucí poznávat, do jaké míry mohou změny v užívání krajiny ovlivnit její vodní režim. K posouzení tohoto vlivu se využívají matematické modely, které umožňují simulovat nejen reálné hydrologické situace, ale lze jimi předpovídat chování při extrémních hydrologických jevech, kdy se využívá tzv. scénářových situací, které v krajině mohou nastat.

V posledních letech dochází k stále častějšímu propojování matematických hydrologický modelů s technologiemi GIS, které neslouží jenom jako pouhá databáze územních podkladů, ale podílí se např. svými prostorovými analýzami na přípravách podkladů pro další hydrologické analýzy.

1. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je zjistit vliv změny využití půdy na srážko-odtokové poměry vybraného povodí. Jako vhodná metoda pro toto stanovení byla vybrána metoda tzv. scénářového modelování, kdy se modelují srážko-odtokové poměry při různém využití půdy v povodí. Pro tuto metodu je zapotřebí vybrat nejlépe dva modelovací softwary, jejichž výsledky se porovnají.

První část nás seznámí s hydrologickými procesy, vodní bilancí a srážko-odtokovým procesem. Dále nastíní faktory ovlivňující vodní bilanci krajiny a jaký vliv a roli hraje využití půdy v srážko-odtokových procesech.

V další části bude vymezeno modelované povodí včetně jeho fyzicko-geografických charakteristik.

Dále pak bude zaměřena pozornost na charakteristiku použitých modelovacích programových prostředků a popis metody odtokových CN – křivek, která je využívána pro odtokové výpočty.

Nejdůležitější část bude věnována sestavení srážko-odtokového modelu povodí, jeho kalibrace a následné modelování vlivů změn využití půdy metodou CN křivek. Neméně důležitou částí bude zhodnocení vlivů změn a stanovení výsledků za pomoci porovnávání jednotlivých modelovaných scénářů.

Na závěr bude provedena diskuse nad metodami, daty a výsledky práce, nastíněna možnost jejich dalšího využití a připojeno resumé v anglickém jazyce. O diplomové práci bude vytvořena internetová stránka, která bude umístěna na serveru UP. Veškerá digitální podkladová data a výsledky práce budou přiloženy k práci na CD-ROM.

2. HYDROLOGICKÉ VLASTNOSTI KRAJINY

2.1 Hydrologické procesy v krajině

Pojem hydrologické procesy v krajině chápeme všechny jevy, kterými se uskutečňuje oběh vody v přírodě. Dle [6] rozlišujeme tyto procesy:

- přímý výpar (okamžité vypařování srážkové vody po dešti)
- intercepce (zadržování srážkové vody především díky vegetaci a depresím)
- retardace (zpomalování povrchově odtékající vody)
- infiltrace (pojímaní vody půdou)
- retence (dočasné zadržení vody v prostředí)
- evapotranspirace (výpar vegetace a z volného povrchu)
- akumulace (dlouhodobé hromadění vody v prostředí nebo určitém prostoru)
- drenace (odvodňovací schopnost)
- povrchový odtok
- podpovrchový (tzv. hypodermický) odtok

Objem vody podléhající danému hydrologickému procesu se projevuje v celkové vodní bilanci prostředí buď jako složka ztrátová nebo kladná. Při posuzování schopnosti krajiny zadržet různými mechanismy srážkovou vodu v povodí mluvíme o následujících hydrologických vlastnostech krajiny:

- retenční schopnost krajiny – představuje schopnost určitého prostoru dočasně zadržet odtok vody (na povrchu intercepce, v korytě toku, v nádrži nebo pod povrchem terénu). Podílí se na zachycení srážek a transformaci průtokových vln. Zvýšením retenční schopnosti krajiny dosáhneme zmenšení okamžitých povodňových průtoků, současně prodloužení doby trvání zvýšených průtoků a v důsledku toho i delší a pravidelnější zásobování odběratelů vodou [28].

- akumulační schopnost krajiny – představuje dispozici krajiny dlouhodobě přirozeně nebo uměle hromadit vodu v prostředí. Nejvýznamnějším přirozeným akumulačním procesem je tvorba podzemní vody po vsaku srážkové vody do půdy. Mezi přirozené akumulační prostory řadíme bezodtoké deprese, lužní lesy, bažiny a

mokřady, zatímco umělá akumulace je vytvářena výstavbou rybníků, nádrží, poldrů atd. [7].

2.2 Vodní bilance, srážko-odtokový proces

Jak uvádí [6] je podmínkou pro zachování vyrovnaného stavu vody v krajině její oběh. Pro krajinu má z hydrologického hlediska největší význam srážko-odtokový proces. Ten lze dle [20] vyjádřit základní bilanční rovnicí oběhu vody:

$$P = AES + TQ \pm \Delta W \text{ [mm]}$$

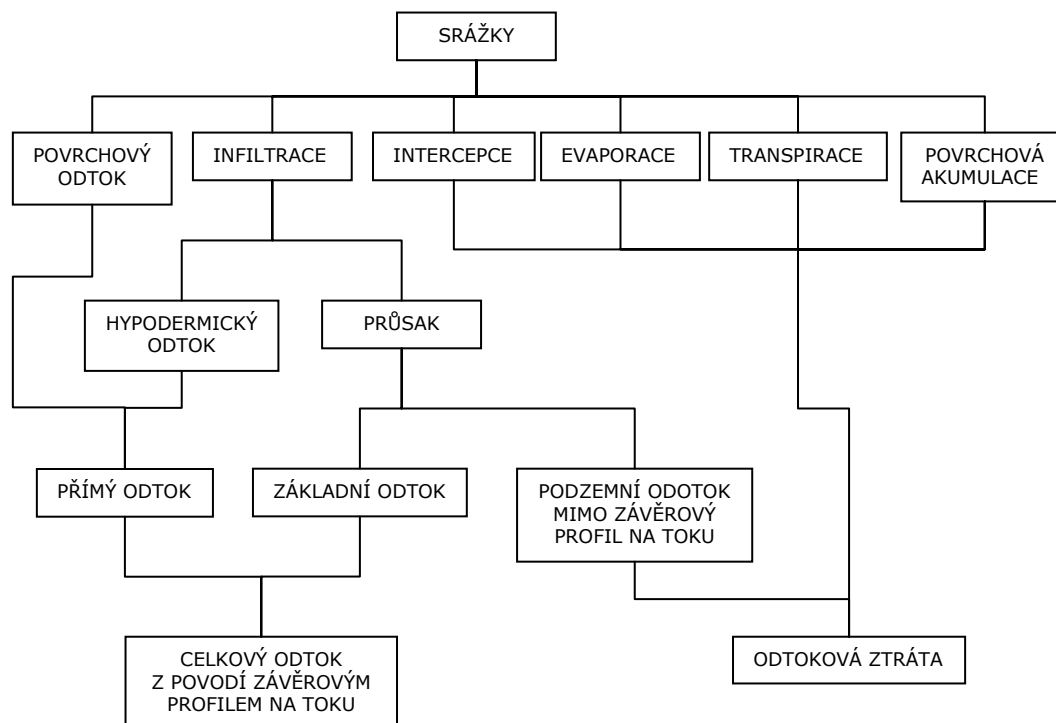
kde: P – výška srážek

AES – výška územního výparu

TQ – výška celkového odtoku

ΔW – výška odtokové ztráty (tj. zvýšení nebo snížení zásob povrchové a podzemní vody).

Výška celkového odtoku (TQ) je součtem výšek přímého (tvořen povrchovým a hypodermickým odtokem) a základního odtoku (někdy označován jako podzemní).



Obr. 1: Schéma odtokového procesu (převzato z [16])

Stručně by se schéma odtokového procesu dalo popsat takto: voda z atmosférických srážek se částečně vypaří do atmosféry – přímý výpar, část se zadržuje intercepcí na vegetaci a povrchu terénu (později se také vypaří – evapotranspirace). Další se vsákne do půdy (infiltrace) a podílí se na oběhu v půdě tj. část se vydá na transpiraci vegetace, část odtéká podpovrchovým (hypodermickým) nebo základním odtokem do hydrografické sítě nebo doplňuje zásoby podzemních vod. Voda, která nebyla zachycena na povrchu vegetace či terénu ani neinfiltrovala do půdy, stéká po půdním povrchu a vytváří povrchový odtok [6].

Rozeberme si ale nejdůležitější části odtokového procesu podrobněji. Povrchový odtok vzniká v tenkých plošných vrstvách obvykle jen na malých a málo propustných plochách s určitým topografickým reliéfem. Tyto plochy mohou patřit jak k infiltračním plochám povodí, tak i k jeho aluviálním částem (tj. plochám nasycených vodou). Podle této koncepce plošného povrchového odtoku se tento jev nazývá (dle jejího autora) hortonovský povrchový odtok [20].

Další koncepce vychází z předpokladu, že obě složky přímého odtoku (tedy povrchový i hypodermický odtok) vznikají na nepropustných nebo vodou nasycených plochách, jejichž velikost se v průběhu srážko-odtokového procesu zvětšuje. Tyto plochy jsou pak označovány jako tzv. zdrojové plochy, jejichž propustnost je velmi nízká. Zdrojovými plochami mohou být také oblasti mělkých půd, které jsou nasyceny již předchozí srážkou, dále pak zastavěná území, komunikace apod. Obě koncepce se shodují v tom, že se povrchový odtok z ronů či zdrojových ploch soustřeďuje do sítě stružek, které dále vytváří základ hydrografické sítě, v níž následně dochází ke korytovému odtoku [20].

K hypodermickému odtoku dochází v horní vrstvě půdy (v nenасыcené zóně) s potenciální možností dotace povrchového odtoku aniž by však bylo dosaženo hladiny podzemní vody. Nejčastější příčinou vzniku hypodermického odtoku jsou méně propustné, nakloněné vrstvy půdy nebo propojené podpovrchové systémy kořenů a chodbiček (tzv. privilegované cesty nebo přednostní dráhy cirkulace hypodermického odtoku). V porovnání s povrchovým odtokem bývá hypodermický odtok pomalejší. Obě odtokové formy se často prolínají a během odtokového procesu na povodí dochází ke změně formy i několikrát [1]. Protože jsou obě formy

od sebe těžko hydrologicky oddělitelné, používá řada modelů jejich součtu – přímý odtok.

Druhá část infiltrované vody, uváděná jako průsak či peroklace, přispívá ke zvyšování zásob pozemní vody a ve formě podzemního odtoku napájí s časovým zpožděním hydrografickou síť [20].

2.3 Faktory ovlivňující vodní bilanci

Vodní bilanci (resp. poměr mezi vodou zadržanou v povodí a vodou odečtenou bez dalšího využití) ovlivňuje podle [27] a [7] řada faktorů:

- klimatické poměry – intenzita, množství a časové rozložení srážek, teplotní poměry a roční doba. Jsou to základní vstupní faktory pro vznik hydrologických procesů.
- územní poměry – poloha, délka a sklon svahů, ale i tvar povodí, struktura mikroreliefu, drsnost povrchu apod. Tyto faktory vytvářejí akumulární prostory v povodí.
- pedologické poměry – zejména fyzikální vlastnosti půd (tj. zrnitost, struktura, pórovitost a humóznost), stav svrchní vrstvy půdy, vlhkostní poměry půd (tj. půdní vlhkost, sací tlak, hydraulická vodivost a výška hladiny podzemní vody), kořenový systém a podpovrchové systémy chodbiček půdních živočichů. Tyto faktory ovlivňují průběh a intenzitu infiltrace vody.
- využití půdy – různé využití půdy a způsoby obhospodařování významně ovlivňují infiltrační a retenční schopnosti (intravilán a zpevněné plochy mají minimální infiltrační schopnost, narozdíl od lesních porostů či zatravněných ploch). Podrobněji jsou jednotlivé typy využití půdy a jejich hydrologické vlastnosti uvedeny v následující kapitole (kap. 2.4).

2.4 Využití půdy v srážko-odtokovém procesu

Využití půdy (resp. vegetační kryt) ovlivňuje především retenci, případně akumulaci, infiltraci a změnu rychlosti odtoku vody z povodí. Popišme si podrobněji následující typy využití půdy: lesní porosty, travní porosty, orná půda a urbanizované plochy.

Lesní porosty

Vegetační kryt hraje významnou roli při zadržování, změně rychlosti povrchového odtoku a množství odpařené vody (důležitá je evapotranspirace korun stromů). Zásadní je při tom to, že les vypařuje vodu, kterou nasává kořeny stromů z poměrně hlubokých půdních horizontů [6]. Do infiltrační a retenční schopnosti lesních porostů se promítá jejich druhová skladba i stáří.

Lesní půdy se vyznačují vysokou infiltrační schopností, která je způsobena velmi dobrým provzdušněním díky propojenosti kořenů s chodbičkami půdních živočichů. Póry zabírají v průměru asi polovinu půdního objemu a vysoká vrstva humusových horizontů téměř vylučuje možnost povrchového odtoku, ale i při malém úbytku nadložního humusu ztrácí půdní profil retenční schopnosti [17].

Vodohospodářská funkce lesních porostů spočívá především v zabezpečování trvalosti a vydatnosti vodních zdrojů, ve snižování rozkolísanosti průtoků a zlepšování kvality odtokové vody [6]. Ve vyhlášce č. 83/1996 Sb. o zpracování OPRL a o vymezení hospodářských souborů jsou definovány vodohospodářské funkce lesa: vodochranná (zajišťuje jakost vody), protierozní (brání vzniku povrchového odtoku), infiltrační (zvyšuje infiltraci srážkové vody do půdy), detenční (tlumí extrémní odtoky z malých povodí), desukční (odčerpává přebytečnou vodu z půdy), srážkotvorná (zachycuje srážky).

Travní porosty

Jak uvádí [25] má zapojený drnový porost průměrně o 10 % vyšší pórovitost než orná půda, což se projevuje lepší retenční a infiltrační schopností. Tyto schopnosti se však různí podle travníkových druhů a obsahu organické hmoty, obsažené v půdě. Trvalé travní porosty rovněž vytváří izolační vrstvu, která reguluje výpar vody při extrémních klimatických situacích.

Orná půda

Orná půda se vyznačuje největší variabilitou změn hydrologických vlastností. Ovlivňuje to sezónní pórovitost, struktura mikroreliéfu, druh pěstovaných plodin, agrotechnické obhospodařování (orba, střídání plodin, zhutňování půd apod.). Jak uvádí [18] mají poměrně vysokou infiltrační schopnost plochy s obilovinami a ručně obhospodařované políčka. Nejmenší infiltrační schopnost vykazují mechanicky obhospodařované plochy kukuřice a vojtěšky, dále také holé půdy s kůrou vzniklou po intenzivním dešti.

Urbanizované plochy

Ty mají za cíl odvést bezpečně a co nejrychleji srážkovou vodu (systém střech, kanalizací a drénaže). Jedná se tak o území s minimální akumulací, retenční a infiltrační schopností a s malými hydraulickými drsnostmi povrchu [20].

3. VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Jako modelové povodí bylo zvoleno povodí řeky Všeminky (levostranný přítok řeky Dřevnice), které spadá do okresu Zlín a rozprostírá se na území obcí Všemina, Dešná, Neubuz a Slušovice.



Obr. 2: Lokalizace zájmového území

3.1 Fyzicko-geografické poměry

Jde o malé zemědělsko-lesní (lesnatost činí necelých 50 %) povodí IV. řádu podélného údolního typu v němž se lesní porosty nacházejí po obou stranách údolí a to i ve střední části toku. Vybrané základní fyzicko-geografické charakteristiky povodí jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Fyzicko-geografické charakteristiky povodí Všeminky (zdroj: [19])

Fyzicko-geografické parametry	
Plocha povodí [km ²]	21,5
Délka toku [km]	9,2
Průměrný sklon toku [%]	3,6
Střední sklon povodí [%]	19,4
Minimální nadmořská výška [m]	270
Maximální nadmořská výška [m]	625
Střední nadmořská výška [m]	400
Obvod povodí [km]	23,6

Geologické poměry

Geologické poměry jsou určeny soustavou Vnějších Západních Karpat. Nejvýraznější součástí této struktury je flyšové pásmo, táhnoucí se po vnější straně celého karpatského horstva. Zde je tvořeno magurským příkrovem, který je vnitřní tektonickou jednotkou flyšového pásma. Na území povodí Všeminky je magurský příkrov zastoupen račanskou jednotkou. Směry vrstev jsou jednotné: JZ - SV se sklonem převážně k JV. Podloží tvoří zlínské souvrství (vsetínské vrstvy), které je tvořeno flyšem s převahou vápnitých jílovců nad středně až jemně zrnitými pískovci [23].

Geomorfologické poměry

Dle [9] náleží povodí Všeminky do geomorfologického celku Vizovická vrchovina a podcelku Zlínská vrchovina. Území povodí zasahuje do dvou okrsků, jejichž hranici tvoří tok řeky Všeminky – severní část povodí náleží do Všemínské vrchoviny, jižní část do Rakovské pahorkatiny.

Celé povodí leží nad hranicí 200 m n.m., takže dle absolutní výškové členitosti spadá mezi vysočiny. Nejvyšším bodem povodí je Kopřivná 620 m n.m., nejnižším bodem je pak hladina řeky Všeminky při ústí do Dřevnice (270 m n.m.).

Dle relativní výškové členitosti převládají na území povodí pahorkatiny a vrchoviny. Sklonitostní poměry se pohybují od 2° – 5° při ústí řeky Všeminky až po příkře skloněné svahy 15° – 25° v SV části povodí.

Pedologické poměry

Geologické podloží spolu s dalšími faktory jako je sklon reliéfu, výška hladiny podzemní vody, množství a frekvence srážek apod. ovlivňuje vznik půdního profilu. V povodí Všeminky můžeme rozlišit dvě základní pedogenetické asociace. V dolní části povodí to je asociace hnědozemí přírodních a zemědělsky zkulturněných nížin a pahorkatin, kdežto v horní části povodí se nachází asociace hnědých lesních půd přírodních a hnědých půd zemědělsky zkulturněných horských oblastí. Z granulometrického hlediska se jedná převážně o jílovitohlinité půdy [39].

Hydrologické poměry

Všeminka je tokem IV. řádu (číslo hydrologického pořadí 4-13-01-012), jejíž pramen se nachází na svazích Kopřivné ve výšce zhruba 550 m n.m. Ústí zleva do Dřevnice u Slušovic v nadmořské výšce 270 m n.m. Povodí zahrnuje plochu o rozloze 21,7 km², délka toku činí 10,3 km a délka údolí 9,2 km. Tvar povodí je charakterizován poměrem P/L^2 0,26. Hydrologická stanice se nachází ve Slušovicích (limnigraf od roku 1939) [29]. Veškerá voda z povodí tak spadá do povodí Dunaje a úmoří Černého moře.

Režim podzemních vod určuje jednotný typ hydrogeologického kolektoru (vsetínskými vrstvami ve flyšovém vývoji), jehož koeficient transmisivity je v rozmezí $T = 1,4 \cdot 10^{-5} - 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ m.s}^{-1}$. Z hlediska využitelnosti podzemních vod pro zásobování pitnou vodou je povodí málo vyhovující. [40].

Hydrologické poměry vychází ze sledovaného měření na hydrologické stanici Slušovice – Všeminka. Průměrný roční průtok v letech 1951 – 1960 ve vodoměrné stanici činil 0,22 m³.s⁻¹, extrémní průtoky byly zaznamenány v červenci roku 1953 s maximálním průtokem 13,1 m³.s⁻¹ a v letech 1957 a 1959 zase s minimálním průtokem 0,005 m³.s⁻¹. Pro názornost jsou v uvedeny vybrané charakteristiky z let 1951 – 1960 [12].

Tab. 2: Hydrologické charakteristiky Všeminky z let 1951 – 1960 (zdroj: [12])

Průměrné roční hodnoty	
Srážky [mm]	805
Rozdíl srážek a odtoku [mm]	481
Odtok [mm]	324
Odtokový součinitel	0,40
Specifický odtok [l.s ⁻¹ .km ⁻²]	10,30
Průtok [m ³ .s ⁻¹]	0,22

Klimatické poměry

Z klimatického hlediska náleží povodí do oblasti mírně teplé a dle klimatického členění ČSR [41] se jedná o oblasti MT7 a MT9, jimž odpovídá následující charakteristika: mírné až teplé a mírně suché léto, přechodné období je

krátké s mírným jarem a mírně teplým podzimem, zima je mírná, suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky.

V povodí převládají JZ až SZ směry větru, průměrná roční teplota činí 7 - 8°C, průměrný roční úhrn srážek se pohybuje okolo 800 mm a průměrná vlhkost vzduchu je v rozmezí 72 - 77 %.

3.2 Využití půdy

Analýza využití půdy vychází z podkladů a dat, získaných z diplomové práce [21], kde jako výchozí sloužila analogová mapa aktuálního stavu krajiny 1: 10 000 z roku 1995, získána z referátu ŽP MÚ ve Zlíně. Ta byla na základě leteckých snímků a podrobného terénního výzkumu aktualizována a pomocí technologie GIS (PC Arc/Info) převedena do digitální datové struktury. Pro vymezení složek krajiny (využití půdy či landuse) byla použita metodika mapování krajiny Státní meliorační správy a na jejím základě byly vymezeny tyto kategorie: orná půda (jednoleté i víceleté kultury na orné půdě; bloková pole i drobná soukromá držba), louky a pastviny (extenzivní s významným podílem přirozeně rostoucích druhů; intenzivní s kosením, přísevem a doplňkovým hnojením; intenzivně využívané a hnojené; druhově chudé), sady a zahrady (v drobné držbě či na úzkých terasách; extenzivní s doprovodnou vegetací; nehnojené i zatravněné), lada (nevyužívaná půda; opuštěné lomy; lada travino-bylinná se zastoupením dřevin do 10 % či lada s dřevinami nebo rumištními a plevelnými druhy), veřejná a rozptýlená zeleň (parky; zeleň uvnitř intravilánu mimo sady a zahrady; remízky; doprovodná zeleň; břehová vegetace), rozptýlená zeleň), intravilán, zemědělské a průmyslové objekty, plochy rekreace, lesní porosty a vodní plochy (jezera; nádrže; rybníky).

Z těchto podkladů lze dospět k závěru, že povodí Všeminky je zemědělsko-lesním povodím, kde v zemědělství převládá luční hospodářství. Přibližně polovinu území pokrývají lesní porosty a více jak pětinu louky a pastviny a zhruba desetinu plochy zaujímá orná půda, která je soustředěna do jihozápadní, plošší části povodí poblíž ústí Všeminky od Dřevnice (viz. Příloha 2).

Tab. 3: Využití půdy na povodí Všeminky v roce 1997 (zdroj: [21])

Využití půdy	Celková rozloha [ha]	Procentuální zastoupení [%]
Orná půda	244,45	11,2
Louky a pastviny	461,12	21,1
Sady a zahrady	114,09	5,2
Lada	39,97	1,8
Veřejná a rozptýlená zeleň	124,45	5,7
Intravilán	68,67	3,1
Zemědělské a prům. objekty	24,25	1,1
Plochy rekreace	13,64	0,6
Lesní porosty	1 085,83	49,8
Vodní plochy	4,65	0,2

4. METODY ZPRACOVÁNÍ

Pro modelování srážko-odtokových procesů byly po konzultaci s Mgr. Alešem Létalem, Ph.D. a Mgr. Martinem Adamcem (PřF Ostravské Univerzity, Katedra fyzické geografie a geoekologie) vybrány modelovací programy HEC-HMS (Hydrologic Modeling System amerického institutu Hydrologic Engineering Center) pro svou dostupnost, nenáročnost vstupních dat a protože předzpracování těchto dat pro srážko-odtokové modelování probíhá v prostředí GIS (ArcView) a TOPMODEL vyvinutý na Lancaster University pro svůj široce používaný topografický index. Avšak pro svou značnou nestabilitu, chybovost v prostředí Windows a vyšší nároky vstupních dat, bylo po čase rozhodnuto odklonit se od modelování pomocí dvou softwarů a modelovat pouze pomocí softwaru HEC-HMS.

HEC-HMS používá pro modelování odtoku z povodí metodu čísel odtokových křivek – CN (podrobněji popsána v kap. 4.2). Jak již bylo zmíněno, využívá HEC-HMS pro předzpracování vstupních dat prostorové povrchové analýzy v prostředí GIS, konkrétně v extenzi HEC-GeoHMS pro ArcView 3.x [34]. Při zpracovávání vstupních dat byly použity následující metody a postupy: tvorba hydrologicky korektního DMR, analýza odtokových poměrů (flow direction, flow accumulation), tvorba sub-povodí apod. (podrobnější popis a postup v kap. 5.2).

4.1 Charakteristika programových prostředků

HEC-GeoHMS 1.1

Slouží jako extenze pro ArcView 3.x a umožňuje předzpracování modelu terénu a určení rozvodnic, konstrukce říční sítě, určení závěrového profilu řešeného povodí, určení finální podoby členění povodí na sub-povodí a říční síť, výpočet některých fyzicko-geografických charakteristik sub-povodí (plocha, obvod, délka toku, sklon toku apod.), sestavení a export hydrologického modelu povodí pro HEC-HMS.

HEC-GeoHMS Add-In

Extenze HEC-GeoHMS Add-In byla vytvořena v ČHMÚ, aby doplnila chybějící možnosti původní extenze (HEC-GeoHMS) a umožňuje rozšíření výpočtů fyzicko-geografických charakteristik povodí, tj. výpočet průměrné hodnoty CN jednotlivých sub-povodí, podílu nepropustné plochy a srážek na povodí, výpočet doby koncentrace podle různých vzorců a přístupů a export hydrologického modelu povodí pro HEC-HMS s doplněnými parametry.

HEC-DSSVue 1.2

HEC-DSSVue (Hydrologic Engineering Center – Data Storage System Visual Utility Engine) je databázový systém vytvořený k efektivní správě vědeckých dat s charakterem posloupnosti, jako jsou časové řady, křivky, prostorově orientovaná rastrová data apod. Je vytvořen na platformě Java a uložená data mohou upravována pomocí grafů (křivek) či tabelárním způsobem, může být tisknuta či je možno získat základní statistické údaje datové sady.

HEC-HMS 3.0.1

Modelovací nástroj HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System) byl vyvinut, pro studium srážko-odtokových procesů v síti dendritických povodí. Produkt v pracovním prostředí integruje vnitřní databázi, nástroje pro vstup dat, výpočetní jádro a prostředky pro report výsledků. Dále program funkčně umožňuje import modelů vygenerovaných prostřednictvím extenze HEC-GeoHMS pro ArcView, import meteorologických dat i vlastní tvorbu srážko-odtokových modelů. Aplikace může sloužit k předpovědím průtoků, modelování urbanistických zásahů do povodí, modelování regulaci toků pomocí nádrží, modelování povodňových škod apod.

Podle chování modelu se řadí HEC-HMS mezi deterministické koncepční modely, které popisují matematickými vztahy jednotlivé části hydrologického cyklu. Kvůli úspornosti řešení a minimalizaci požadavků vstupních dat se vyhýbají tyto modely prostorovým vztahům a předpokládají, že k prostorovým změnám stavových veličin dochází pouze v určitých reprezentativních bodech. původně spojitý dynamický systém je tak schematizován na nespojitý v prostoru [20]. Modely jsou tak

vyjádřeny pomocí obyčejných diferenciálních rovnic v rozměru 0D (doplněnými o algebraické vztahy) a jedinou nezávislou proměnnou je tak čas. Podle délky časového kroku se rozdělují koncepční modely na modely bilanční (kontinuální) a modely epizodní (diskrétní, s malým časovým krokem), které morfologii povodí vyjadřují narozdíl od bilančních modelů formou parametrů a které jsou proto nejvíce používány pro modelování odtoku z přívalových dešťů – mezi ně patří HEC-HMS [8]. Podle [20] dělí koncepční modely popisované hydrologické procesy na:

- povrchové procesy – intercepce, evapotranspirace, povrchová retence a akumulace v depresích, formování povrchového odtoku apod.
- podpovrchové procesy – infiltrace, vláhová dynamika, aktivní, nasycené a nenasyčené zóny, tvorba základního odtoku atd.
- korytové procesy – vznik soustředěného odtoku, transformace odtoku v údolnici apod.

Podle [8] se na základě prostorové diskretizace řadí podle nastavení systému HEC-HMS mezi tzv. celistvé (angl. lumped) modely nebo semi-distribované modely. Celistvé modely využívají schematizaci povodí a předpokládají zjednodušenou prostorovou informaci, charakterizovanou jediným reprezentativním bodem povodí, kdežto princip semi-distribovaných modelů spočívá v topografickém rozdělení povodí na menší celky na základě definovaných kritérií, což umožňuje stanovit hodnoty veličin v interních bodech systému (perspektivní řešení při předpovědi povodní z přívalových dešťů apod.).

Program nabízí několik metod pro výpočet odtokové ztráty a mezi nejpoužívanější patří metoda čísel odtokových křivek – CN, kdy je podle druhu hydrologické skupiny půdy a půdního pokryvu vypočtena na základě váženého průměru hodnota CN – křivky (podrobněji viz. kap. 4.2).

Jako transformační funkci srážky na odtok je používán jednotkový hydrogram. Nejčastěji se využívá Clarkův jednotkový hydrogram (angl. Clark unit hydrograph), jehož parametry jsou doba koncentrace povodí (angl. TC – time of concentration) a tzv. transformační (retenční) faktor (angl. RC – storage coefficient) – podrobněji viz. kap. 5.3).

Pro odhad postupové doby povodňové vlny se často používá metoda Muskingum-Cunge, která je založena na aproximaci kombinace rovnice kontinuity a difúzní formy momentové rovnice. K jejím výhodám patří to, že parametry modelu mají fyzikální základ, dává dobré výsledky v porovnání s modely s plně aplikovanými rovnicemi neustálého proudění a že řešení nezávisí na zadaném výpočetním intervalu. Tato metoda má i své nevýhody, např. neuvažuje možnost zpětného vzduť a při náhlém vzestupu vlny a současně malém sklonu koryta metoda nekonverguje [8].

4.2 Metoda odtokových křivek - CN

Pro hodnocení srážko-odtokových procesů v krajině byla v americkém institutu Soil Conservation Service (SCS) vyvinuta metoda čísel odtokových křivek - CN (v angl. Curve Number Method) a pro naše poměry upravena a publikována např. Janečkem [16]. Metoda umožňuje odvození objemu přímého odtoku a kulminačního průtoku na zemědělsky a lesnický využívaných povodích i na povodích urbanizovaných do velikosti plochy povodí cca 5 – 10 km².

Základním vstupem metody CN - křivek je srážkový úhrn (za předpokladu jeho rovnoměrného rozložení po ploše povodí). Objem srážek je transformován na objem odtoku pomocí čísel odtokových křivek - CN. Jejich hodnoty (rozsah 0 – 100, běžně 55 – 90) jsou podle [16] závislé na vlivu:

- hydrologických vlastností půd – ty jsou rozděleny do čtyř základních skupin: A, B, C, D na základě minimálních rychlostí infiltrace vody do půdy bez pokryvu po dlouhodobém nasycení (viz. Tab. 4). Rozdělení do hydrologických skupin půd (HSP) lze získat z číselného kódu dat BPEJ (druhá a třetí číslice z pětímístného kódu) viz. Tab. 6

- vlhkosti půdy určované na základě pětidenního úhrnu předcházejících srážek – na předchozích vláhových podmínkách (dále jen PVP) udávaných ve třech stupních, kdy PVP I odpovídá suché půdě s takovým obsahem vody v půdě, který ještě umožňuje uspokojivou orbu a obdělávání. Při PVP III je půda přesycena předcházejícími dešti, pro návrhové účely se používá PVP II (viz. Tab. 5). Pozn.:

někdy se v literatuře místo předchozí vláhové podmínky vyskytuje index předchozích srážek (IPS)

- využití půdy – hodnoceno pomocí vegetačního pokryvu, způsobu obdělávání a uplatnění protierozních opatření (viz. Tab. 7)

Tab. 4: Skupiny předchozích vláhových podmínek (převzato z [16])

Skupina půd	Charakteristika hydrologických vlastností	Minimální infiltrace i při úplném nasycení [mm/min]
A	Půdy hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo štěrky	vysoká rychlost > 0,12
B	Půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité	střední rychlost 0,06 - 0,12
C	Půdy s málo propustnou vrstvou v původním profilu a půdy jílovitohlinité až jílovité	nízká rychlost 0,02 - 0,06
D	Jíly s vysokou bobtnavostí, půdy s trvale vysokou hladinou podzemní vody, půdy s vrstvou jílu na povrchu nebo těsně pod ním a mělké půdy nad téměř nepropustným podložím	velmi nízká rychlost < 0,02

Tab. 5: Skupiny předchozích vláhových podmínek (převzato z [16])

Skupina PVP	Celkový úhrn předchozích srážek za 5 dnů v období [mm]		Charakteristika půd
	mimovegetačním	vegetačním	
I	< 13	< 36	půdy suché, nedosahují bodu vadnutí
II	13 – 18	36 – 53	vlhkostní poměry jsou průměrné
III	> 28	> 53	za posledních 5 dní se objevil přívalový déšť a nízké teploty, půda je saturovaná

Tab. 6: Kategorie BPEJ a hydrologické skupiny půd (HSP) (převzato z [16])

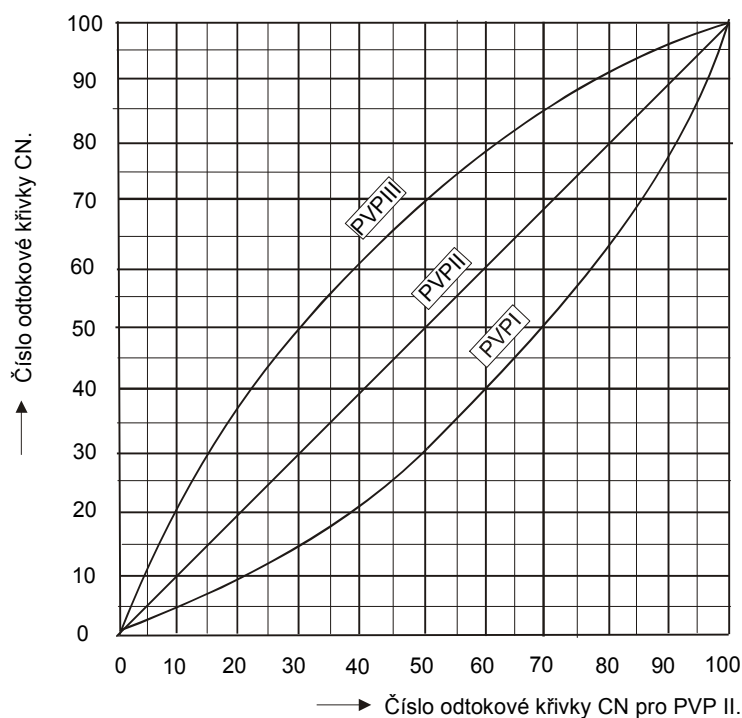
Kategorie v mapě BPEJ	Půdní subtyp	Substrát	HSP
01	ČMn,ČMk(ČM,ČMk)	spraš	B
02	ČMi(ČMd)	spraš	B
03	ČMč(ČMl)	spraš, spraš-slín	B (C)
04	ČMr(ČM)	lehké substráty	A
05	ČM	spraš/písek	B
06	ČMp,ČMpc	slín(vylehčení Ap)	C - D
07	ČMp,ČMpc,SMm (ČM,ČMsm)	slín,slinitý jíl	D
08	ČM,HM smyté	sprašové mat.,(slín)	B (C)
09	ŠMn(ČMi)	spraš	B
10	HMm,HMč,HMg (HM)	spraš	B
11	HMm,HMg(HM)	spraš.hlína	B
12	HMm,HMg(HM)	polygenetická hlína	B
13	HM,IP	hlína - lehký mat.	B
14	IP,HMi, (g)	sprašová n. polygenetická hlína	B
15	IP,HMi,HP-HPi(g)	polygenetická hlína	B(C)
16	IP	zahliněné(šterko)písky	B(A)
17	IP,(IP)	písky(hlinité proplástky)	A(B)

18	RA,RAh	svahoviny vápenců,terrae	B-C
19	PR,PRh(RA,R th)	opuky, slínovce	B-C
20	PS,PSk(HP,RA)	slíny	D
21	HP,RGmPR(DA)	písky	A
22	HP,PR(HP,RA)	zahliněné(šterko)písky	A - B
23	Hpg	písek/jíl	A - B
24	HP,HPa,HPp(g)	svahoviny flyš S-tS	B - C
25	HP,HPa(g)	svahoviny,opukyS-(tS)	B(C)
26	HP,HPa(g)	svahoviny břidlic S - (TS)	B(C)
27	HP,HPa	svahoviny břidlic,drob., flyš IS	B
28	HP(g)	svahoviny bazik S	B
29	HP,HPa(g)	svahoviny eruptiv, metamorfik IS-S	B
30	HP,HPa(g)	svahoviny,permokarbon IS-S	B
31	HP,HPa	svahoviny pískovců IS-L	A(B)
32	HP,HPa	svahoviny eruptiv,metamorfik IS-L	A(B)
33	HP,HPa(g)	svahoviny,permokarbon S-tS	B - C
34	Hpao, RZ	svahoviny eruptiv, metamorfik	B
35	Hpao, RZ	svahoviny,sediment,hor.	B(A)
36	RZ,HPao	svahoviny	B
37	mělké lehké	rozpad hornin, svahoviny	B(A)
38	mělké střední – těžké	rozpad hornin, svahoviny	C - D
39	rankery	rozpad hornin	
40	svažité 12°	lehké až IS	B
41	svažité 12°	střední - těžké	C - D
42	HMg	sprašová hlína	C
43	Hmig, IPg	sprašová hlína	C
44	PG(OG)	sprašová hlína	C
45	HMg	polygenetická hlína	C
46	Hmig, IPg	polygenetická hlína	C
47	PG(OG)	polygenetická hlína	C
48	Hpg, PG(OG)	svahoviny břidlic S	C
49	HPg,PG(OG)	svahoviny těžké tS - T	D
50	Hpg, PG(OG)	svahoviny eruptiv a metamorfik S-IS	C
51	HPg,PG(OG)	zahliněné stěrkopísky	C
52	PH, Hpg (OG)	limnický terciér IS	C(D)
53	PG, Hpg (OG)	terciérní substr. S/T	C(D)
54	PG, Hppg (OG)	jíly	D
55	NP	lehké nivní sedimenty	A
56	NP	střední nivní sedimenty	B
57	NPP	těžké nivní sedimenty	C-D
58	NPG	střední nivní sedimenty	B-C
59	NPG	těžké nivní sedimenty	D
60	ČA(LP)	nivní, sprašové sedimenty S	B
61	ČA(LP)	slíny, nivní sedimenty	C(D)
62	ČAG (LPG)	nivní sedimenty a jiné S	C
63	ČAG(LPG)	slíny, nivní sedimenty	D
64-76		hydromorfní půdy	C
		s výjimkou zkulturněných půd	

Pozn.: v závorce symboly map KPP, jinak symboly nové klasifikace. Pokud jsou u hydrologických skupin uvedeny dva symboly znamenají rozpětí variability (např.C-D); při menší četnosti výskytů je alternativa v závorce: B(C) - dané heterogenitou jednotky v zrnitosti či ulehlosti, eventuálně ve vodním režimu

Na základě uvedených činitelů byla sestavena vzhledem k různému odtoku vody po povrchu povodí tabulka udávající čísla odtokových křivek – CN. Hodnoty jsou uvedeny pro průměrné předchozí vláhové podmínky PVP II (viz. Tab. 7).

Pro vlhkostní parametry PVP I a PVP III je nutno pro určení hodnot CN – křivek použít přepočtový nomogram uvedený v [15] viz. Obr. 3.



Obr. 3: Nomogram pro odvození hodnot CN – křivek (převzato z [15])

Tab. 7: Průměrná čísla odtokových křivek – CN pro PVP II (převzato z [16])

Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtokových křivek - CN pro hydrologické skupiny půd			
			A	B	C	D
Úhor	čerstvě zkyplený	-	77	86	91	94
	Pz	Šp	76	85	90	93
	Pz	Db	74	83	88	90
Širokořádkové plodiny (okopaniny)	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Db	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Db	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Db	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
	Vř + Pz	Db	64	74	81	85
	Vř + Pr	Šp	66	74	80	82
	Vř + Pr	Db	62	71	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pr + Pz	Db	61	70	77	80

Úzkořádkové plodiny (obilniny)	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Db	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Db	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
	Vř	Db	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Db	60	72	80	83
	Vř + Pr	Šp	61	72	79	82
	Vř + Pr	Db	59	70	78	81
	Vř + Pr + Pz	Šp	60	74	78	81
	Vř + Pr + Pz	Db	58	69	77	81
Víceleté pícniny, luštěniny	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Db	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	85
	Vř	Db	55	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Db	51	67	76	80
Pastviny s pokryvem	< 50 %	-	68	79	86	89
	50 - 70 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
Louky	sklizené	-	30	58	71	78
Křoviny s pokryvem	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 70 %	-	35	56	70	77
	> 75 %	-	30	48	65	73
Sady se zatravněným meziřádkům		Šp	57	73	82	86
		Stř	43	65	76	82
		Db	32	58	72	79
Lesy		Šp	45	66	77	83
		Stř	36	60	73	79
		Db	30	55	70	77
Zemědělské dvory		-	59	74	82	86
Komunikace s příkopy	dlážděné, živičné		83	89	92	93
	makadamové, šterkové		76	85	89	91
	nezpevněné, hliněné		72	82	87	89
Nepropustné plochy			98	98	98	98

Pz - posklizňové zbytky nejméně na 5 % povrchu po celý rok

Př - přímé řádky vedené bez ohledu na sklon pozemku, tedy i po spádnici

Vř - vrstevnicové řádky vedené přesně ve směru vrstevnic - konturově

Pr - pásově pěstované plodiny a příčně průlehované pozemky

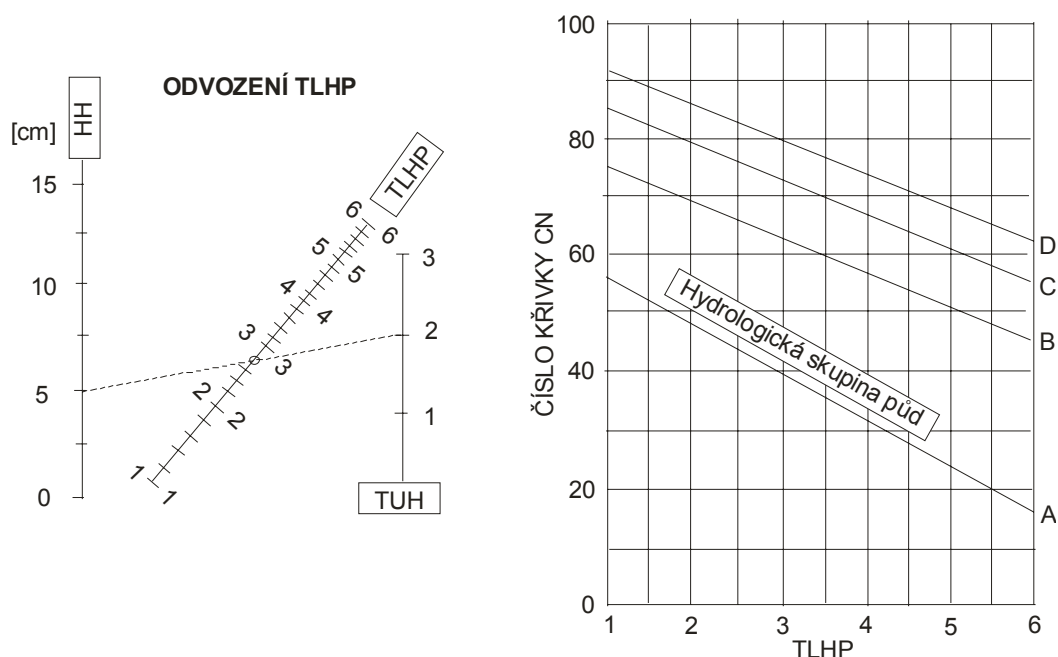
Šp - špatné hydrologické podmínky omezující infiltraci vody do půdy a zvyšující odtok

Db - dobré hydrologické podmínky zvyšující infiltraci a snižující odtok

Stř - střední hydrologické podmínky

Pro lesní porosty nejsou data BPEJ, proto je potřeba na základě půdního terénního průzkumu následující přepočty využívající vrstvu nadložního humusu. Jak uvádí [16] jsou hydrologické podmínky lesích porostů závislé především na hustotě vegetace a hrabanky (která je tvořena nerozloženým listím, jehličím, větvičkami, kůrou a zbytky další vegetace), ze které vzniká vrstva nadložního humusu.

Nadložní humus se podle metody CN – křivek hodnotí takto: při dobrém obhospodařování je nadložní humus pórovitý a má velkou vsakovací a akumulaci schopnost. Pro určení třídy hydrologických podmínek lesa (TLHP) je zpravidla nutné pomocí sond zjistit hydrologickou skupinu půdy, třídu ulehlosti (TUH: 1 – humus slehlý, 2 – humus mírně ulehlý, 3 – humus kyprý nebo sypký), hloubku humusu (HH) a z nomogramu na Obr. 4 odečíst hodnotu čísla CN – křivky [16].



Obr. 4: Nomogram pro odvození hodnot CN - křivek na lesních půdách (převzato z [16])

Hodnoty čísel CN - křivek vyjadřují podíly povrchového a hypodermického odtoku, jsou tedy ukazatelem pravděpodobnosti typu odtoku. Čím větší hodnota CN, tím je pravděpodobnější, že bude docházet k povrchovému odtoku. Metoda CN - křivek vychází z předpokladu, že poměr objemu odtoku k úhrnu přívalové srážky 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 počáteční ztrátě, která je součtem intercepce, infiltrace a povrchové akumulace, jež byla odhadnuta na základě experimentálních měření na 20 % potenciální retence ($I_a = 0,2 A$) [16].

Srážko-odtokový vztah pro odhad přímého odtoku (O_{pH}) je podle [16] vyjádřen následujícími vztahy:

$$H_o = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{(H_s + 0,8A)} \text{ [mm]} \text{ pro } H_s \geq 0,2A$$

kde: H_o - přímý odtok [mm]

H_s - úhrn přívalové (návrhové) srážky [mm]

A - potenciální retence vyjádřená pomocí křivek jako $A = 25,4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$

$$O_{pH} = 1000 \cdot H_o \cdot P_p \text{ [m}^3\text{]},$$

kde: P_p - je plocha povodí [km²]

5. PŘÍPRAVA SRÁŽKO-ODTOKOVÉHO MODELU

Cílem matematického modelování hydrologických procesů je vyjádření časové nebo časově-prostorové závislosti určitých veličin charakterizujících hydrologický režim modelovaného objektu (povodí). Srážko-odtokový proces je ovlivňován společným působením deterministických a stochastických vlivů, jejichž míra působení je dána samou podstatou přírodních jevů. Metody matematického modelování umožňují nejen simulovat skutečný hydrologický proces, ale s jejich pomocí lze navíc určovat i reakci modelovaného objektu v různých extrémních srážkových situacích pro návrhové a prognózní účely [20].

Při matematické modelování musíme vycházet z toho, že hydrologický systém je nesmírně heterogenní a proměnlivý, a proto komplexní pojetí jde na úkor přesnosti modelovaného objektu. Přesnost hydrologických modelů záleží na zvolené míře zjednodušení a porozumění významu působících činitelů a jejich vazeb s možnostmi jejich realistické matematické formulace [11].

Matematický model srážko-odtokového procesu je zjednodušenou formou složitějšího hydrologického systému se vzájemnými vazbami mezi proměnnými veličinami [20].

Srážko-odtokový model v prostředí HEC-HMS se skládá ze základního modelu povodí a meteorologického modelu. Pro sestavení srážko-odtokového modelu bylo potřeba vybrané povodí schematizovat. Jedná se o odvození fyzicko-geografických charakteristik povodí v prostředí GIS (extenze HEC-GeoHMS pro ArcView 3.x). Schematizované povodí se stalo základním prvkem celého modelu. V dalším kroku byl vytvořen meteorologický model vycházející z reálných srážkových dat, která byla uložena v databázovém systému HEC-DSSVue a z něhož byla naimportována do HEC-HMS. Dále pak následovalo určení kontrolních specifikací, které znamenaly časové určení vybraných dat. V posledním kroku bylo zapotřebí zkalibrovat celý srážko-odtokový model.

5.1 Vstupní data

Jako základní podkladová data potřebná schematizaci povodí a odvození fyzicko-geografických parametrů povodí vstupujících do srážko-odtokového modelu HEC-HMS sloužila digitální vektorová data ve formátu .shp, která byla získána z diplomové práce [21]. Jednalo se o liniovou vrstvu vrstevnic (ZABAGED, s výškovým rozdílem 5 m) a polygonovou vrstvu využití půdy (landuse) obsahující (na základě terénního výzkumu) informace o hydrologických skupinách půd jednotlivých plošek. Kategorizace a stručný postup tvorby vrstvy využití půdy je uvedena v kap. 3.2.

Pro potřeby meteorologického modelu byla získána data z ČHMÚ (pobočky Brno) denních úhrnných srážek ze srážkoměrné stanice Vizovice a data hodinových průtoků řeky Všeminky z limnigrafu Slušovice. Jako časové období byl zvolen měsíc červenec 1997 jakožto významné extrémní hydrologické období.

5.2 Schematizace povodí v HEC-GeoHMS

Schematizace povodí probíhala v prostředí extenze HEC-GeoHMS pro ArcView a vycházela z metodiky ČHMÚ – [26]. Prvním z kroků při odvozování fyzicko-geografických charakteristik povodí bylo předzpracování modelu terénu, určení průběhu rozvodnic a konstrukce říční sítě. Dalším krokem bylo určení závěrového profilu povodí, určení finální podoby povodí a říční sítě a posledním krokem byl výpočet charakteristik povodí a export souborů pro HEC-HMS.

Tvorba DMR

Pro tvorbu DMR bylo použito interpolační metody Topo to Raster - Topogrid, která je součástí Spatial Analystu v softwaru ArcGIS 9. Je to interpolační metoda vyvinutá speciálně pro modelování hydrologicky korektního DMR. Jako vstupní data nepoužívá pouze vrstevnice, ale i výškové body, toky, vodní plochy, sinky (malé bezodtoké oblasti) a hranice povodí. Spojuje tři interpolační metody (IDW, spline a kriging), přičemž klade důraz na hlavního erozního činitele – vodní tok. Znalosti chování povrchů využívá k omezení interpolačních procesů. Výsledkem je správná interpretace hřebenů a toků. Jde o hladký povrch vytvořený splinovou

funkcí, do kterého jsou dále implementovány náhlé změny terénu – hřebeny a vodní toky. Tzv. globální odvodňovací podmínka omezuje vznik sinků. Spojením rozdílných interpolačních metod získává tato metoda přesnost lokální interpolace (IDW) a přitom neztrácí souvislosti dané globálními metodami (kriging, spline). Podmínka odvodnění umožňuje generovat DMR o vysoké přesnosti bez nutnosti velkého množství vstupních dat. Při zadání vstupních údajů jsou pro výpočet vyžadovány další kontrolní parametry, např: výsledné rozlišení, prostorový rozsah interpolace, počet pixelů vstupujících do interpolace za hranicí povodí („margin in cells“), minimální a maximální výška výsledného DMR, maximální počet iterací apod.

V našem případě bylo nastaveno rozlišení na 10 m, zvětšen počet iterací a počet pixelů vstupujících do interpolace za hranicí povodí, ostatní položky byly ponechány defaultnímu nastavení.

The screenshot shows the 'Topo to Raster - Topogrid' dialog box. It is divided into several sections:

- Input feature data:** A table with columns 'Feature Layer', 'Field', and 'Type'. It lists 'vrstevnice' (Contour), 'vodni_toky' (Stream), 'vodni_pl' (Lake), and 'povodi' (Boundary).
- Output surface raster:** A text box containing 'D:\data'.
- Output cell size (optional):** A text box containing '10'.
- Output extent (optional):** Fields for 'Y Maximum' (-1157848,000000), 'X Minimum' (-511141,953689), 'X Maximum' (-503089,000000), and 'Y Minimum' (-1164865,122785). A 'Clear' button is at the bottom right of this section.
- Optional parameters:** A series of text boxes and dropdown menus on the right side:
 - 'Margin in cells (optional)': 40
 - 'Smallest z value to be used in interpolation (optional)': empty
 - 'Largest z value to be used in interpolation (optional)': empty
 - 'Drainage enforcement (optional)': ENFORCE
 - 'Primary type of input data (optional)': CONTOUR
 - 'Maximum number of iterations (optional)': 60
 - 'Roughness penalty (optional)': empty
 - 'Discretisation error factor (optional)': 1
 - 'Vertical standard error (optional)': 0
 - 'Tolerance 1 (optional)': empty
 - 'Tolerance 2 (optional)': empty

Obr. 5: Interpolace DMR pomocí metody Topo to Raster - Topogrid

Určení říční sítě a tvorba sub-povodí

Vygenerovaný DMR z ArcGISu byl nainportován do prostředí extenze HEC-GeoHMS, kde následovaly analýzy DMR:

První procedurou bylo vyplnění lokálních sníženin (bezodtokých oblastí) v terénu na úroveň jejich okolí („Fill Sinks“).

Poté následovalo určení vektorů stékání („Flow Direction“) na základě největšího lokálního sklonu terénu; výsledkem byl rastr s hodnotami orientace vektoru jako mocniny dvou.

V dalším kroku bylo provedeno určení tzv. akumulace vody („Flow Accumulation“), tj. každému pixelu byl přiřazena hodnota sumy všech pixelů, ze kterých (na základě „Flow Direction“) přitéká voda.

Následovala procedura pro definice toků („Stream Definition“) s hodnotou akumulace vody větší než definovaný práh (udávaný buď počtu nebo plochou přispívajících pixelů). Tento práh totiž určuje jakousi generalizaci říční sítě ne jejímž základě je potom povodí děleno na menší sub-povodí. Jako optimální práh byl po několika pokusech zvolen 3 km², protože výsledná sub-povodí by neměla podle metodiky CN – křivek přesáhnout rozlohu 10 km², což při zadání většího prahu nastalo. Při zadání velmi malého prahu (defaultní nastavení) byla říční síť zbytečně podrobná.

Následovalo rozdělení toku do jednotlivých orientovaných říčních úseků („Stream Segmentation“) a určení soutoků, jenž oddělovaly jednotlivé říční segmenty. Výsledkem byl rastr, kde každý pixel přináležející danému úseku měl stejnou hodnotu. Na základě stanoveného prahu byly vymezeny tři říční segmenty.

Dále bylo potřeba určit pro každý říční úsek konkrétní sub-povodí („Watershed Delineation“). Výsledkem byl klasifikovaný rastr, kde každý pixel náležející danému sub-povodí měl stejnou hodnotu (shodnou s hodnotou příslušného říčního úseku).

Poté následovalo převedení rastru sub-povodí na polygonovou (vektorovou) vrstvu hranic sub-povodí, tj. rozvodnic („Watershed Polygon Processing“). Posledním krokem bylo převedení rastru říčních úseků (výsledku z procedury „Stream Segmentation“) na liniovou (vektorovou) vrstvu vodních toků („Stream Segment Processing“). Pro urychlení výpočtu byla v extenzi HEC-GeoHMS

provedena ještě automatické agregace povodí („Watershed Aggregation“), která slouží pro urychlení následných procedur.

Určení závěrového profilu

Pomocí menu „Start New Project“ („HMS Project Setup“) by zadán název projektu. Poté se určil pomocí nástroje „Add Outlet“ závěrový profil a spustila se procedura generování projektu („Generate Project“). Tímto krokem došlo k vytvoření projektu a přenesení všech potřebných dat do nového zobrazení („View“) – viz. Příloha 3.

Výpočet charakteristik povodí

Po dokončení modelu povodí a říční sítě se přistoupilo k výpočtu některých fyzicko-geografických charakteristik povodí. K tomu bylo využito menu „Basin Characteristics“. Zde byly použity využít metody „Basin Centroid“, ta umožňovala určit těžiště povodí podle tří různých metod. V projektu byly použity metody „Longest Flow Path“, která vypočítala délku a sklon maximální délky toku (nejdelší údolnice povodí) a „Centroidal Flow Path“, která vypočítala délku toku z profilu průmětu těžiště povodí na hlavní tok k závěrovému profilu povodí.

Výsledné hodnoty byly zapsány do atributové Tabulky polygonového tématu povodí a zároveň byly vytvořeny i vektorové vrstvy těžiště (bodová), maximální délky toku v povodí a délky toku od těžiště povodí k závěrovému profilu povodí (liniové).

Sestavení a export hydrologického modelu povodí

K sestavení a exportu vlastního schematického modelu povodí se zajištěním všech potřebných topologických vazeb slouží menu „HMS“. Bylo vhodné spouštět procedury tak, jak byly za sebou:

„Reach AutoName“ přiřazoval automaticky generovaná jména říčním úsekům, „Basin AutoName“ přiděloval automaticky generovaná jména sub-povodím. Následovalo „Map to HMS Units“, zde se nastavovaly jednotky (jednotky SI). „HMS Check Data“ slouží jako kontrola topologie, jejíž výsledek byl zapsán do souboru („SkelConsChk.txt“). Vytvoření schematizovaného modelu povodí bylo vytvořeno procedurou „HMS Schematic“, jejímž výsledkem byly body (tj. těžiště povodí a

soutoky) a linie (tj. segmenty toků). K ní bylo pomocí „HMS Legend“ vygenerována speciální legenda schématu modelu. Pro potřeby modelovacího programu HEC-HMS muselo být přiřazeny schematické souřadnice pro topologickou kresbu modelu pomocí „Add Coordinates“. Následovala funkce „Background Map File“, která vytvořila exportní textový soubor s geometrií rozvodnic a říční sítě pro HEC-HMS (v našem případě „vseminka.map“). Poslední procedurou byl „Lumped Basin Model“, jež vytvořil exportní textový soubor schematizovaného hydrologického modelu ve formátu HEC-HMS (v našem případě „vseminka.basin“). Vzhled schmatizovaného povodí pro HEC-HMS – viz. Příloha 4.

5.3 Doplnění charakteristik povodí v HEC-GeoHMS Add-In

Pro potřeby stanovení odtokové ztráty z povodí v HEC-HMS byla nutné stanovit hodnoty CN – křivek, počáteční ztráty odtoku a podíl nepropustných ploch na jednotlivých sub-povodích, pro výpočet transformace srážky na odtok (Clarkův jednotkový hydrogram) bylo zapotřebí stanovit hodnoty doby koncentrace (TC) a hodnoty koeficientu retence (koeficient RC). Pro výpočet těchto potřebných parametrů byla využita extenze HEC-GeoHMS Add-In.

Nejprve bylo ovšem nutné si připravit grid obsahující hodnoty CN.

Tvorba gridu CN

V atributové tabulce polygonové vrstvy využití půdy byla vytvořena nová sloupec obsahující hodnoty CN – křivek, které byly určeny na základě metodiky popsané v kap. 4.2 (na základě položek využití půdy a hydrologické skupiny půd). Tato vektorová vrstva pak byla převedena na grid a kvůli její podrobnosti bylo zvoleno rozlišení gridu na 5 m.

Stanovení hodnot CN - křivek

V menu „GeoHMS Add-In“ byly nejprve vypočítány pomocí položky „Charakteristiky z DEM“ charakteristiky sub-povodí, protože předchozí kroky v extenzi HEC-GeoHMS si charakteristiky přizpůsobily ke svému vlastnímu výpočtu. Pro výpočet se stanovil rozměr gridu na 10 m. Výsledky výpočtu vybraných

charakteristik se zapsaly do následujících položek do atributové tabulky sub-povodí. Jednalo se o charakteristiky: BASINAREA – plocha povodí v km², PERIMETER – obvod povodí v m, CENTROIDX – souřadnice X těžiště povodí, CENTROIDY – souřadnice Y těžiště povodí, MEANELEV – průměrná nadmořská výška povodí v m n.m., BASINSLOP – sklon povodí (poměrné číslo), MFDIST – maximální délka toku v povodí v m, MFDSLOPE – průměrný sklon povodí podél maximální délky toku (poměrné číslo), CENTOUT - délka toku z profilu průmětu těžiště povodí na hlavní tok k závěrovému profilu povodí v m (hodnota je převzatá z výsledků extenze „HEC-GeoHMS“), SLCENTOUT - průměrný sklon povodí podél toku z profilu průmětu těžiště povodí na hlavní tok k závěrovému profilu povodí (poměrné číslo).

Po volbě procedury „Výpočet CN“ bylo nutné zadat vrstvu představující grid hodnot CN – křivek, z nichž byla vypočítána průměrná hodnota CN a počáteční ztráta na odtoku (angl initial loss) jednotlivých sub-povodí (hodnoty byly zapsány do atributové tabulky – sloupce CN a I_LOSS), která je závislá na hodnotě CN podle vztahu [26]:

$$I_LOSS = \frac{(25400 - (254 \cdot CN))}{CN} \cdot 0,2$$

Podíl nepropustných ploch jednotlivých sub-povodí se stanovil následujícím postupem. Bylo zapotřebí zjistit rozlohu nepropustných ploch v jednotlivých sub-povodích – k tomu posloužila extenze XTools (jako nepropustné plochy byly zvoleny kategorie vodních toků a vodních ploch, intravilánu a zastavěných území a komunikací a cest). Dále se vypočítal podíl nepropustné plochy a celkové plochy sub-povodí, který byl zadáván pomocí tlačítka CN (v horní liště) nebo mohl být zaspán rovnou do atributové tabulky (sloupec RTIMP).

Výpočet doby koncentrace

K výpočtu doby koncentrace byly pomocí procedury „Výpočet doby koncentrace“ vytvořeny položky TC, TLAG a RC v atributové tabulce vrstvy sub-povodí. Doba koncentrace (TC) je čas, za který částice vody doteče z nejvzdálenějšího místa povodí do závěrového profilu povodí. Jednalo se o jednu z nejdůležitějších charakteristik povodí, neboť významně určuje např. tvar

povodňové vlny (zejména rychlost nástupu povodňové vlny a nepřímou velikost kulminace). Oproti tomu TLAG je čas, který uplyne okamžiku výskytu maximální intenzity srážky po okamžiku výskytu kulminačního průtoku v závěrovém profilu povodí [26]. Pro výpočet TLAG byl využit vzorec SCS:

$$TLAG = L^{0,8} \cdot \frac{(S+1)^{0,7}}{1900 \cdot \sqrt{Y}} \text{ [hod]}$$

kde: L – maximální délka toku v povodí [m]

S – maximální retence povodí [mm]

Y – sklon povodí [%]

Pro výpočet doby koncentrace (TC) byl použit vzájemný vztah mezi TC a TLAG:

$$TC = \frac{TLAG}{0,6} \text{ [hod]}$$

Parametr RC (angl. storage coefficient) představuje dobu zdržení vody v povodí neboli schopnost retence. Pro výpočet byl použit odvozený vzorec pro Clarkův jednotkový hydrogram [26]:

$$RC = A \cdot L^B \cdot S_{10-85}^C$$

kde: S_{10-85} – průměrný sklon povodí podél maximální délky toku v úseku mezi 10 - 85% délky [ft/mi]

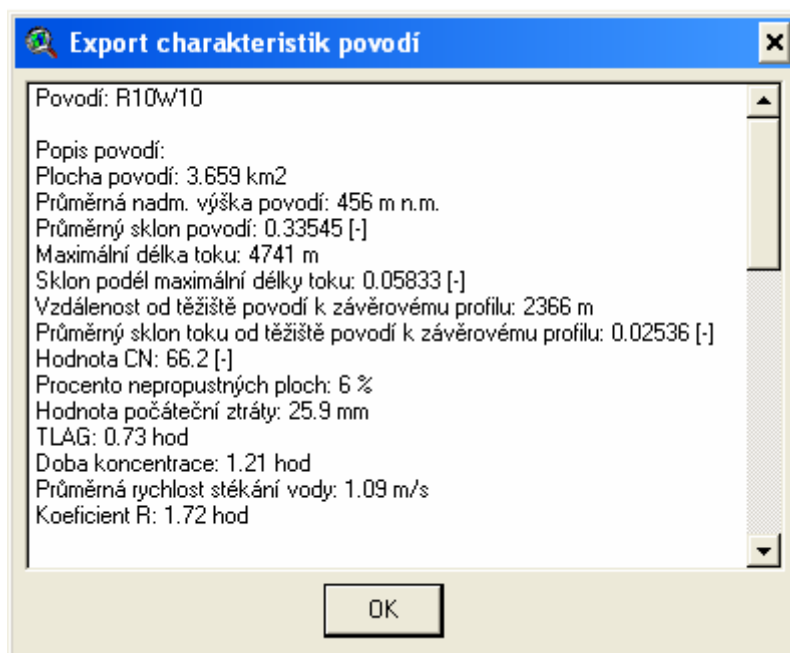
A, B, C – parametry odvozené pro ČR na hodnoty A=80; B=0,342; C=-0,79

L – maximální délka toku v povodí [m]

Výsledky parametrů mohou být pomocí kurzorového dotazu na jednotlivá sub-povodí upravena. Použití této procedury slouží k možnosti změny retence povodí, což má souvislost se schopností povodí zadržovat více vody na plošším povodí [26].

Vypočítané parametry dále bylo potřeba přidat do schematizovaného modelu vyexportovaného pro HEC-HMS (formát .basin). Tyto parametry spolu s fyzicko-geografickými charakteristikami lze pro jednotlivá sub-povodí zobrazit pomocí

funkce „Export charakteristik povodí“ a následně je pro další potřeby uložit do textového souboru (viz. Obr. 6 a Příloha 5). Jako export pro potřeby HEC-HMS slouží „Aktualizace souboru pro HEC-HMS“, která neaktualizuje v HEC-GeoHMS exportovaný soubor (v našem případě „vseminka.basin“ – viz konec kap. 5.2), ale vytvoří nový soubor „hmsfile.basin“, který již obsahuje vypočítané hodnoty CN – křivek, doby koncentrace apod. pro jednotlivá sub-povodí. Nutno ovšem podotknout, že vyexportovaný soubor „hmsfile.basin“, obsahuje pouze informace o sub-povodích a soutocích, informace o vodních tocích však nikoli. Ty je nutno zkopírovat (např. pomocí poznámkového bloku – notepadu) ze souboru „vseminka.basin“ na konec textu v souboru „hmsfile.basin“ – tímto je již exportovaný soubor kompletní a může být využit pro potřeby modelování v HEC-HMS.



Obr. 6: Textový export charakteristik sub-povodí v HEC-GeoHMS Add-In

5.4 Zpracování meteorologických dat v HEC-DSSVue

Protože meteorologický model programu HEC-HMS vyžaduje jakákoliv meteorologická data uložená v databázi HEC-DSS, bylo nutné získané denní srážkové úhrny a hodinové průtoky z ČHMÚ (ve formě .xls) vložit pomocí HEC-DSSVue do jejího databázového souboru (.dss).

Pomocí menu „Utilities“ – „Manual Data Entry“ – „Time Series“ se zobrazí dotazovací formulář, ve kterém se podle manuálu [33] vyplní jednotlivé položky, data z formátu .xls lze pak lehce překopírovat do tabulky formuláře. Při zadávání úhrnných srážek je potřeba do pole C zadat „PRECIP-INC“, jednotky nastavit na „mm“ a jako typ zvolit „PER-CUM“. Při zadávání průtoků je pak nutné do pole C zadat „FLOW“, jednotky nastavit na „m3/s“ a jako typ zvolit „INST-VAL“.

Pathname Parts

A: VSEMINKA B: SLUSOVICE C: PRECIP-INC

D: E: 1DAY F:

Pathname: VSEMINKA/SLUSOVICE/PRECIP-INC/1DAY/

Start Date: 01Jun1997 Units: mm

Start Time: 06:00 Type: PER-CUM

Paste

Manual Entry Automatic Generation

Ordinate	Date	Time	
1	01Jun1997	06:00	
2	02Jun1997	06:00	

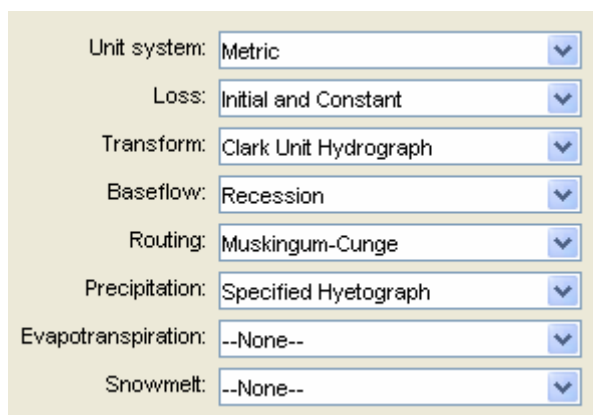
Plot Graphically Edit Save Cancel

Obr. 7: Zadávání dat v prostředí HEC-DSSVue

6. KALIBRACE MODELU

Základním krokem bylo vytvoření nového projektu v HEC-HMS a naimportování schematizovaného povodí z HEC-GeoHMS. K tomu slouží menu „File“ - „Import“ - „Basin Model“, kde lze načíst předzpracovaný soubor a pomocí menu „View“ - „Background Maps“ lze načíst hranice sub-povodí.

Před samotnou kalibrací bylo vhodné nastavit všechny metody, které budou použity pro výpočet odtoku („Tools“ - „Project Options“).



The image shows a screenshot of the 'Project Options' dialog box in HEC-HMS. It contains several dropdown menus for selecting calculation methods:

Parameter	Selected Method
Unit system:	Metric
Loss:	Initial and Constant
Transform:	Clark Unit Hydrograph
Baseflow:	Recession
Routing:	Muskingum-Cunge
Precipitation:	Specified Hyetograph
Evapotranspiration:	--None--
Snowmelt:	--None--

Obr. 8: Nastavení výpočetních metod v prostředí HEC-HMS

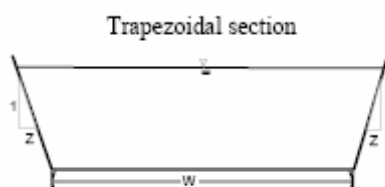
6.1 Kalibrace odtoků

Kalibrace přímého (povrchového a hypodermického) odtoku

Kalibrace byla předzpracována již během schematizace povodí. Byly však nastaveny jenom parametry týkající se odtoku pro koryto říční sítě. Tyto parametry si HEC-HMS rozdělil na parametry související s infiltrací a transformací srážek na sub-povodí. Do parametrů infiltračních („Loss Rate“) patřily počáteční ztráta srážek („Initial loss“), hodnota CN - křivky a procentuální zastoupení nepropustných ploch („Impervious Areas“) na sub-povodí. Mezi transformační parametry spadala metoda transformace srážky na odtok Clarkův jednotkový hydrogram s parametry: doba koncentrace („Time of Concentration“) a koeficientem retence („Storage Coefficient“).

Do nenastavených parametrů z MEC-GeoHMS patřily parametry odtoku v korytech řek. Problémem bylo stanovení koeficientů a metody výpočtu hydrologicko-

hydraulické závislosti procesu odtoku v korytech řek. Jako metoda výpočtu odtoku v korytech („Routing Method“) byla zvolena metoda „Muskingum-Coungé“ a tvar koryta byl nastaven na „TRAPEZOIDAL“. Požadovanými parametry jsou délka koryta, podélný sklon, Manningův koeficient drsnosti povrchu, šířka dna koryta a boční sklon (sklon břehu, angl. side slope). Tyto parametry se musely nastavovat u každého segmentu říční sítě individuálně. Délka koryta a příčný sklon byl již vypočítán při schematizaci povodí v HEC-GeoHMS (v atributové tabulce vrstvy říční sítě). Šířka dna byla zvolena na 5 m, boční sklon vyjadřuje poměr šířky a výšky „ $z/1$ “, který je patrný z Obr. 9. Manningův koeficient drsnosti byl podle [15] stanoven jako $n=0,033$.



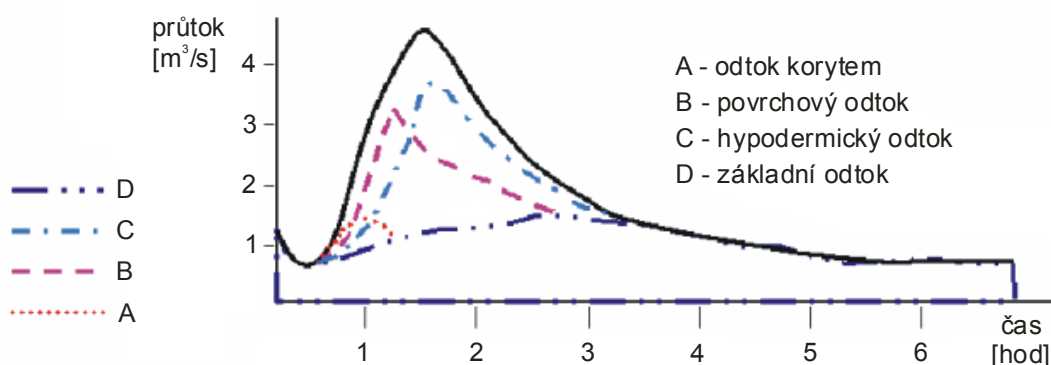
Obr. 9: Parametry profilu koryta (převzato z [35])

Kalibrace základního odtoku

Pro kalibraci základního odtoku nebyla k dispozici vstupní data, protože metoda CN - křivek šetří jen přímý odtok (povrchový a hypodermický) odtok. Tato kalibrace je ale nejméně významná, protože je podle [5] modelování srážko-odtokových procesů základním odtokem ovlivněno minimálně (viz. Obr. 10). Pro stanovení základního odtoku byla stanovena recesní metoda základního odtoku („Recession Baseflow Method“), protože se dle [35] hodí nejlépe pro krátké epizodní události.

V recesní metodě základního odtoku bylo potřeba nastavit hodnotu počátečního odtoku z území („Discharge Per Area“), který byl na základě údajů ČHMÚ [31] stanoven jako $0,003 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}$.

Na základě [35] a několika pokusů při optimalizaci konstant byla Recesní konstanta („Recession Constant“) stanovena na 0,3 a prahový odtok („Threshold“) jako 0,98.



Obr. 10: Hydrogram jednotlivých typů odtoků (převzato z [5])

6.2 Kalibrace meteorologického modelu

Meteorologický model jako jedna z částí srážko-odtokového modelu se skládá z meteorologických dat a prostorového přiřazení těchto dat k jednotlivým sub-povodím. Prvním krokem tedy bylo vložit srážková a průtoková data uložená ve formátu .dss pomocí HEC-DSSVue. Pomocí menu „Components“ – „Time-Series Data Manager“ lze vložit tyto časové řady („Precipitation Gages“ a „Discharge Gages“). V nastavení jednotlivých „Gages“ (měřících stanic) lze pomocí položky „Data Source“ vybrat soubor formátu .dss a z něho potřebnou časovou řadu.

Pak bylo nutné vložit obdobným způsobem (pomocí menu „Components“) meteorologický model. V kartě „Basins“ je nutno potvrdit zahrnout do výpočtu sub-povodí a pro jednotlivá sub-povodí nastavit „Gages“.

6.3 Kalibrace kontrolních specifikací

Tímto krokem se stanovil pomocí modulu „Control Specification“ přesné časové období a časový interval (výpočetní krok), ve kterém se postupovalo v tvorbě jednotlivých srážkových epizod. Pro modelování srážko-odtokových procesů bylo vybráno období první půlky července 1997 jakožto extrémní hydrologické období, kdy 6. 7. 1997 dosáhla v srážkoměrné stanici Vizovice hodnota 24 hodinového úhrnu srážek 64 mm, což dle [15] odpovídá zhruba „dvacetiletému“ dešti (tj. dešti s pravděpodobností opakování jednou za 20 let). Konkrétně bylo vybráno období od 3. 7. 1997 v čase 00:00 hodin do 11. 7. 1997 v čase 24:00 hodin s časovým krokem

5 minut. I přestože software HEC-HMS dovoluje modelovat odtoky pro delší časový interval, tak se podle [35] nedoporučuje modelovat odtoky pro delší časový interval než 14 dní, protože se mění vláhové podmínky půd a tím je ovlivněna hodnota CN – křivek a dalších transformačních parametrů srážek na odtok.

Tab. 8: Denní úhrny srážek v modelovaném období (srážkoměrná stanice Vizovice)

datum	3. 7.	4. 7.	5. 7.	6. 7.	7. 7.	8. 7.	9. 7.	10. 7.	11. 7.
srážky [mm]	19,6	10,3	6,8	63,9	49,1	19,6	0,2	0,0	0,0

6.4 Optimalizace parametrů

Pro zpřesnění výsledků lze na základě rozdílu pozorovaných a vymodelovaných průtoků (např. v závěrovém profilu) pomocí funkce „Optimization Trial“ optimalizovat vstupní parametry, které ovlivňují průběh výsledného hydrogramu (např. hodnota CN – křivek, doba koncentrace TC, retenční koeficient RC, počáteční ztráta IA apod.). Pro optimalizaci parametrů si je možno vybrat z několika výpočetních algoritmů, které porovnávají naměřený a vymodelovaný hydrogram – např. metoda minimalizace sumy čtverců odchylek, minimalizace rozdílu vrcholů hydrogramů apod.

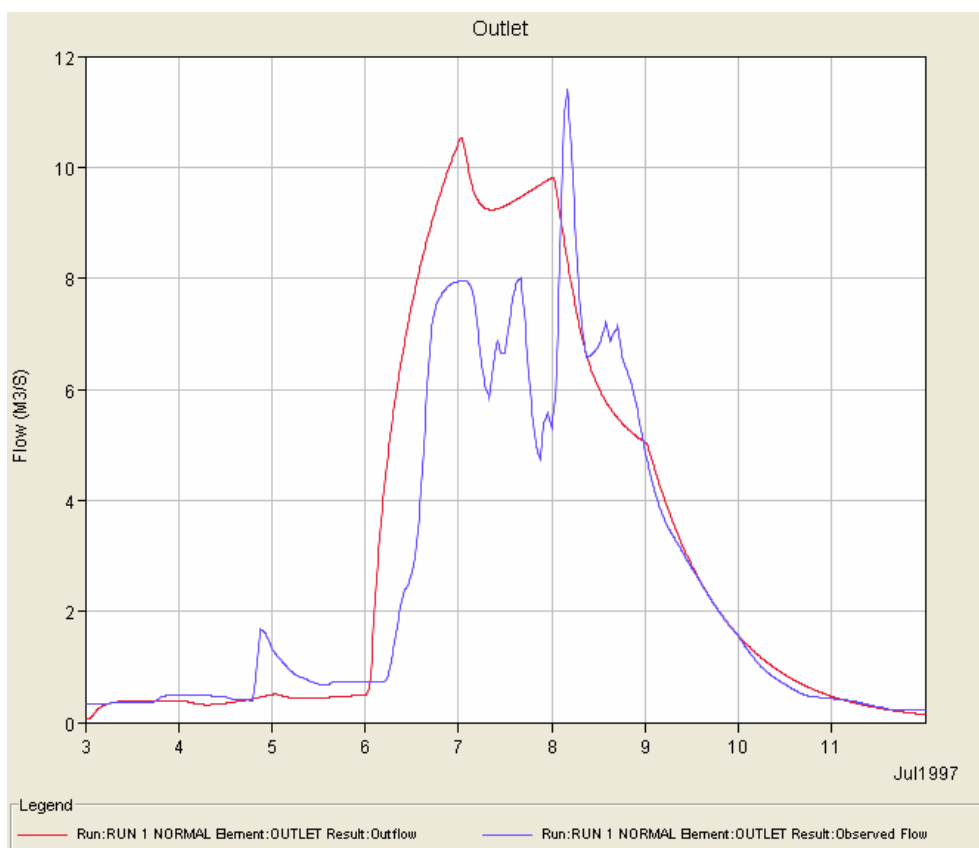
V případě tohoto modelování ovšem nebyla optimalizace provedena ze dvou důvodů. Prvním důvodem jsou srážková data – data o srážkových úhrnech jsou pouze v intervalu 24 hodin a navíc ze srážkoměrné stanice Vizovice, při modelování odtoků rozloží tedy HEC-HMS srážkový úhrn za 24 hodin rovnoměrně do výpočetního časového kroku (nastaven při kalibraci kontrolních specifikací, např. 5 minut) a počítá také s tím, že na celém území povodí jsou srážkové úhrny rozloženy rovnoměrně. Zaznamenané průtoky ovšem pocházejí z limnigrafu v Slušovicích (závěrový profil) v časovém kroku po 1 hodině, z čehož plynou značné rozdíly mezi modelovaným a naměřeným hydrogramem (zejména v času kulminace) – viz. Obr. 11.

Pomoci tyto rozdíly zmírnit by mohly údaje z meteorologických radarů, které by mohly zpřesnit časové a prostorové rozložení srážek nebo údaje ze srážkoměrné stanice v kratším časovém kroku (např. 1 hodina). Ani jedny ze zpřesňujících údajů

se však nepodařilo získat. Navíc není ještě zavedena přesná metodika využívání radarových dat pro odhad srážek (v současné době v testovací fázi na ČHMÚ) [31].

Druhým důvodem je scénářové modelování. Optimalizace je vhodná pro zpřesnění scénářového modelování, ve kterém se vyskytuje pouze aktuální využití půdy a mění se např. intenzita a trvání srážek (scénáře s návrhovými „stoletými“ srážkami apod.). V tomto případě se však jedná o scénářové modelování, kdy se mění způsob využívání půdy v povodí (čímž se mění hodnoty vstupních parametrů povodí, např. hodnota CN – křivek, doba koncentrace apod.), přičemž intenzita doba trvání srážek zůstává stejná, a tudíž není možné tyto vymodelované odtoky z povodí se změněným (scénářovým) využitím půdy optimalizovat podle naměřených průtoků z povodí se skutečným využitím půdy.

Z těchto uvedených důvodů nebyla tedy optimalizace provedena a byly ponechány parametry vypočtené v prostředí HEC-GeoHMS Add-In (viz. Tab. 9 a Tab. 10).



Obr. 11: Srovnání vymodelovaného a naměřeného průtoku závěrovým profilem (pozn.: červeně – modelové průtoky, modře – naměřené průtoky)

7. MODELOVÁNÍ

Pro zhodnocení vlivu změny využití půdy bylo vybráno tzv. scénářové modelování, v kterém byly využity různé druhy využití půdy na ploše povodí. Jako první scénář bylo vybráno aktuální využití půdy (resp. využití půdy odpovídající roku 1998). V dalších dvou scénářích byly změněny všechny kategorie využití půdy, kromě nepropustných ploch, které zauímají necelých 7 % celkové plochy povodí Všeminky (tj. intravilánu, komunikací a vodních toků a ploch), na lesní porosty nebo ornou půdu. V případě lesních porostů tedy došlo ke zvýšení rozlohy z původních 50 % na 93 %, kdežto v případě orné půdy došlo ke zvýšení rozlohy z 11 % na 93 % plochy povodí Všeminky. Pro modelování byly vybrány scénáře s ornou půdou a lesními porosty proto, protože představují opačné odtokové extrémy.

Dále bylo rozhodnuto modelovat srážko-odtokové procesy za různých půdních vláhových podmínek. Důvodem k tomu byl fakt, že s narůstajícím nasycením aktivní zóny půd by měl klesat vliv transformačních parametrů (resp. se zmenšují rozdíly mezi hodnotami transformačních odtokových parametrů). V prvním modelování byly využity hodnoty transformačních odtokových parametrů pro normální nasycení aktivní zóny půdy vodou, tj. pro PVP II (předchozí vláhové podmínky II) – viz. Tab. 9. Pro modelování průtoku, kdy je aktivní zóna půdy velmi nasycena vodou z předchozích srážek, byly využity hodnoty transformačních odtokových parametrů pro PVP III – viz. Tab. 10.

Tab. 9: Transformační odtokové parametry jednotlivých sub-povodí pro PVP II

Scénář využití půdy	Sub-povodí	Plocha [km ²]	Transformační odtokové parametry			
			CN [-]	IA [mm]	TC [hod]	RC [hod]
Aktuální	R10W10	3,66	66,2	25,9	1,21	1,72
	R20W20	4,56	74,0	17,9	0,85	1,77
	R30W30	13,40	70,7	21,1	2,17	4,3
Lesní porosty	R10W10	3,66	66,0	26,2	1,22	1,72
	R20W20	4,56	71,2	20,5	0,92	1,77
	R30W30	13,40	67,9	24,0	2,34	4,3
Orná půda	R10W10	3,66	86,8	7,7	0,65	1,72
	R20W20	4,56	88,9	6,4	0,52	1,77
	R30W30	13,40	87,5	7,3	1,28	4,3

Jak bylo uvedeno v kap. 6.3 bylo vybráno jako modelovací období první polovina července roku 1997, resp. období mezi 3. a 12. 7. 1997, kdy za 9 dní napršelo u srážkoměrné stanice Vizovice přibližně 170 mm srážek, navíc 6. 7. odpovídala hodnota denních úhrnů srážek přibližně dešti s pravděpodobností výskytu jednou za 20 let.

Tab. 10: Transformační odtokové parametry jednotlivých sub-povodí pro PVP III

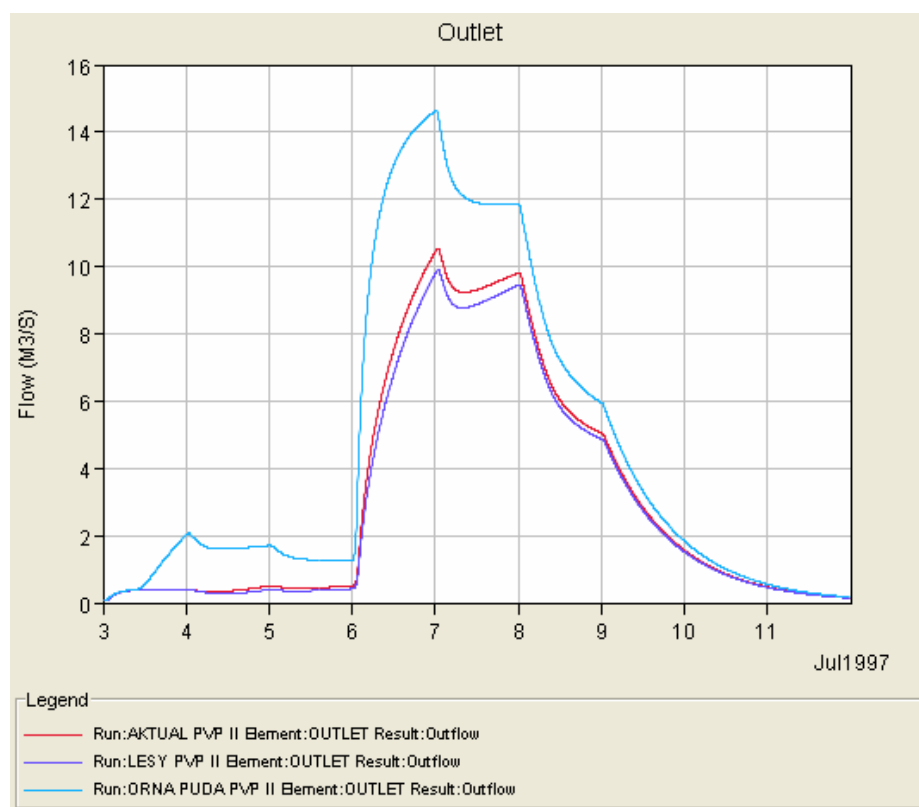
Scénář využití půdy	Sub-povodí	Plocha [km ²]	Transformační odtokové parametry			
			CN [-]	IA [mm]	TC [hod]	RC [hod]
Aktuální	R10W10	3,66	83,5	10,0	0,73	1,72
	R20W20	4,56	88,7	6,5	0,53	1,77
	R30W30	13,40	86,3	8,1	1,34	4,3
Lesní porosty	R10W10	3,66	83,2	10,3	0,74	1,72
	R20W20	4,56	86,9	7,6	0,57	1,77
	R30W30	13,40	84,2	9,5	1,45	4,3
Orná půda	R10W10	3,66	94,7	2,9	0,47	1,72
	R20W20	4,56	95,4	2,4	0,39	1,77
	R30W30	13,40	94,8	2,8	0,94	4,3

8. VÝSLEDKY MODELOVÁNÍ

Pro porovnání výsledků modelování byly využity hydrogamy jednotlivých scénářů a sumární tabulky odtoků v závěrovém profilu a sub-povodích. Hydrogram sloužil pro optické porovnání časového rozložení průtoků v závěrovém profilu. Sumární tabulky sloužily pro porovnání času kulminace (T_{kulm}), největšího průtoku (Q_{max}), celkového množství odečtené vody (Q_{celk}) a zastoupení přímého a základního odtoku. Sledovanými hydrologickými prvky v sumárních tabulkách byl závěrový profil (outlet), soutok (JR30) a jednotlivá sub-povodí (R10W10, R20W20 a R30W30) – viz. Příloha 4.

8.1 Výsledky modelování při PVP II

Jak bylo uvedeno v kap. 7, bylo rozhodnuto modelovat srážko-odtokové procesy za různých půdních vláhových podmínek. V prvním případě byly využity hodnoty transformačních odtokových parametrů pro normální nasycení aktivní zóny půdy vodou, tj. pro PVP II (předchozí vláhové podmínky II) – viz. Tab. 9.



Obr. 12: Hydrogram průtoků v závěrovém profilu povodí Všeminky pro PVP II (pozn.: světle modře – průtoky pro scénář s ornou půdou, červeně – aktuální využití půdy, tmavě modře – lesní porosty)

Z hydrogramů průtoků v závěrovém profilu (na Obr. 12) lze usoudit, že průběh scénářů s aktuálním využitím půdy a lesními porosty má velmi podobný průběh. Scénář s aktuálním využitím má o něco větší a dřívejší nástup kulminace maximálního průtoků.

Rozdíl je patrný zejména v průběhu hydrogramu průtoků scénáře orné půdy, kdy prudce narůstá průtok již při prvním dešti (počátek dne 4. 7.). Nástup kulminace je daleko strmější a průtok při kulminaci je znatelně vyšší, což už se nedá tvrdit o času kulminace, kde není vidět tak markantní rozdíl. Celkové množství odtoků je také oproti předchozím dvěma scénářům podstatně větší.

Tab. 11: Sumární tabulka odtoků v povodí Všeminky při PVP II

Scénář	Prvek	T_{kulm} [7. 7. 1997]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{celk} [10 ³ m ³]	Přímý odtok [%]	Základní odtok [%]
aktuální využití půdy	závěrový profil	00:45	10,53	2 444	–	–
	soutok JR30	00:10	4,11	977	–	–
	R10W10	00:15	1,62	385	77,1	22,9
	R20W20	00:10	2,49	591	78,5	21,5
	R30W30	00:45	6,43	1 467	84,9	15,1
lesní porosty	závěrový profil	00:50	9,90	2 309	–	–
	soutok JR30	00:10	3,95	940	–	–
	R10W10	00:15	1,61	383	77,0	23,0
	R20W20	00:10	2,34	557	78,0	22,0
	R30W30	00:55	5,95	1 368	84,6	15,4
orná půda	závěrový profil	00:15	14,63	3 493	–	–
	soutok JR30	00:00	5,63	1 405	–	–
	R10W10	00:00	2,47	611	79,6	20,4
	R20W20	00:00	3,16	794	80,0	20,0
	R30W30	00:10	9,00	2 087	86,8	13,2

Jak vyplývá ze sumární tabulky odtoků (Tab. 11) jsou rozdíly mezi hodnotami sledovaných veličin scénářů s aktuálním využitím půdy a s lesními porosty menší než s ornou půdou (tento fakt vychází z menších rozdílů hodnot vstupních transformačních odtokových parametrů – viz. Tab. 9). Téměř stejné jsou sledované veličiny u sub-povodí R10W10, které je při aktuálním využití procentuálně hodně zalesněno.

Největší rozdíly v čase kulminace jsou logicky v závěrovém profilu. Pokud by se aktuální využití půdy změnilo na lesní porosty, čas kulminace by nastal o 5 minut později (tj. o jeden výpočetní krok – viz. kap. 6.3), při změně na ornou půdu by tomu bylo o 30 minut dříve. Při aktuálním využití půdy by kulminační průtok ze soutoku JR30 dorazil do závěrového profilu (což je přibližně 6 km korytem Všeminky a 5 km vzdušnou čarou) za 35 minut. U scénáře s lesními porosty by tomu tak nastalo za 40 minut, kdežto u scénáře s ornou půdou už za 15 minut.

Největší rozdíly v maximálním průtoku a celkovém odtoku jsou v dolní části povodí, tj. v závěrovém profilu a u sub-povodí R30W30. Nejvíce patrný rozdíl je samozřejmě ve scénářích s lesními porosty a ornou půdou, kde jsou hodnoty zhruba 1,5 krát větší než u lesních porostů.

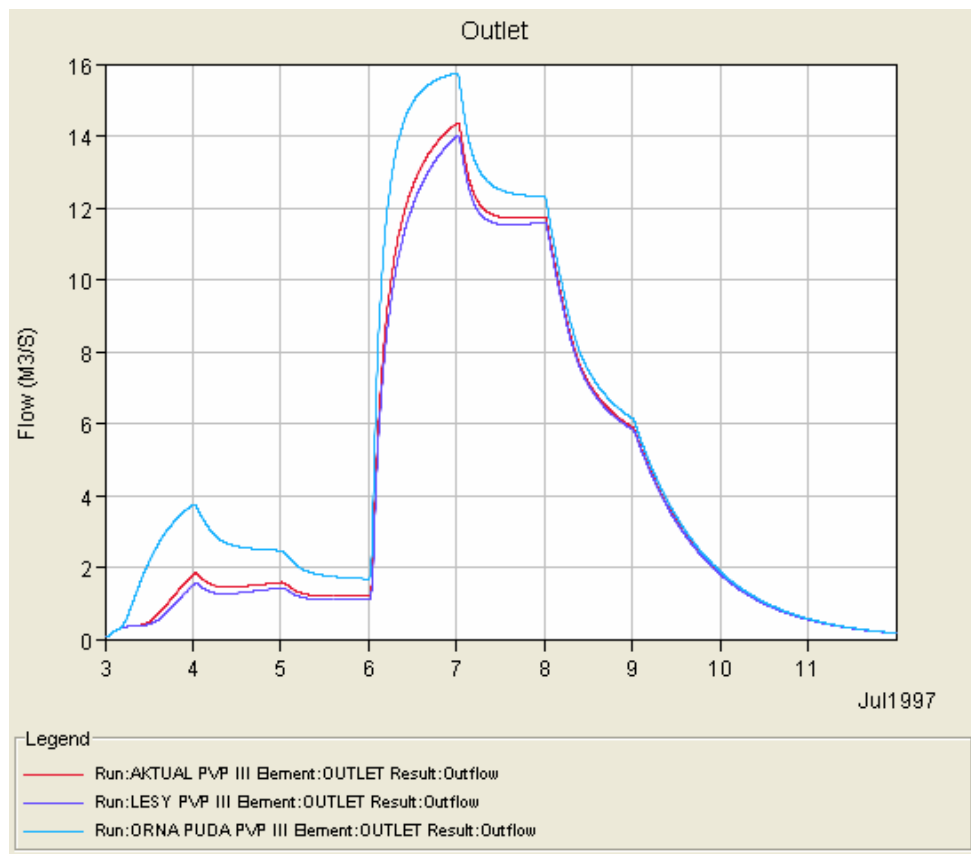
Při změně aktuálního využití půdy na ornou půdu by se podíl přímého odtoku nejvíce zvýšil u sub-povodí R10W10 (protože je procentuálně nejvíce zalesněno). Naopak při zalesnění aktuálního využití půdy by se přímý odtok nejvíce zmenšil v sub-povodí R20W20.

8.2 Výsledky modelování při PVP III

V druhém případě byly využity hodnoty transformačních odtokových parametrů pro vyšší nasycení aktivní zóny půdy vodou, tj. pro PVP III – viz. Tab. 10.

Z průběhu hydrogramů průtoků v závěrovém profilu (na Obr. 13) je patrné, že scénáře s aktuálním využitím půdy a s lesními porosty mají téměř identický průběh průtoků se stejným časem kulminace a téměř shodnou hodnotou maximálního průtoku. Vlivem vyššího předchozího nasycení půdy vodou je již patrný nárůst průtoků hned po prvním dešti.

Charakter průběhu hydrogramu scénáře s ornou půdou (při vyšším nasycení půdy vodou) je už také více podobný předchozím dvěma scénářům. Rozdíl spočívá pouze v prudším a větším nárůstu kulminace průtoků. Mezi celkovým průtokem všech scénářů již není takový rozdíl, jako tomu bylo při nižším nasycení půdy vodou.



Obr. 13: Hydrogram průtoků v závěrovém profilu povodí Všemínky pro PVP III (pozn.: světle modře – průtoky pro scénář s ornou půdou, červeně – aktuální využití půdy, tmavě modře – lesní porosty)

Podle údajů ze sumární tabulky odtoků v povodí Všemínky při PVP III (Tab. 12) lze zjistit, že se všechny sledované hodnoty u všech typů využití půdy liší jen minimálně, což potvrzuje předpoklad uvedený v kap. 7, že s nárůstem nasycení půdy vodou, bude klesat vliv transformačních parametrů a rozdíly mezi jednotlivými průtoky se tak budou zmenšovat.

Největší rozdíly jsou patrné opět v závěrovém profilu, kde je doba kulminace maximálního průtoku stejná jak pro scénář s aktuálním využitím půdy, tak i pro lesní porosty. Čas kulminace u scénáře s ornou půdou by nastal o 15 minut dříve než u předchozích scénářů. Maximální průtok by byl u orné půdy větší o 1,4 – 1,7 m³/s a celkový průtok o 560 – 660 tisíc m³ než u aktuálního využití půdy, resp. lesních porostů.

Při zvýšené nasycenosti půdy vodou se nepatrně zvýšil, ale především značně vyrovnal podíl přímého odtoku mezi všemi typy scénářů. Zejména u scénářů s aktuálním využití půdy a s lesními porosty je podíl přímého odtoku téměř identický.

Tab. 12: Sumární tabulka odtoků v povodí Všeminky při PVP III

Scénář	Prvek	T_{kulm} [7. 7. 1997]	Q_{max} [m ³ /s]	Q_{celk} [10 ³ m ³]	Přímý odtok [%]	Základní odtok [%]
aktuální využití půdy	závěrový profil	00:20	14,36	3 406	—	—
	soutok JR30	00:00	5,51	1 364	—	—
	R10W10	00:05	2,36	573	79,3	20,7
	R20W20	00:00	3,16	791	79,9	20,1
	R30W30	00:15	8,85	2 041	86,7	13,3
lesní porosty	závěrový profil	00:20	14,00	3 299	—	—
	soutok JR30	00:05	5,44	1 336	—	—
	R10W10	00:05	2,35	569	79,2	20,8
	R20W20	00:00	3,09	766	79,8	20,2
	R30W30	00:15	8,36	1 962	86,5	13,5
orná půda	závěrový profil	00:05	15,73	3 967	—	—
	soutok JR30	00:00	6,01	1 592	—	—
	R10W10	00:00	2,67	704	80,2	19,8
	R20W20	00:00	3,34	887	80,4	19,6
	R30W30	00:05	9,73	2 375	87,4	12,6

9. DISKUZE

Diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu změny využití půdy na srážko-odtokové poměry vybraného povodí.

K tomuto účely byly nejprve doporučeny dva volně stažitelné, nekomerční hydrologické softwary – HEC-HMS a TOPMODEL, který byl ovšem ihned po vyzkoušení pro svou nestabilitu v prostředí Windows a větší náročnost na vstupní data vyloučen. K modelování vlivu změny využití půdy na srážko-odtokové poměry povodí byla vybrána metoda tzv. scénářového modelování, kde se v jednotlivých scénářích mění typy využití půdy. Toto scénářové modelování bylo ještě obohaceno o modelování při různých půdních vláhových podmínkách. Přesně pro tento druh modelování se hodí metoda CN – křivek, kterou využívá pro již zmíněný HEC-HMS a která pro transformaci srážek na odtok využívá data o hydrologických vlastnostech půd (tzv. hydrologické skupiny půd, které jsou dostupné z údajů BPEJ), vlhkosti půdy (resp. nasycení aktivní zóny půdy vodou) a o využití půdy. Modelovací software HEC-HMS byl vybrán i proto, protože příprava podkladů pro srážko-odtokové modelování probíhá v prostředí GIS (ArcView).

Jako modelované povodí bylo vybráno malé povodí (21,5 km²) IV. řádu – povodí řeky Všeminky, která se ve Slušovicích vlévá do Dřevnice. Vybráno bylo z důvodu, protože v letech 1998 – 1999 byla na katedře ekologie PřF Univerzity Palackého v Olomouci vypracována diplomová práce zabývající se krajinou strukturou i toho povodí. V rámci práce proběhlo terénní mapování, které aktualizovalo tehdejší materiály o využití půdy v povodí. Jedním z výsledků této aktualizace byla digitální GIS data (ve formátu .shp) obsahující nejen podrobné informace o využití půdy, ale i náležitost jednotlivých ploch k hydrologickým skupinám půd. Toto zařazení k hydrologickým skupinám půd bylo provedeno i pro lesní porosty a to na základě terénního měření půdních profilů, protože lesní porosty nejsou zahrnuty v datech BPEJ. Z výsledků této práce vyplývá, že se využití půdy v tomto povodí za posledních 50 let příliš nezměnilo (jen málo se snížil podíl orné půdy ve prospěch luk a pastvin), a proto byla vybrána metoda scénářového modelování pouze pro současný stav (resp. 10 let starý) a nebylo provedeno modelování a srovnávání za různých historických epoch.

Vzhledem k tomu, že data o využití půdy se vztahují k letem 1998 – 1999, byl jako srážkové období vybrán červenec 1997, jakožto hydrologicky významné období. Podařilo se však pouze sehnat denní srážkové úhrny ze srážkoměrné stanice Vizovice (leží v těsné blízkosti povodí Všeminky) a pro porovnání modelových průtoků data s hodinovými průtoky z limnigrafu ve Slušovicích.

Při přípravě podkladů pro srážko-odtokové modelování (resp. parametrů transformující prostřednictvím algoritmů v HEC-HMS srážky na odtok) bylo využito geoinformačních technologií. Tvorba DMR povodí proběhla pomocí Spatial Analystu ArcGIS 9, konkrétně pomocí interpolační metody „Topo to Raster – Topogrid“. Tato metoda totiž v sobě zahrnuje výpočetní algoritmy jiných metod (IDW, spline, kriging) a byla vyvinuta speciálně pro tvorbu hydrologicky korektních DMR, kdy se při interpolaci bere na zřetel průběh vodních toků a ploch aj. Takto vytvořený DMR z vrstevnic ZABAGEDu se rozlišením 10 m byl dále podroben hydrologickým prostorovým analýzám v prostředí extenze HEC-GeoHMS pro ArcView 3.x, z jejichž výsledků bylo povodí schematizováno pro potřeby srážko-odtokového modelování na 3 sub-povodí, které tak byly obohaceny o fyzicko-geografické charakteristiky potřebné pro výpočet transformačních parametrů.

Základním transformačním parametrem byla v našem případě hodnota CN – křivek. Hodnoty CN – křivek jednotlivých ploch byly stanoveny na základě metodiky [16] jednak pro normální nasycení půdy vodou (tzv. předchozí vláhové podmínky II – PVP II) a jednak pro vysoké nasycení půdy vodou (PVP III). Pomocí hodnot CN – křivek a fyzicko-geografických charakteristik byly vypočteny průměrné hodnoty transformačních parametrů jednotlivých sub-povodí.

Se získanými všemi potřebnými veličinami mohlo být zahájeno srážko-odtokové modelování v prostředí HEC-HMS. Kvůli vlastnostem modelování pomocí CN – křivek (kdy není vhodnou modelovat pro delší časové úseky, protože se mění nasycení půd a tím i hodnota CN – křivek) bylo vybráno srážkové období v rozmezí 9 dnů, kdy se hodnoty denních úhrnů blížily hodnotám „dvacetiletého“ deště. Při srovnání modelovaných průtoků v závěrovém profilu (při aktuálním využití půdy a normálním nasycení půdy vodou) s naměřenými hodnotami průtoků byly zjištěny značné rozdíly, zejména v časovém průběhu. To mohlo být způsobeno ne příliš podrobnými srážkovými daty, které byly k dispozici pouze jako 24 hodinové

úhrny srážek. K zpřesnění modelových průtoků by mohly pomoci jednak údaje ze srážkoměrné stanice s menším časovým krokem (např. 1 hodina) a možná také údaje z meteorologického radaru, které mohou zpřesnit jak časové, tak i prostorové rozložení srážek. Pro využití odhadu přesnějších údajů o srážkách z dat meteorologických radarů existuje nyní metodika pouze ve zkušební fázi a to na pobočkách ČHMÚ. Navíc se nabízí otázka, jestli by pro tak malé území jakým je povodí Všeminky byla data z meteorologického radaru opravdu přínosem.

Díky rozdílu mezi modelovanými a naměřenými průtoky však můžeme dospět k závěru, že na tak malém povodí hraje nejvýznamnější roli v průběhu a velikosti srážko-odtokového procesu velikost a časové rozložení srážek. Rozdíl mezi průtoky ovšem není překážkou pro scénářové modelování, protože všechny vstupní parametry byly vypočteny pomocí stejných rovnic a algoritmů a srážkové úhrny jsou pro všechny scénáře také totožné. Lze tedy předpokládat, že pokud jsou některé z transformačních parametrů zkreslené, jsou zkreslené pro všechny scénáře stejnou chybou.

Pro zjištění výsledků vlivu změny využití půdy byly využity scénáře s aktuálním využitím půdy a scénáře, kdy se všechny typy využití půdy (kromě nepropustných ploch, tj. intravilánu, komunikací a vodních toků a ploch) změnila na lesní porosty nebo na ornou půdu. Scénáře s lesními porosty s ornou půdou byly vybrány záměrně proto, protože představují protichůdné odtokové extrémní podmínky. Jak již bylo zmíněno, bylo využito dvojího modelování při různém nasycení půdy vodou kvůli důvodu potvrdit fakt, že by s narůstajícím nasycením půd vodou měly klesat rozdíly transformačních parametrů (tedy i odtoků). Jako kvantifikátory změny využití půdy na srážko-odtokové poměry byly zvoleny velikost a čas maximálního průtoku, celkový odtok, podíl přímého odtoku (tedy povrchového a hypodermického) na celkovém odtoku a výsledný hydrogram průtoků v závěrovém profilu.

Při prvním modelování za PVP II bylo zjištěno, že všechny sledované veličiny dosahují největších extrémů pro scénář s ornou půdou, naopak nejnižších extrémů dosahoval scénář s lesními porosty (což by odpovídalo hodnotám transformačních parametrů), kdy byla většina hodnot přibližně 1,5 krát menší než u hodnot s ornou půdou. Rozdíl mezi hodnotami a průběhem hydrogramu scénáře

s aktuálním využitím půdy a lesním porosty byl daleko menší než rozdíl mezi aktuálním využitím a ornou půdou. U scénáře s ornou půdou byl patrný zvýšený nárůst průtoku hned po prvním dešti, kdežto u ostatních dvou měl ve stejnou dobu průtok vyrovnaný průběh.

Při druhém modelování za PVP III byla potvrzena domněnka, že s narůstajícím nasycením půd vodou budou rozdíly mezi průtoky jednotlivých scénářů menší. Dá se říci, že průběh hydrogramu a velikosti hodnot modelovaných veličin scénářů s aktuálním využitím a lesními porosty byl téměř identický a také, že rozdíl mezi nimi a hodnotami veličin scénáře s ornou půdou výrazně klesl.

Důvodem proč byly zjištěny poměrně malé rozdíly mezi scénáři s aktuální využitím půdy (kdy lesnatost činí téměř 50 %) a lesním porosty (kdy lesnatost činí 93 %) by mohl být fakt obtížnějšího stanovení hodnot CN – křivek právě pro lesní porosty, kdy se stanovovaly průměrné hodnoty CN – křivek pouze na základě zařazení k hydrologickým skupinám půd. Nebyly brán v potaz informace o kvalitě humusu a hrabanky lesních porostů, které upravují hodnoty CN – křivek, protože tyto informace nebyly k dispozici. Lze tedy předpokládat, že při takovémto zpřesnění by se hodnoty CN – křivek lesních porostů zmenšily a tak by rozdíly mezi vymodelovanými veličinami scénáře s lesními porosty a scénáře s aktuálním využitím půdy dosahovaly daleko větších rozdílů. Je taky ovšem možné, že na tak malém povodí by se ani při zpřesnění hodnot CN – křivek lesních porostů rozdíly příliš nezvětšily.

Pro zpřesnění závěrů z modelování vlivu změny využití půdy na srážko-odtokové poměry povodí by bylo vhodné porovnat výsledky z modelování na povodí Všeminky s modelováním na povodí s větší rozlohou a jinou strukturou využití půdy nebo porovnat výsledky metody CN – křivek na stejném povodí s jinou metodou. To však kvůli datovým a časovým limitům nebylo možné.

10. ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo zjistit vliv změny využití půdy na srážko-odtokové poměry vybraného povodí. Jako vhodná metoda pro toto stanovení byla vybrána metoda tzv. scénářového modelování, kdy se modelují srážko-odtokové poměry při různém využití půdy v povodí. Pro tuto metody měly být vybrány nejlépe dva modelovací softwary. Nakonec bylo pro nestabilitu v prostředí Windows a větší nároky na vstupní data softwaru TOPMODEL rozhodnuto modelovat pouze v jednom modelovacím softwaru. Tím se stal HEC-HMS, který scénářové modelování umožňuje pomocí metody CN – křivek (jejichž hodnoty je velmi závislé právě na využití půdy).

Modelovaným povodím se stalo povodí řeky Všeminky (levostranný přítok Dřevnice) o rozloze zhruba 21,5 km². Z hlediska využití půdy jde o zemědělsko-lesní povodí, kde zauímají největší plochu lesní porosty (necelých 50 %), dále jsou pak dominantní louky a pastviny (21 %), orná půda zabírá přibližně 11 % území povodí.

Dále bylo nutné schematizovat vybrané povodí pro potřeby srážko-odtokového modelování. Schematizace probíhala pomocí využití prostředků GIS. Základem schematizace se stal hydrologicky korektní DMR, na němž byly prováděny prostorové analýzy, na jejichž základě bylo povodí schematizováno a rozděleno na 3 sub-povodí. Pro ně byly pomocí GIS vypočteny hodnoty parametrů, potřebných k transformaci srážek na odtok (hodnota CN – křivek, počáteční ztráty IA, doby koncentrace TC a retenčního koeficientu RC).

Při srovnání modelovaných průtoků (při aktuálním využití půdy a normálním nasycení půdy vodou) s naměřenými hodnotami průtoků byly zjištěny značné rozdíly, zejména v časovém průběhu. Což lze vysvětlit ne příliš podrobnými vstupními srážkovými daty, které byly k dispozici pouze jako 24 hodinové úhrny srážek. Díky rozdílu mezi průtoky šlo dospět k závěru, že na tak malém povodí hraje nejvýznamnější roli v průběhu a velikosti srážko-odtokového procesu velikost a časové a prostorové rozložení srážek.

Rozdíl mezi průtoky nevede scénářovému modelování, protože všechny vstupní parametry byly vypočteny pomocí stejných rovnic a srážkové úhrny byly pro všechny scénáře totožné. Pro modelování byl vybrán scénář s aktuálním využitím

půdy a scénáře, kdy byly všechny typy využití půdy (kromě nepropustných ploch) změněny na lesní porosty nebo na ornou půdu (jakožto opačné odtokové extrémy). Modelování bylo provedeno jednak při normálním a jednak při vysokém nasycení půdy vodou. Jako kvantifikátory změny využití půdy na srážko-odtokové poměry byly zvoleny velikost a čas maximálního průtoku, celkový odtok, podíl přímého odtoku na celkovém odtoku a výsledný hydrogram průtoků v závěrovém profilu.

Při prvním modelování za normálního nasycení půdy vodou bylo zjištěno, že všechny sledované veličiny dosahují největší extrémů pro scénář s ornou půdou, naopak nejnižších extrémů dosahoval scénář s lesními porosty, kdy byla většina hodnot přibližně 1,5 krát menší než u hodnot s ornou půdou. Časové rozdíly kulminací maximálních průtoků v pohybovaly od 5 do 30 minut. Rozdíl mezi hodnotami a průběhem hydrogramu scénáře s aktuálním využitím půdy a lesním porosty byl daleko menší než rozdíl mezi aktuálním využitím a ornou půdou. U scénáře s ornou půdou byl patrný zvýšený nárůst průtoku hned po prvním dešti, kdežto u ostatních dvou měl ve stejnou dobu průtok vyrovnaný průběh.

U druhého modelování při vyšším nasycení půdy vodou bylo z průběhu hydrogramů zjištěno, že průběh průtoků všech scénářů je podobný a rozdíly mezi hodnotami maximálních i celkových průtoků malé. Dále byl pro všechny scénáře patrný extrémnější nárůst průtoků hned po prvním dešti. Pokud by se aktuální využití půdy změnilo na lesní porosty, čas kulminace by zůstal stejný. Při změně aktuálního využití půdy na ornou půdu by ke kulminaci došlo pouze o 15 minut dřív. Při zvýšené nasycenosti půdy vodou se nepatrně zvýšil, ale především značně vyrovnal podíl přímého odtoku mezi všemi typy scénářů.

Závěrem je nutno podotknout, že dosavadní systém řešení srážko-odtokových procesů obsahuje hodně stochastických jevů, takže zachycuje jen nejdůležitější informace. Proto je modelování srážko-odtokových poměrů velmi problematické. Pro zpřesnění závěrů by bylo vhodné porovnat výsledky z modelování na povodí Všeminky s modelováním na povodí s větší rozlohou a jinou strukturou využití půdy nebo porovnat výsledky metody CN – křivek na stejném povodí s jinou metodou, což může být náplní jiné diplomové práce.

11. POUŽITÉ ZDROJE

- [1]: Beven, K. J.: Rainfall-runoff modelling: The Primer. Chichester, J.Wiley & Sons, 2001, 360 s.
- [2]: Blažková, Š. a kol.: Experimentální výzkum vlivu změn v krajině na povodňový odtok. In: Povodně a krajina. Sborník přednášek. Brno, 1997
- [3]: Blažková, Š.: Srážkoodtokové modelování založené na principu jednotkového hydrogramu. Praha, VÚV TGM, 1993, 114 s.
- [4]: Böhmer, T.: Modelování vlivu lesního vegetačního kytu a lesní půdy na srážko-odtokové vztahy. [Diplomová práce] Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Hornicko-geologická fakulta, Institut geoinformatiky, 2005, 54 s.
- [5]: Brooks K. N. a kol.: Hydrology and the management of watersheds. Iowa State University Press, 1997, 590 s.
- [6]: Cudlín, P. a kol.: Příčiny snížení vodohospodářské funkce lesa v krajině. Závěrečná zpráva úkolu VaV 610/2/98, DÚ 01/07. České Budějovice, Ústav ekologie krajiny AV ČR, 1999, 84 s.
- [7]: Černohous, V. – Šach, F.: Vliv lesa na retenci a akumulaci vody v lesních povodích a možnosti jejich zvyšování. In: Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody. Sborník přednášek. Praha, ČZU – VÚMOP, 1998
- [8]: Daňhelka, J. a kol.: Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Praha, ČZU, 2003, 196 s.
- [9]: Demek, J. a kol.: Geomorfologie českých zemí. Praha, Academia, 1965, 336 s.
- [10]: Demek, J. a kol.: Zeměpisný lexikon ČSR. Hory a nížiny. Praha, Academia, 1987, 651 s
- [11]: Holý, M.: Eroze a životní prostředí. Praha, ČVUT, 1994, 383 s.
- [12]: Horský, L. a kol.: Hydrologické poměry ČSSR, díl 2. Praha, HMÚ, 1967, 557 s.
- [13]: Horský, L. a kol.: Hydrologické poměry ČSSR, díl 3. Praha, HMÚ, 1970, 414 s.
- [14]: Hrádek, F. – Kuřík, P.: Hydrologie. Praha, ČZU, 2002, 271 s.
- [15]: Janeček, M. a kol.: Hydrologické výpočty v protierozní ochraně půdy. Praha, Informační centrum ČKAIT, 2001, 24 s.
- [16]: Janeček, M. a kol.: Ochrana zemědělské půdy před erozí. Praha, ISV, 2002, 201 s
- [17]: Kantor, P.: Lesy a povodně. Praha, MŽP, 2003, 48 s.

- [18]:Kasprzak, K a kol.: Vliv některých zemědělských plodin na povrchový odtok z deště. In: Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody. Sborník přednášek. Praha, ČZU – VÚMOP, 1998
- [19]:Kovář, P. – Cudlín, P. - Šafář, J.: Plant, Soil and Environment: Simulation of hydrological balance on experimental catchments Všeminka and Dřevnice in the extreme periods 1992 and 1997. Vol. 50, No. 11, 2004, s. 478 - 483
- [20]:Kulhavý, Z. – Kovář, P.: Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. Praha, VÚMOP, 2000, 123 s.
- [21]:Kvasnicová, K.: Vliv krajinné struktury na hydrologické poměry povodí. [Diplomová práce] univerzita Palackého v Olomouci, Přírodovědecká fakulta, Katedra ekologie, 1999, 106 s.
- [22]:Nachtnebel, P. H.: Rainfall-Runoff Models. Praha, ČZU, 1996
- [23]:Nekuda, V.: Zlínsko. Brno, Muzejní a vlastivědná společnost, 1995, 784 s.
- [24]:Quitt, E.: Klimatické oblasti Československa. Brno, ČSAV, 1971
- [25]:Rychnovská, M. a kol.: Ekologie lučních porostů. Praha, Academia, 1985, 292 s.
- [26]:Šercl, P.: Odvozování fyzicko-geografických charakteristik povodí v GIS. Praha, ČHMÚ, 2004, 27 s.
- [27]:Tlapák, V. a kol.: Voda v zemědělské krajině. Praha, Zemědělské nakladatelství Brázda, 1992, 320 s.
- [28]:Vašků, Z.: Význam funkcí a prostorového uspořádání ekostabilizačních prvků, útvarů a úprav v krajině proti škodlivým účinkům vod. In: Hydrologická bilance a možnosti zvyšování složek retence a akumulace vody. Sborník přednášek. Praha, ČZU – VÚMOP, 1998
- [29]:Vlček, V. a kol.: Zeměpisný lexikon ČSR. Vodní toky a nádrže. Praha, Academia, 1984, 316 s.
- [30]:Voženílek, V.: Diplomové práce z geoinformatiky. Olomouc, Vydavatelství UP, 2002, 61 s.

Internetové zdroje:

- [31]: ČHMÚ: Hydrologie – oddělení podzemních vod [online]. poslední revize 25. 11. 2005 [cit.2006-08-08]. Dostupné z: <<http://www.chmu.cz/hydro/opzv/index.htm>>.

- [32]: Erozní procesy v povodí Blšanky [online]. poslední revize 2. 12. 2004 [cit.2006-07-12].
Dostupné z: <<http://www.ortodroma.wz.cz/blsanka/blsanka.html>>.
- [33]: HEC-DSSVue [online]. poslední revize 29. 6. 2006, [cit.2006-07-10].
Dostupné z: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-dss/hecdssvue-dssvue.htm>>
- [34]: HEC-GeoHMS [online]. poslední revize 7. 1. 2006, [cit.2006-07-08].
Dostupné z: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms>>.
- [35]: HEC-HMS [online]. poslední revize 1. 6. 2006, [cit.2006-07-03]
Dostupné z: <<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms>>.
- [36]: Hydromeliorace [online]. poslední revize 27. 6. 2006, [cit.2006-08-07].
Dostupné z: <<http://www.hydromeliorace.cz>>.
- [37]: Možnosti zvyšování ekologické stability, retence a akumulace vody v krajině [online].
poslední revize 3. 2. 2005, [cit.2006-07-04]. Dostupné z: <<http://www.sweb.cz/pechx>>.

Mapová díla:

- [38]: Buday, T. (ed.): Geologická mapa ČSSR. Mapa předčtvrtohorních útvarů. List Gottwaldov, 1: 200 000. Praha, Ústřední ústav geologický, 1990
- [39]: Pelíšek, J. – Sekaninová, D.: Pedogeografická mapa. Rekonstrukční mapa přírodních pedogenetických asociací. List Olomouc, 1: 200 000. Praha, ČSAV, 1975
- [40]: Pesl, V. (ed.): Hydrogeologická mapa ČSR. List Gottwaldov, 1: 50 000. Praha, Ústřední ústav geologický, 1987
- [41]: Quitt, E.: Klimatické oblasti ČSR. 1: 500 000. Brno, ČSAV, 1975

SUMMARY

This thesis deals with impact of changing landuse on rainfall-runoff conditions of chosen watershed. The chosen watershed is in this case watershed of the river Všeminka, which discharge into the river Dřevnice in the Slušovice. This watershed is quite small (around 21,5 km²) and it's a typical agri-forest territory with forestation approximately 50 %.

The scenario modeling with different landuse (actual, forest and arable landuse) was chosen to gain the main objective of thesis. For modeling rainfall-runoff conditions was used software HEC-HMS, which uses Curve Number method for transformation rainfall to runoff. For modeling period was chosen first half of July 1997, which is extreme hydrological situation.

The thesis introduction describes rainfall-runoff theory and features of chosen watershed. Next part of thesis is devoted to watershed schematization in GIS – in extension HEC-GeoHMS for ArcView.

Final part is applied to compile whole rainfall-runoff process in HEC-HMS, to modeling rainfall-runoff conditions for different landuse scenarios and different antecedent moisture conditions and to summarize of results.

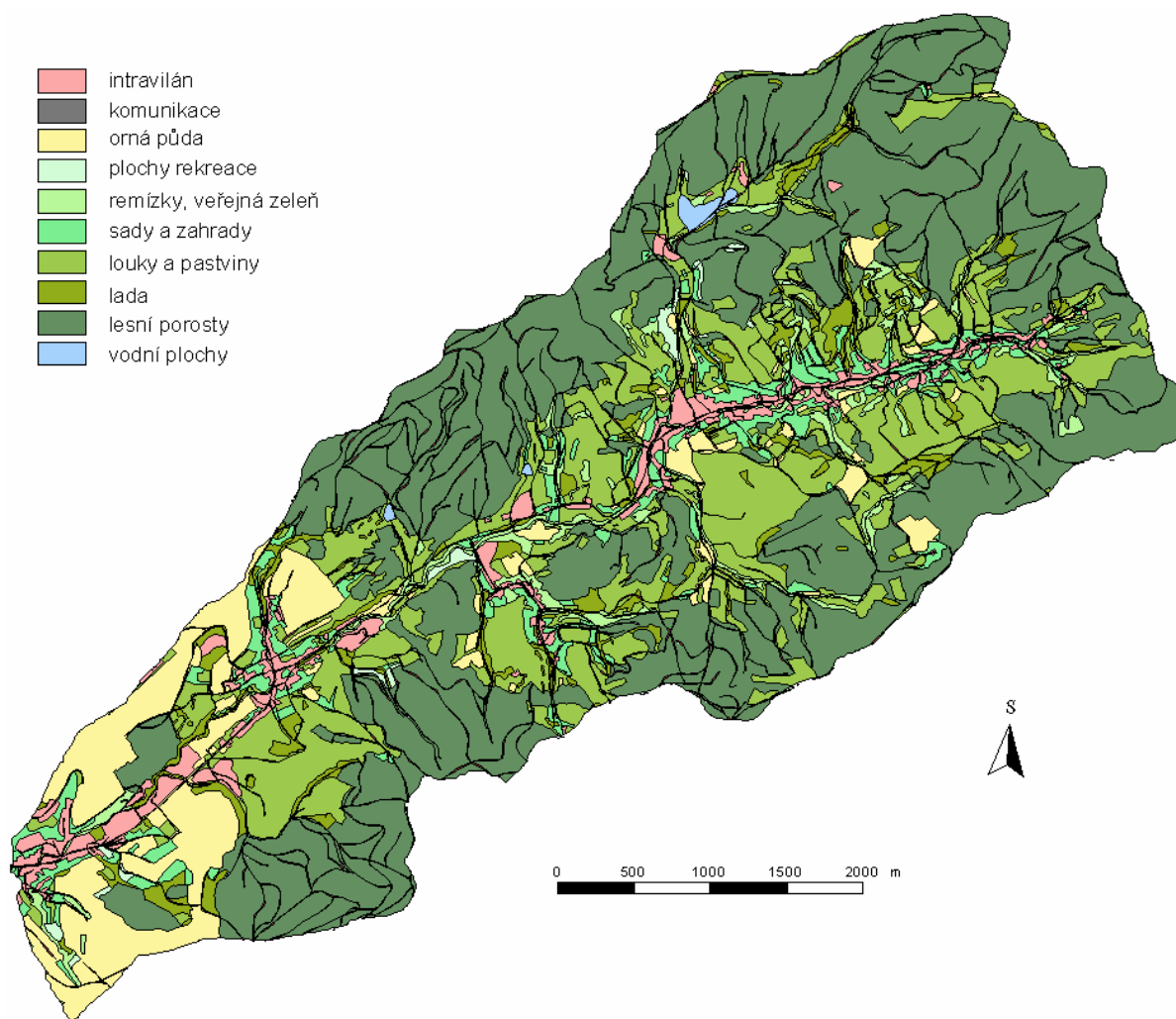
PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

1. Vstupní a výstupní data ... volná (CD-ROM)
2. Využití půdy povodí Všeminky v roce 1998
3. Vymezení sub-povodí v HEC-GeoHMS
4. Schematizované povodí Všeminky v HEC-HMS
5. Charakteristiky jednotlivých sub-povodí

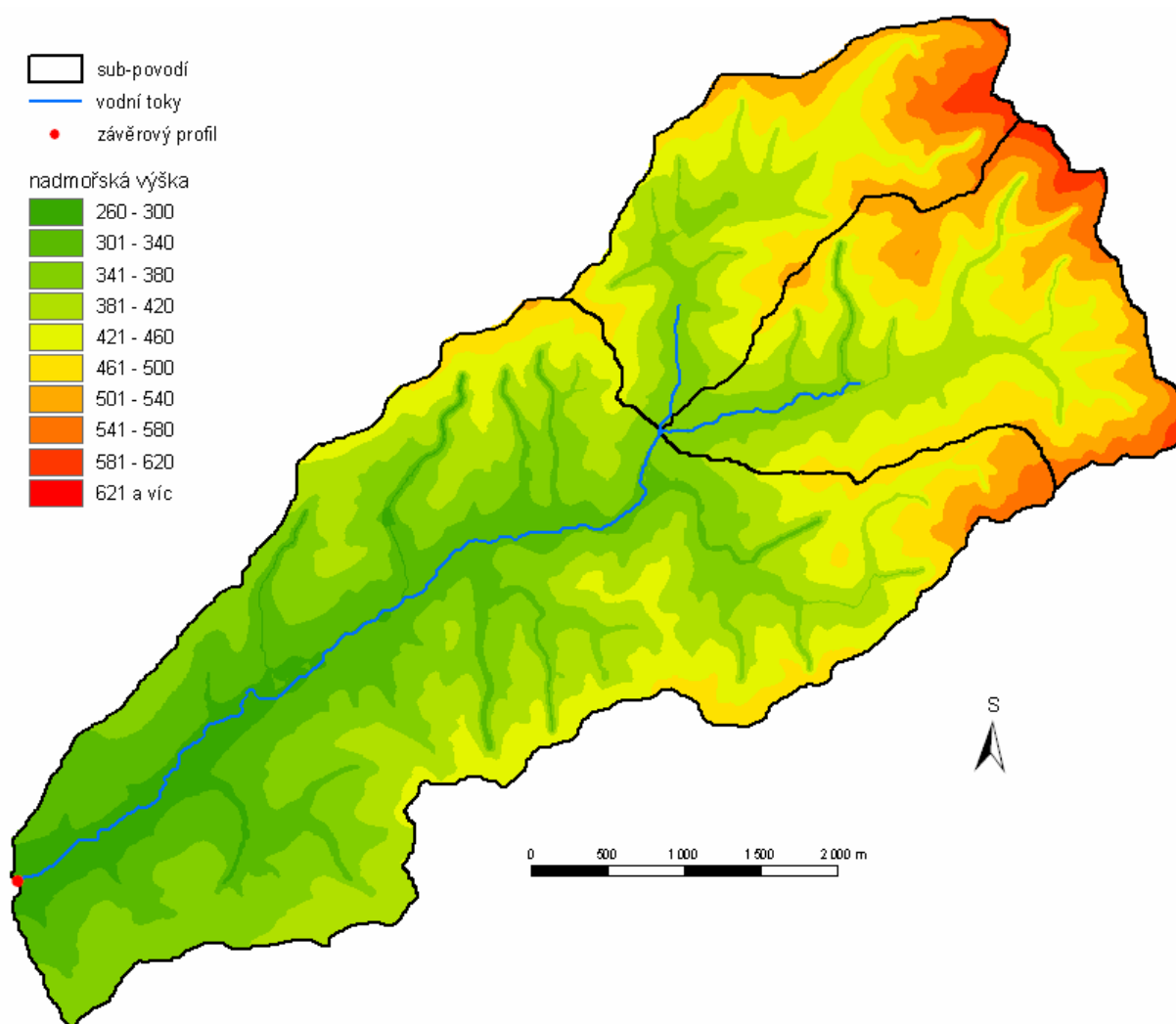
Příloha 2

Využití půdy povodí Všeminky v roce 1998



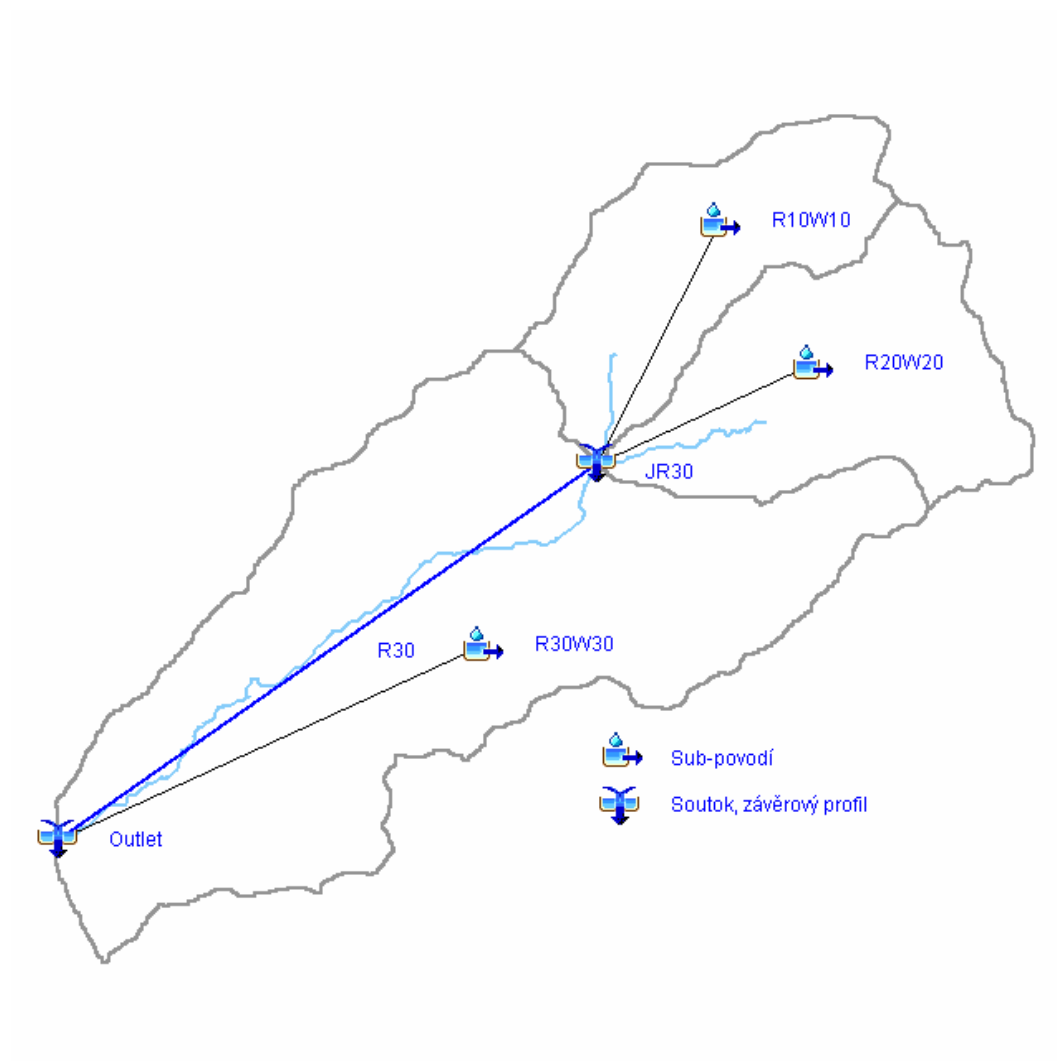
Příloha 3

Vymezení sub-povodí v HEC-GeoHMS



Příloha 4

Schematizované povodí Všeminky v HEC-HMS



Příloha 5

Charakteristiky jednotlivých sub-povodí

Charakteristiky sub-povodí	R10W10	R20W20	R30W30
Plocha [km ²]	3,66	4,56	13,40
Průměrná nadmořská výška [m n.m.]	456,0	459,4	375,4
Průměrný sklon povodí [–]	0,335	0,375	0,276
Maximální délka toku [m]	4 741	4 269	1 0103
Sklon podél maximální délky toku [–]	0,058	0,062	0,031
Vzdálenost od těžiště povodí k závěrovému profilu [m]	2 366	2 371	4 592
Průměrný sklon toku od těžiště povodí k závěrovému profilu [–]	0,025	0,021	0,011
Hodnota CN	66,2	74,0	70,7
Nepropustné plochy [%]	6	9	7
Hodnota počáteční ztráty (IA) [mm]	25,9	17,9	21,1
TLAG [hod]	0,73	0,51	1,30
Doba koncentrace (TC) [hod]	1,21	0,85	2,17
Průměrná rychlost stékání vody [m/s]	1,09	1,40	1,29
Retenční koeficient (RC) [hod]	1,72	1,77	4,30