

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Daniela KOSOVÁ

**Využití geoinformačních technologií pro zhodnocení
změn odtokových poměrů ve vybraném povodí**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Petr ŠIMÁČEK

Olomouc 2013

Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo): Daniela Kosová (R10165)

Studijní obor: Regionální geografie

Název práce: Využití geoinformačních technologií pro zhodnocení změn odtokových poměrů ve vybraném povodí

Title of thesis: The application of geoinformatic technology for the evaluation of changes in run-off ratios in chosen basin

Vedoucí práce: Mgr. Petr Šimáček

Rozsah práce: 49 stran, 4 vázané přílohy, 1 volná příloha

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá hodnocením změn odtokových poměrů v povodí Puklického potoka za použití hydrologického modelu DesQ-MAX Q. Tyto změny byly stanoveny pro čtyři časová období na základě charakteristiky využití území. Pro potřeby úprav získaných podkladových dat bylo využito prostředí ArcGIS. Součástí práce je i popis zákonitostí srážko-odtokového procesu a principů hydrologického modelování.

Klíčová slova:

hydrologické modelování, srážko-odtokový proces, DesQ-MAX Q, povodí Puklického potoka

Abstract:

The thesis is focused on the evaluation of changes in run-off ratios in the Puklický potok basin by using hydrological model DesQ-MAX Q. The changes were determined for four periods on the ground of land-use characterization. For needs of modification of gained data, the environment of ArcGIS was used. The thesis contains also characterization of rainfall-runoff process, regularities and principles of hydrological modelling.

Keywords:

hydrologic modelling, rainfall-runoff process, DesQ-MAX Q, basin of Puklický potok

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně s využitím všech zdrojů, které jsou uvedeny v seznamu.

V Olomouci, dne 9. května 2013

.....

Daniela Kosová

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu své práce, Mgr. Petru Šimáčkovi, za pomoc, cenné rady a připomínky, ale také za čas, ochotu a trpělivost při vypracovávání této práce. Poděkování patří také Mgr. Jindřichu Frajerovi za poskytnutí důležitých informací a materiálů a Ing. Františku Pavlíkovi za odborné konzultace.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Daniela KOSOVÁ**
Osobní číslo: **R10165**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Regionální geografie**
Název tématu: **Využití geoinformačních technologií pro zhodnocení změn odtokových poměrů ve vybraném povodí**
Zadávací katedra: **Katedra geografie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je zhodnotit změny odtokových poměrů v povodí vybraného vodního toku od poloviny 19. století do současnosti. Autorka se pro naplnění hlavního cíle pokusí využít některé dostupné hydrologické modely. Součástí práce bude rešerše literatury a ostatních relevantních informačních zdrojů, na jejichž základě bude stanovena metodika zpracování kvalifikační práce stejně jako výběr adekvátně velkého povodí. Přílohou práce bude nosič CD-ROM, kde bude umístěn samotný text práce včetně všech příloh a použitých dat.

Rozsah grafických prací: **Podle potřeb zadání**

Rozsah pracovní zprávy: **5 000 - 8 000 slov**

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Jedlička, J., Štych, P.: Hydrologické modelování v programu ArcGIS. Praha: CITT Praha Akademie kosmických technologií, 2007.

Jeníček, M.: Modelování odtokového režimu v měnící se krajině. 2006.

Jeníček, M., Němečková, S.: Využití GIS v hydrologických a hydrodynamických modelech. Praha: ČVUT, 2007.

Hrádek, F., Kuřík, P.: Hydrologie. Praha: ČZU, 2007.

Davie, T.: Fundamentals of hydrology. New York: Routledge. 2008.

Singh, V. P., Frevert, D. K.: Watershed models. New York: CRC Press, 2006.

<http://www.vuv.cz>

<http://www.vumop.cz>

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Petr Šimáček**

Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: **30. dubna 2012**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2013**

L.S.

Prof. RNDr. Juraj Ševčík, Ph.D.

děkan

Doc. RNDr. Zdeněk Szczyrba, Ph.D.

vedoucí katedry

V Olomouci dne 30. dubna 2012

OBSAH

ÚVOD.....	8
1 CÍLE.....	9
2 METODIKA	10
2.1 Vymezení zájmového území (povodí Puklického potoka)	10
2.1.1 Geologické poměry	12
2.1.2 Geomorfologické poměry	12
2.1.3 Klimatické poměry	13
2.1.4 Hydrologické poměry	14
2.1.5 Pedologické poměry	16
2.1.6 Vegetační poměry	18
2.1.7 Využití území.....	18
2.2 Vstupní data a jejich zpracování	19
3 SRÁŽKO-ODTOKOVÝ PROCES	22
3.1 Popis srážko-odtokového procesu.....	22
3.2 Bilanční rovnice oběhu vody v přírodě.....	22
3.3 Faktory ovlivňující srážko-odtokový proces.....	23
3.3.1 Přírodní faktory.....	23
3.3.2 Antropogenní faktory.....	24
4 HYDROLOGICKÉ MODELOVÁNÍ	26
4.1 Klasifikace srážko-odtokových modelů.....	26
4.1.1 Z hlediska využití.....	26
4.1.2 Z hlediska kauzality	27
4.1.3 Z hlediska prostorové diskretizace	28
4.2 Metoda čísel odtokových křivek (metoda CN-křivek).....	29
5 MODEL DESQ-MAX Q	32
6 SIMULACE VYBRANÝCH SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH SCÉNÁŘŮ	35
6.1 Zadání hodnot pro simulaci modelování.....	35
6.2 Výpočet hodnot drsnosti a CN křivek	36
7 VÝSLEDKY	38
7.1 Změny ve využití půdy.....	38
7.2 Změny v odtokových poměrech.....	42
8 ZÁVĚR	45
SUMMARY	46
ZDROJE.....	47
PŘÍLOHY	49

ÚVOD

Lidé se vždy snažili pochopit a popsat složité přírodní procesy a jevy. Mezi nejvýznamnější patří procesy spojené s vodou, která představuje základní složku života na Zemi. Voda je však také spojována s ničivými událostmi, jako jsou povodně, jejichž výskyt a intenzita se v posledním století, v porovnání s předchozími lety, zvýšily.

Vývoj lidské společnosti a s ní spojený rozvoj informatiky umožnily převést složitý hydrologický cyklus ve zjednodušené formě do matematických modelů, na základě kterých je možné nejen předpovídat, ale také simulovat různé hydrologické scénáře a stanovit jejich vliv na ekologické procesy, které jsou s nimi spjaty (např. míru eroze půdy). Propojení hydrologických modelů a geografických informačních technologií (GIT), jejichž hlavní výhodou je práce s prostorovými daty, se jeví být ideální nejen pro vědeckovýzkumné účely, ale také pro využití v praxi (představující např. budování protipovodňových opatření nebo prognózu povodňových situací).

Se změnami v lidské společnosti se mění také využití a způsoby hospodaření v krajině. Nejde pouze o změny estetické povahy, ale především o významné zásahy do hydrologických poměrů. Na území České republiky došlo k výrazným změnám ve využívání půdy především díky transformaci zemědělství v minulém století, např. období po 2. světové válce se oproti dnešní době vyznačovalo vysokým podílem orné půdy, přičemž od roku 1989 pak dochází k jejímu úbytku a nárůstu trvalých travních porostů (luk a pastvin).

Tato práce je zaměřena na využití GIT a hydrologického modelování pro zhodnocení změn odtokových poměrů v závislosti na změnách ve využití půdy v zájmovém území.

Celá práce je rozdělena do několika částí. První je zaměřena na vymezení zkoumaného území a popis zpracování dat pomocí GIS, v další je popsán princip srážko-odtokového procesu a hydrologického modelování, následuje charakteristika zvoleného hydrologického modelu DesQ-MAX Q. Poslední část je věnovaná simulaci samotného modelování a konečným výstupům.

1 CÍLE

Hlavním cílem této bakalářské práce je zhodnocení změn odtokových poměrů ve vybraném povodí od poloviny 19. století do současnosti za použití hydrologického modelu DesQ-MAX Q (verze 6.0), který je dostupný na Katedře geografie Univerzity Palackého v Olomouci.

Pro naplnění hlavního cíle bylo nutné stanovit několik dílčích cílů. Tyto cíle představují seznámení se se zákonitostmi srážko-odtokového procesu a s principem hydrologického modelování, vymezení časových období pro hodnocení odtokových poměrů, výběr vhodného hydrologického modelu a na jeho základě volba zájmového území splňující podmínky vybraného modelu, získání potřebných vstupních dat a jejich následné zpracování.

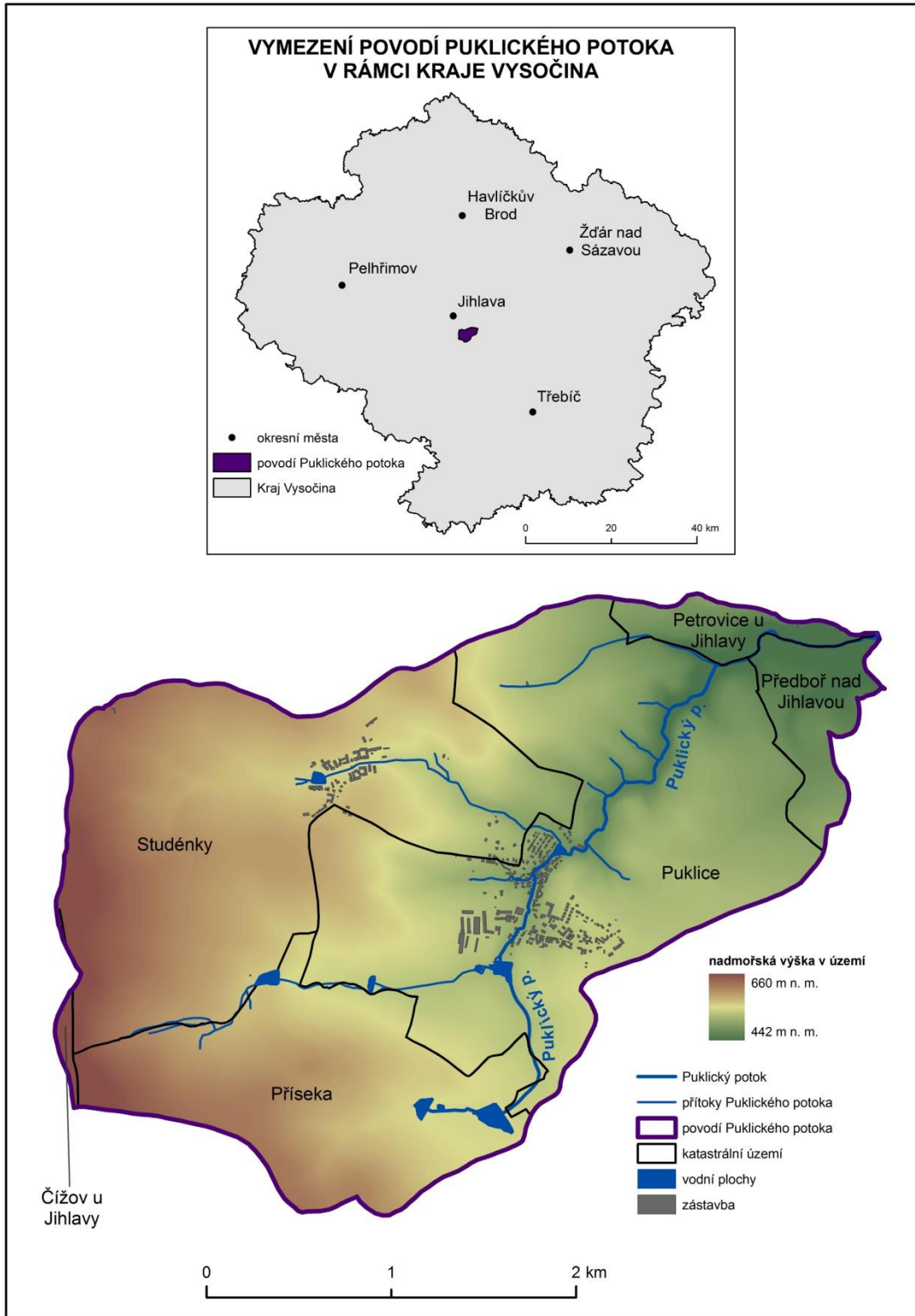
2 METODIKA

Před samotným hodnocením odtokových poměrů bylo nutné naplnit dílčí cíle (viz výše). Nejdříve bylo potřeba seznámit se se základními principy srážko-odtokového procesu a zásadami hydrologického modelování. Odtokové poměry byly poté vyhodnoceny na základě vybraného modelu a s ním spojené metody CN-křivek, pro jejichž stanovení bylo využito charakteristik hydrologických vlastností půdy a způsobu využívání půdy ve zvoleném povodí pro jednotlivá období. Nezbytnou součástí bylo také získání dat a jejich zpracování do podoby, ve které mohly být následně použity jako vstupy do modelu DesQ-MAX Q. Výchozími daty byly historické i současné letecké snímky, císařské otisky stabilního katastru a mapa zemědělského půdního fondu. Úprava získaných podkladových dat byla řešena v programu ArcGIS (verze 9.3).

2.1 Vymezení zájmového území (povodí Puklického potoka)

Povodí Puklického potoka se rozprostírá v centrální části Kraje Vysočina a zaujímá rozlohu o velikosti přibližně 9,68 km². Celé území leží v SO ORP Jihlava a náleží šesti katastrálním územím: k.ú. Čížov u Jihlavy, k.ú. Petrovice u Jihlavy, k.ú. Puklice, k.ú. Předboř nad Jihlavou, k.ú. Příseka a k.ú. Studénky. Ve sledovaném území žije 775 obyvatel (ČSÚ, 2012).

Nadmořská výška v zájmovém území klesá od západu k severovýchodu, jak zobrazuje obrázek 1. Oblast s nejvyšší nadmořskou výškou (660 m n. m.) se nachází v západní části povodí (na hranicích k.ú. Čížov u Jihlavy a k.ú. Studénky). Ve střední části se nachází sídla Puklice (ležící v rozmezí nadmořské výšky 515–556 m n. m.) a Studénky (560–586 m n. m) (ÚP Puklice: ÚP obcí: Jihlava, 2010). Nejnižším místem v povodí je ústí Puklického potoka do Jihlavy v severovýchodní části povodí (442 m n. m.).



Obr. 1 - vymezení povodí Puklického potoka; zdroj: vlastní práce v ArcGIS

2.1.1 *Geologické poměry*

Geologické podloží povodí Puklického potoka je tvořeno především dvěma typy hornin, které jsou rozděleny zlomem. Tento zlom severo-j jižního směru prochází západně od Puklic.

Podle geologických map se ve východní části zájmového území nachází horniny jihlavského masívu (žuly a monzonity, místy s amfibolem). V západní části povodí se rozprostírají pararuly prekambriického moldanubika (místy migmatizované). Samotné vodní toky a jejich blízké okolí je tvořeno kvarterními fluvialními (převážně písčitohlinitými) a deluviofluvialními (převážně písčitohlinitými, místy kamenitými) sedimenty. V nivě těchto toků se vyskytují také deluviální (hlinitopísčité až hlinitokamenité) sedimenty holocenního až pleistocenního stáří. V povodí se nachází také podloží tvořené rašelinnou (jihozápadně od Puklic, v nivě bezejmenného levostranného přítoku Puklického potoka, v blízkosti lesa). Severně od sídla Studénky se rozprostírají segmenty s podložím migmatitu moldanubika prekambriického stáří. Ojedinele se, v blízkosti zlomu, vyskytují ostrůvky kvarcitu a kvarciticke pararuly moldanubika prekambriického stáří. (Geologická mapa ČR: List 23 – 23 Jihlava, 1991; Geologická mapa ČR: List 23 – 24 Polná, 1993; Geologická mapa ČR: List 23 – 41 Třešť, 1992; Geologická mapa ČR: List 23 – 42 Třebíč, 1987)

2.1.2 *Geomorfologické poměry*

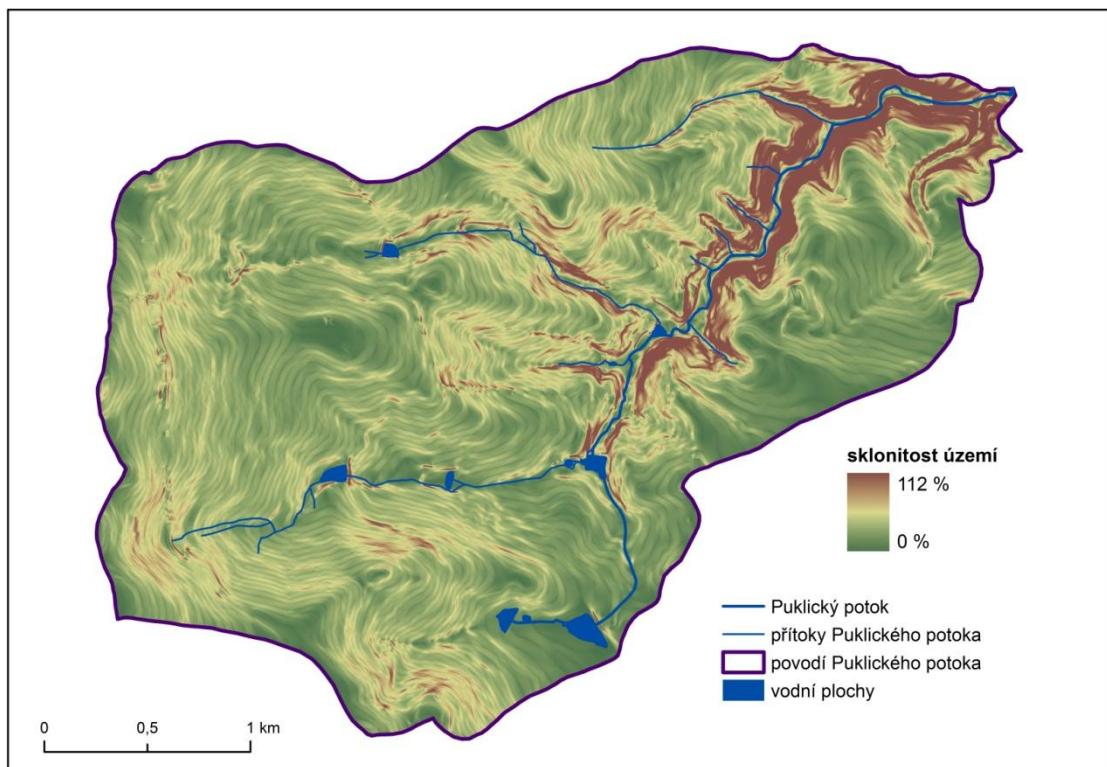
Podle Demka, Mackovčina (2006) spadá geomorfologicky povodí Puklického potoka do provincie Česká vysočina, Česko-moravské soustavy, podsoustavy Českomoravská vrchovina, celku Křižanovská vrchovina, podcelku Brtnická vrchovina, okrsků Puklická pahorkatina a Zašovický hřbet.

Geomorfologický okresek Puklická pahorkatina se rozkládá ve východní části zájmového území. Jde o prvek pahorkatinného reliéfu, vyznačující se nesouměrným hřbetem mezi údolními řek Jihlávky a Brtnicí. Z celkové rozlohy okrsku (110,55 km²) zaujímá sledované území 3,87 km², přibližně 3,5 %. (Demek, Mackovčin, 2006)

Okresek Zašovický hřbet, ležící v západní části povodí Puklického potoka, je protáhlým nesouměrným hřbetem severo-j jižního směru mezi údolními řek vodních toků Brtnice a Jihlavy. Území tvoří 5,81 km², tedy téměř 4 % z celkové rozlohy okrsku

(145,53 km²). Na území se nachází četné zlomy. Povrch s plošinami holorovin je skloněný k východu. (Demek, Mackovčín, 2006)

Absolutní spád povodí (rozdíl nejvyšší a nejnižší nadmořské výšky v povodí) činí 218 m. Průměrný sklon povrchu v povodí je 7,01 %. Největší sklon povrchu v zájmovém území dosahuje 112 % a nachází se na levém břehu Puklického potoka v oblasti, kde jmenovaný tok vytváří zákrut (ve vzdálenosti asi 0,6 km od ústí). Jak ukazuje obrázek 2, část středního a dolního toku Puklického potoka se vyznačuje prudkými svahy na obou březích. Naopak rovinatější oblasti se nachází v jižní části povodí, v blízkosti pramene Puklického potoka a východně od sídla Puklice. Levý svah povodí je, na rozdíl od pravého, mnohem členitější. Jediným výraznějším rovinným místem je ostrůvkovitě území ležící západně od Puklic. Strmější svahy je možné nalézt podél přítoků Puklického potoka.



Obr. 2 - sklonitost území v povodí Puklického potoka; zdroj: vlastní práce v ArcGIS

2.1.3 Klimatické poměry

Z hlediska klimatických poměrů se povodí Puklického potoka, podle klasifikace E. Quitta (1971), řadí do mírně teplé oblasti MT 3 (Tolasz a kol., 2007). Přesnou charakteristiku zmíněné oblasti podává tabulka 1.

Ve sledovaném území činí podle Tolasze a kol. (2007) nejvyšší průměrný měsíční úhrn srážek 81–100 mm. V minulosti byla, podle Syrového a kol. (1958), tato hodnota 81–90 mm.

Tab. 1 - charakteristika klimatické oblasti MT3

parametr	MT3
<i>počet letních dní ($t_{max} \geq 25\text{ }^{\circ}\text{C}$)</i>	20–30
<i>počet dní s prům. teplotou $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ a více</i>	120–140
<i>počet dní s mrazem ($t_{min} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)</i>	130–160
<i>počet ledových dní ($t_{max} < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$)</i>	40–50
<i>průměrná teplota v lednu ($^{\circ}\text{C}$)</i>	-3–4
<i>průměrná teplota v červenci ($^{\circ}\text{C}$)</i>	16–17
<i>průměrná teplota v dubnu ($^{\circ}\text{C}$)</i>	6–7
<i>průměrná teplota v říjnu ($^{\circ}\text{C}$)</i>	6–7
<i>prům. počet dní se srážkami 1 mm a více</i>	110–120
<i>suma srážek ve vegetačním období (mm)</i>	350–450
<i>suma srážek v zimním období (mm)</i>	250–300
<i>počet dní se sněhovou pokrývkou</i>	60–100
<i>počet zatažených dní</i>	120–150
<i>počet jasných dní</i>	40–50

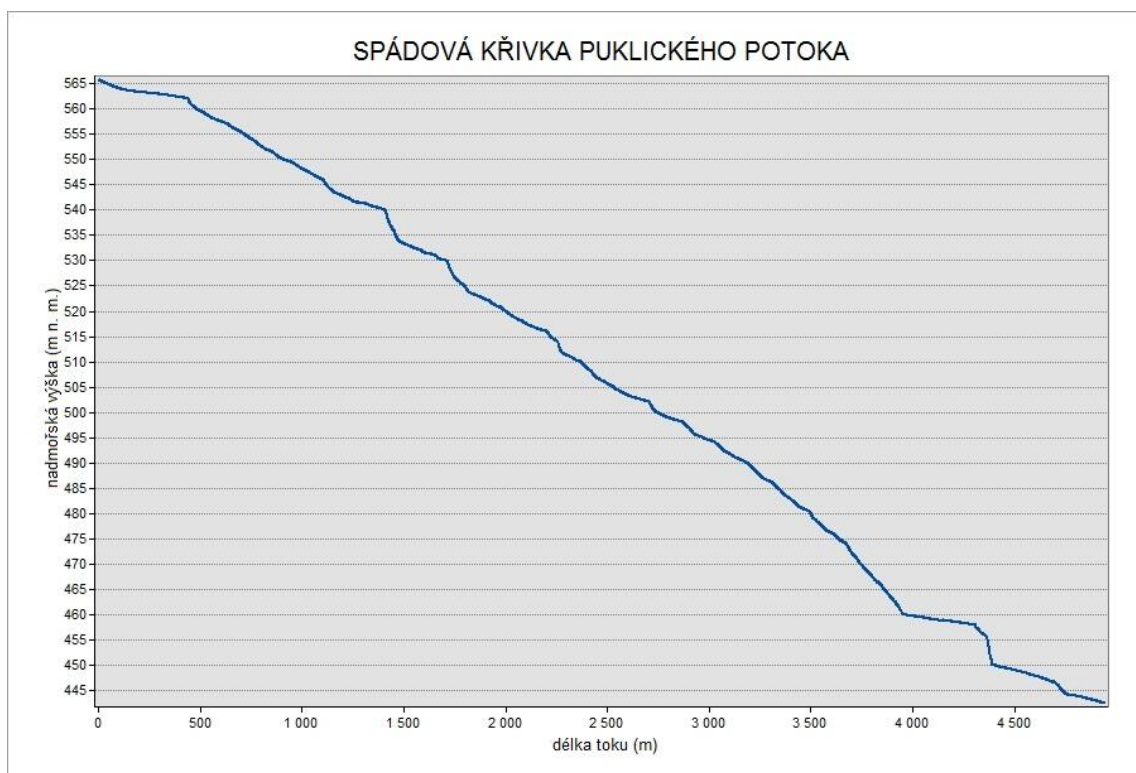
zdroj: Tolasz a kol. (2007)

2.1.4 Hydrologické poměry

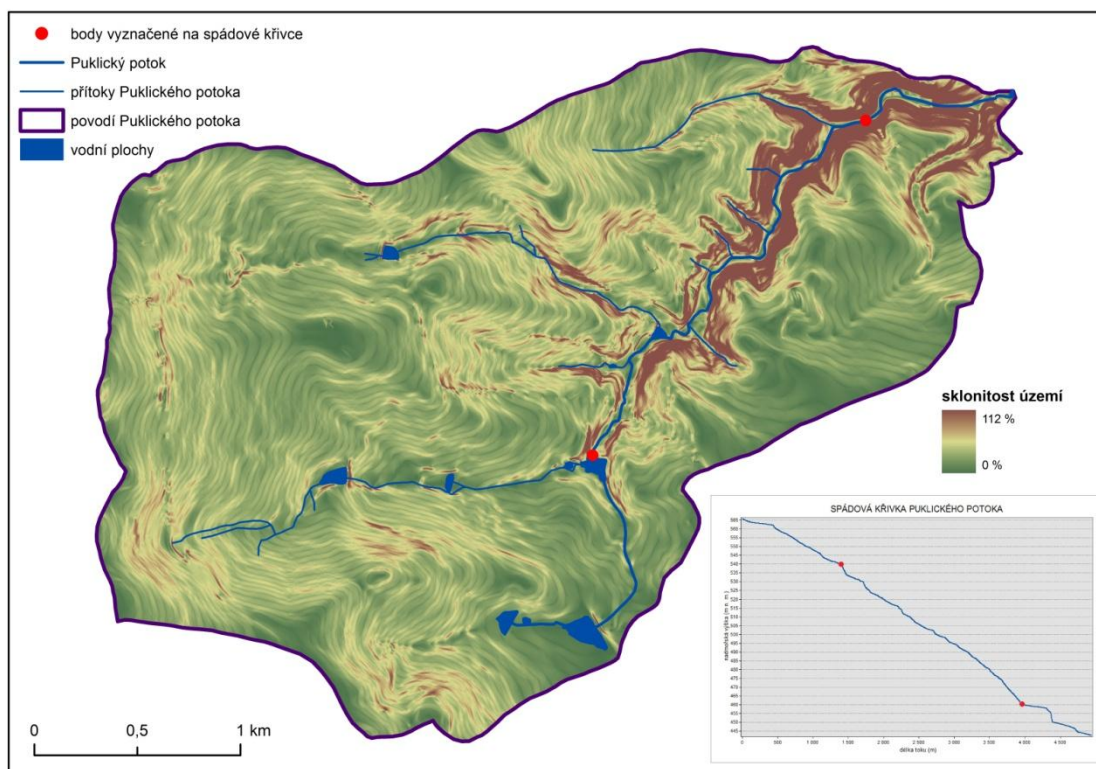
Povodí Puklického potoka náleží k úmoří Černého moře. Jde o povodí IV. řádu charakterizované číslem hydrologického pořadí 4-16-01-0500 (Zítek, 1965).

Puklický potok je pravostranným přítokem řeky Jihlavy. Pramení v nadmořské výšce 566 m n. m. jihozápadně od sídla Puklice, kterým také protéká, a do Jihlavy ústí v nadmořské výšce 442 m n. m., v blízkosti sídla Petrovice. Celková délka toku je 4,79 km. Puklický potok má celkem devět bezejmenných přítoků (z nichž osm je levostranných a jeden pravostranný). V jeho povodí se nachází deset vodních ploch a několik zdrojů podzemních vod.

Průměrný sklon údolnice Puklického potoka je 2,6 %. Obrázek 3 popisuje průběh spádové křivky zájmového toku. Podle rozdílného spádu tohoto toku jej můžeme rozčlenit do tří úseků. První úsek, dlouhý asi 1,4 km, je charakteristický malým spádem (průměrně přibližně 1,9 %). Důvodem je nevýrazná členitost terénu, který je tvořen převážně rovinami. Ve druhém úseku, o délce asi 2,5 km, již jeho spád narůstá (3,0 %). Jak je dobře viditelné na obrázku 4, jedná se o výše zmiňovaný úsek s nejvyššími výškovými, tedy i sklonitostními rozdíly. Vodní tok zde díky většímu spádu nabírá na rychlosti a zařezává se do území, které tak je typické strmějšími svahy. Ve třetím úseku už vodní tok ztrácí energii a vytváří zde zákrut (v délce 3,9–4,3 km). Jeho spád se tedy opět snižuje (2,5 %).



Obr. 3 - spádová křivka Puklického potoka; zdroj: vlastní práce v ArcGIS



Obr. 4 - vyznačení jednotlivých úseků Puklického potoka s rozdílným spádem; zdroj: vlastní práce v ArcGIS

2.1.5 Pedologické poměry

Zastoupení půdních typů není v povodí nijak výrazně rozmanité. Nejpočetnější skupinu půd tvoří kambizemě a pseudogleje rozprostírající se na většině území. Místo se vyskytují také gleje. Oblast nivy při ústí Puklického potoka do Jihlavy je tvořena fluvizemí.

Podle klasifikační soustavy Zemědělského půdního fondu ČR můžeme půdy rozdělit podle BPEJ (bonifikovaných půdně ekologických jednotek), zpracovaných VÚMOP (Výzkumným ústavem meliorací a ochrany půd). BPEJ je 5-místný kód, poskytující informace o klimatickém regionu (první číslice), hlavní půdní jednotce (druhá a třetí číslice), sklonitosti a expozici (čtvrtá číslice) a skeletovitosti a hloubce půdy (pátá číslice). Pro tuto práci jsou důležité právě hlavní půdní jednotky (HPJ), představující půdy podobných vlastností (např. půdní typ, půdotvorný substrát, zrnitost nebo svažitost). Klasifikaci HPJ dle půdního typu znázorňuje tabulka 2, tabulka 3 poté podává přehled zastoupení jednotlivých HPJ v zájmovém území. (Daňhelka a kol., 2003; Unucka a kol., 2012)

Tab. 2 - klasifikace HPJ podle půdního typu

půdní typ	HPJ
<i>černozemě</i>	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08
<i>hnědozemě</i>	09, 10, 11, 12, 13
<i>luvizemě</i>	14, 15, 16, 17
<i>rendziny a pararendziny</i>	18, 19, 20
<i>velmi lehké půdy na píscích a štěrkopíscích</i>	21, 22, 23
<i>kambizemě</i>	24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33
<i>kyselé kambiézní a podzolové půdy</i>	34, 35, 36
<i>mělké půdy</i>	37, 38, 39
<i>silně svažitě půdy</i>	40, 41
<i>pseudoglejové půdy</i>	42, 43, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54
<i>fluvizemě</i>	55, 56, 57, 58, 59
<i>černice</i>	60, 61, 62, 63
<i>hydromorfnní půdy</i>	64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78

zdroj: Daňhelka a kol. (2003)

Tab. 3 - zastoupení jednotlivých HPJ v zájmovém území

půda		plocha povodí	
typ	HPJ	absolutní (km²)	relativní (%)
<i>zemědělská půda</i>	29	1,41	14,57
	32	0,11	1,15
	34	3,12	32,20
	37	0,65	6,76
	40	0,37	3,86
	50	1,84	18,99
	58	0,01	0,07
	64	0,47	4,91
	67	0,16	1,63
	68	0,02	0,20
<i>nezemědělská půda</i>	<i>ostatní půda</i>	0,00	0,03
	<i>lesní půda</i>	1,42	14,72
	<i>vodní plochy</i>	0,07	0,77
celkem		9,68	100,00

zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS

2.1.6 Vegetační poměry

Zájmové území spadá do oblasti 4. vegetačního stupně (bukový vegetační stupeň). Podle Demka, Mackovčina (2006) je tento stupeň typický především pro vrchoviny a hornatiny, zpravidla v rozmezí nadmořských výšek 400–700 m. Mírně teplé a mírně vlhké klima má suboceanický charakter. Průměrná roční teplota je 7 °C, průměrný roční úhrn srážek odpovídá 700 mm a délka vegetační doby činí 140–150 dní. Převládajícím půdním typem jsou kambizemě.

Dnes se jedná především o zemědělsko-lesní krajinu, která je charakteristická mozaikou lesů, luk, pastvin, polí a venkovských sídel. Často jsou zde typické ukázky harmonické kulturní krajiny. V lesích převládají smrkové monokultury. (Demek, Mackovčín, 2006)

Zastoupení lesů ve vybraném území, v porovnání s Krajem Vysočinou a Českou republikou, kdy se průměrná hodnota pohybuje kolem 30 %, není příliš vysoké (tvoří přibližně pouhých 15,29 % z celkové rozlohy). Souvislé lesní porosty se nachází v západní a severovýchodní okrajové části zájmového území. Menší lesní celky, vyskytující se především v podobě remízků, jsou rozptýleny uvnitř zemědělské krajiny. Nejčastěji jde o jehličnaté monokultury smrku či smíšené porosty s různým zastoupením smrku, borovice vzácněji modřínu. (ÚP Puklice: ÚP obcí: Jihlava, 2010)

2.1.7 Využití území

Pro tuto práci jsou stěžejními daty právě informace o využití území. Výsledné mapy využití území pro všechny sledované časové horizonty (1835, 1949, 1980 a 2012) jsou přiloženy v příloze.

V současnosti v zájmovém území z pohledu využití půdy výrazně převažuje orná půda (pole), která se rozprostírá na ploše 5,89 km², a tvoří tak až 60,85 % celkové rozlohy. V menší míře jsou v povodí zastoupeny také lesy a trvalé travní porosty (TTP). Jak již bylo zmíněno, lesy představují 15,29 %, tedy téměř 1,5 km². Podle tabulky 4 zaujímají trvalé travní porosty území o ploše 1,7 km², což představuje 17,53 % rozlohy zájmového území. Zástavba a komunikace se rozprostírají na pouhých 5,77 % celého povodí. Vodní plochy pokrývají pouhých 0,56 % povodí Puklického potoka.

Tab. 4 - využití půdy v zájmovém území

využití půdy	plocha povodí	
	absolutní (km ²)	relativní (%)
<i>les</i>	1,48	15,29
<i>komunikace</i>	0,28	2,94
<i>orná půda</i>	5,89	60,85
<i>TTP</i>	1,70	17,53
<i>vodní plocha</i>	0,05	0,56
<i>zástavba</i>	0,27	2,83
celkem	9,68	100,00

zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS

2.2 Vstupní data a jejich zpracování

Pro práci s modelem DesQ-MaxQ bylo nutné získat vstupní data, která byla následně upravena do podoby, ve které mohla být použita jako vstupní veličiny (uvedené v kapitole 5) do zmíněného modelu. Jedná se o následující data:

- *letecké měřické snímky* zájmového území pro roky 1949 a 1980. Letecké snímky poskytl VGHMÚř Dobruška, © MO ČR 2012.
- *data ZABAGED®* – výškopis (shapefile 4G *Digitálního Modelu Reliěfu*). Tato data poskytl ČUZK.
- *císařské otisky stabilního katastru* zvoleného území. Tato data poskytl ČUZK.
- *BPEJ* prostřednictvím WMS služeb VÚMOP
- *shapefile vrstvy vodních toků a povodí* dostupných na stránkách VÚV T. G. Masaryka (DIBAVOD)
- doplňující data poskytnutá Magistrátem Města Jihlavy

V práci jsou také využity informace získané na základě terénního průzkumu a výpovědí obyvatel zájmového území (týkající se např. průtoků Puklického potoka).

Jak bylo zmíněno, získaná data bylo nutné upravit. Pro jejich zpracování byly využity nástroje programu ArcGIS 9.3.

Prvním krokem byla příprava podkladů nutných pro následné porovnání zájmového území ve využití půdy (land-use) pro zkoumaná časová období a jejich usazení do souřadnicového systému. Pro tuto potřebu bylo využito nástroje

Georeferencing v prostředí ArcMap (součást programového balíku ArcGIS). Jednotlivé letecké měřické snímky a císařské otisky stabilního katastru byly na sebe naskládány takovým způsobem, aby pokryly celé zájmové území a polohově odpovídaly realitě. Takto byly pospojovány všechny snímky pro jednotlivá zkoumaná časová období (tedy pro roky 1835, 1949, 1980). Pro současnost bylo využito služeb WMS Ortofoto poskytované ČÚZK.

Dalším krokem bylo vytvoření polygonových vrstev představujících land-use daného území pro jednotlivé časové úseky. V programu ArcCatalog (další součást programového balíku ArcGIS) byly proto vytvořeny celkem čtyři vrstvy, které byly posléze upravovány v prostředí ArcMap pomocí funkcí *Create New Feature* a *Cut Polygon Feature*. Každé vrstvě byl na základě podkladových dat přiřazen atribut: trvalý travní porost, les, vodní plocha, zástavba. Kromě polygonových vrstev využití půdy byly současně vytvářeny liniové vrstvy představující dopravní komunikace (stejným postupem jako u předešlých vrstev). Každé komunikaci byla následně vymezena její šířka a byla klasifikována jako zpevněná či nezpevněná. Pomocí funkcí *Buffer* a *Update* v ArcMap byly poté tyto liniové vrstvy komunikací spojeny s polygonovými vrstvami land-use (zvláště pro každý časový úsek). Konečným produktem byly polygonové vrstvy představující celkové využití území povodí Puklického potoka. V jejich atributové tabulce byla poté spočítána rozloha jednotlivých ploch využitím funkce *Calculate Geometry*. Tyto hodnoty byly následně zadávány při finálním modelování možného průtoku (nutné k výpočtu drsnostní charakteristiky).

Dalším důležitým krokem bylo vytvoření digitálního modelu reliéfu (DMR). K tomuto účelu byla využita funkce *Topo to Raster*, kterou lze nalézt v uživatelském rozhraní ArcToolbox (další součást programového balíku ArcGIS). Vstupními daty byly tři vrstvy vrstevnic poskytnuté ze ZABAGEDu (nazvané *vrstevnice_hlavni*, *vrstevnice_zesilena* a *vrstevnice_doplňkova*). Výsledné prostorové rozlišení rastru bylo nastaveno tak, aby jeden pixel odpovídal velikosti 1x1 m ve skutečnosti. Vzniklý rastr představuje model území rozčleněný podle nadmořské výšky. Tento rastr se stal základem pro odvozování dalších potřebných charakteristik (např. určení sklonitostních poměrů jednotlivých svahů a údolnice povodí pomocí funkce *Slope*).

Pro stanovení hodnot CN křivek, představující vstupní veličinu do programu DesQ-MAX Q, je potřeba znát HPJ zastoupené v území. Z tohoto důvodu tedy byla vytvořena nová polygonová vrstva, která byla obdobně, jako v případě land-use,

v ArcMap (pomocí funkcí *Create New Feature* a *Cut Polygon Feature*) upravena. Do atributové tabulky byly zaznamenány 2. a 3. číslice BPEJ, představující právě HPJ. Výchozím zdrojem byl WMS server ČÚZK, který touto formou příslušná data veřejně poskytuje.

Posledním krokem bylo sloučení dat (vrstev) nesoucí údaje o HPJ a land-use pro povodí Puklického potoka. Tohoto bylo docíleno použitím funkce *Identity*, která umožňuje rozdělit plochu podle zadaných atributů, v tomto případě tedy HPJ podle využití území. Následně byla spočítána plocha jednotlivých částí území, stejným způsobem, jako bylo popsáno u vrstev využití území (pomocí *Calculate Geometry* v atributové tabulce nově vzniklých vrstev).

Pro potřeby vytváření pomocných map v programu ArcMap byly využity také vrstvy získané z DIBAVODu a data poskytnutá Magistrátem města Jihlavy.

3 SRÁŽKO-ODTOKOVÝ PROCES

Před hodnocením vybraných hydrologických poměrů v zájmovém povodí je třeba se seznámit s vlastním srážko-odtokovým procesem, který je základem oběhu vody na Zemi.

3.1 Popis srážko-odtokového procesu

Srážko-odtokový proces se skládá ze tří základních komponent: srážek, evaporace a odtoku.

Hlavním činitelem procesu jsou srážky v různém skupenství. Po jejich dopadu na zemský povrch je část srážek zadržena povrchem (retence), část odteče přímo povrchovým odtokem, část se vsákne do půdy (infiltrace) a část je zachycena vegetací či jinými povrchy (intercepce). V případě, kdy je voda zadržena rostlinami, se stává součástí jejich organické hmoty, z níž se uvolňuje dýcháním (transpirací). Následně dochází k výparu (evaporaci), kdy se voda z kapalného stavu přemění na vodní páru, která se pohybuje v atmosféře. Zde za určitých podmínek kondenzuje a ve formě srážek opět dopadá na zemský povrch. Při infiltraci se voda vsákne do půdy, odkud se pomocí podpovrchového (hypodermického) či podzemního odtoku dostane do vodního toku a následně až do oceánu. Tímto se uzavírá hydrologický cyklus. (Davie, 2008; Pavelková Chmelová, Frajer, 2012)

3.2 Bilanční rovnice oběhu vody v přírodě

Srážko-odtokový proces lze reprezentovat tzv. bilanční rovnicí oběhu vody v přírodě. Tato rovnice je matematickým popisem působícím v daném časovém rámci a zahrnujícím principy zachování hmoty a energie. V tomto případě je tedy hydrologický cyklus definován jako uzavřený, v jehož rámci nedochází k vytváření ani ke ztrátě hmoty a energie (hmotou je zde chápána voda). (Davie, 2008)

Jedním z možných vyjádření rovnic je:

$$P \pm E \pm \Delta S \pm Q = 0$$

kde P jsou srážky

E evaporace

ΔS rozdíl retence vody (tj. zvýšení nebo snížení zásob povrchové a podpovrchové vody)

Q odtok.

Vyjádření \pm v rovnici představuje pozitivní či negativní vztah jednotlivé komponenty. Záleží, zda rovnici vnímáme z pohledu zemského povrchu či atmosféry. To znamená, že složka P (srážky) je pozitivní z pohledu zemského povrchu (dochází k zisku), avšak negativní z pohledu atmosféry (vzniká ztráta). (Kulhavý, Kovář, 2000; Davie, 2008)

3.3 Faktory ovlivňující srážko-odtokový proces

Srážko-odtokový proces je ovlivňován několika faktory. Obecně je můžeme rozdělit na faktory neovlivnitelné, které jsou dány *přírodním charakterem*, a ovlivnitelné (případně částečně ovlivnitelné), které jsou *antropogenního charakteru*. Tyto faktory působí na velikost infiltrace a odtoku, čímž ovlivňují dynamiku celého procesu.

3.3.1 Přírodní faktory

Přírodní faktory jsou pevně spojeny s územím, nezávisle na lidské činnosti. Podle Netopila a kol. (1984) a Červeného a kol. (1984) jsou důležitými činiteli:

- *morfologie území* – výškové a sklonitostní poměry v povodí
- *klimatické poměry* – úhrn a intenzita srážek, teplota vzduchu, sytostní doplněk
- *geologické poměry* – stupeň propustnosti hornin a jejich zvětrání
- *pedologické poměry* – zrnitostní složení, struktura, obsah humusu a organické složky (příklady propustnosti zemin udává tabulka 5)
- *vegetace* – druh vegetace a jeho rozmístění

Právě vegetace je pro tuto práci klíčovým faktorem, neboť se oproti předchozím zmíněným faktorům v průběhu zkoumaných časových horizontů měnila. Vegetační pokryv významně ovlivňuje nejen infiltraci a odtok, ale působí také na retenční schopnost povodí. Významnou roli představují lesní porosty, na jejichž povrchu dochází k intercepci srážek. Vyčnívající kořeny stromů, větve a opad zvyšují drsnost povrchu, a zamezují tak povrchovému odtoku (zvětšují infiltrační a retenční schopnost povrchu).

Tab. 5 - příklady propustnosti zemin

zemina	součinitel propustnosti k_f [m.den⁻¹]	propustnost
<i>jíl</i>	< 0,03	velmi nízká
<i>hlína</i>	0,03-0,15	nízká
<i>písčitá hlína</i>	0,15-0,5	mírná
<i>hlinitý písek</i>	0,5-2,0	střední
<i>jemnozrnný písek</i>	2,0-6,0	vysoká
<i>středně zrnitý písek</i>	> 6,0	velmi vysoká
<i>drobný štěrk</i>	> 6,0	velmi vysoká
<i>hrubý štěrk s pískem</i>	> 6,0	velmi vysoká

zdroj: vlastní úpravy podle Hrádek, Kuřík (2002)

3.3.2 Antropogenní faktory

Vliv lidské činnosti na změny v povodí a následně i v samotném srážko-odtokovém procesu je různorodý. Člověk svým chováním působí na proces jak pozitivně, tak také negativně.

V současnosti dochází, především vlivem urbanizace a industrializace, ke zvyšování podílu zastavěných ploch v území, kdy jsou přirozené vegetační pokryvy nahrazovány nepropustnými zástavbami. Tím je znemožněna infiltrace a částečně také evaporace srážek, a proto dochází k urychlování povrchového odtoku.

Nejvýznamnějšími činiteli jsou podle Netopila a kol. (1984), Červeného a kol. (1984) a Janečka a kol. (2007):

- *rozšiřování městských a průmyslových aglomerací* – zvyšují povrchový odtok
- *odlesňování* – snižuje infiltrační a retenční schopnost povrchu
- *protierozní a protipovodňová opatření* – zamezují povrchovému odtoku a erozi půdy

Posledním zmíněným faktorem se ve své práci zabývá Janeček a kol. (2007), který rozděluje tato opatření na organizační, agrotechnická a technická.

Mezi *organizační opatření* se řadí např. ochranná zatravnění a zalesnění nebo pásové střídání erozně náchylných plodin (okopaniny, kukuřice) s erozně stabilními (travní porost).

Agrotechnická opatření řeší zkracování doby, kdy jsou půdy bez vegetačního pokryvu, a jsou tak nejvíce erodována (např. nahrazování orby kypřením půd).

Technická opatření jsou zaměřena na budování liniových překážek, jako jsou terasy, příkopy či průlehy rozdělující dlouhý svah na řadu kratších.

4 HYDROLOGICKÉ MODELOVÁNÍ

Podle Kulhavého, Kováře (2000) je účelem matematického modelování hydrologických procesů vyjádření časové, případně časově-prostorové, závislosti určitých veličin, které reprezentují hydrologický režim modelovaného povodí, nebo jeho částí. Jednotlivé metody modelování umožňují nejen simulovat skutečný hydrologický proces, ale na jejich základě jsme také schopni určit chování modelovaného objektu při různých extrémních (srážkových) stavech pro prognózní či návrhové účely.

4.1 Klasifikace srážko-odtokových modelů

Matematický model srážko-odtokového procesu podává zjednodušenou představu vzájemných vazeb mezi proměnnými veličinami ve složitém hydrologickém systému, který je definován jako systém především fyzikálních procesů, působících na vstupní proměnné za účelem jejich transformace ve výstupní proměnné. I přesto, že jsou srážko-odtokové modely založeny na stejných předpokladech, jejich využití je různé. (Kulhavý, Kovář, 2000; Daňhelka a kol., 2003)

Modely lze rozdělit podle několika kritérií. Mezi nejpoužívanější patří klasifikace, uvedené v pracích Jeníčka (2005), Kulhavého a Kováře (2000) nebo Daňhelky a kol. (2003), dle využití, dle kauzality a dle prostorové diskretizace. Rozdíly mezi uvedenými typy jsou popsány v následujících třech podkapitolách, které vychází z výše zmíněných prací.

4.1.1 Z hlediska využití

Prvním typem jsou *modely používané v operativní hydrologii*. Jedná se o modely, jejichž vstupními daty jsou okamžité údaje z meteorologických či radarových zařízení, které jsou přímo předávány modelu. Tyto modely jsou proto využívány pro rychlé informování a krátkodobé předpovídání o stavech průtoků či vodních hladin.

Dále existují *modely aplikované pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství*. Tyto modely jsou používány pro dlouhodobější řešení

protipovodňové ochrany, jako jsou stavby přehrad či polderů. Jejich využití je možné také při budování technických staveb (např. plavebních kanálů, čističek odpadních vod).

Třetím typem jsou *modely využívané ve výzkumu*. Zde se jedná o modely zkoumající a detailněji popisující jednotlivé součásti srážko-odtokového procesu. Pro tyto účely se obvykle vytváří tzv. experimentální povodí s nadstandardní sítí měřících stanic.

4.1.2 Z hlediska kauzality

Tato klasifikace je jednou z nejběžnějších. Dělení hydrologických modelů je založeno na základě vyjádření vztahu „příčina-důsledek“. Modely se dělí na deterministické a stochastické.

U *deterministických modelů* je popsán vztah závislých proměnných (výstupních veličin) a nezávislých proměnných (vstupních stavových veličin):

$$y = f(x, a)$$

kde y jsou výstupní parametry (závislé proměnné)

x vstupní parametry (nezávislé proměnné funkce)

a parametry určující chování systému.

Tyto modely se dále dělí na tzv. „white-box“ modely, „grey-box“ modely a „black-box“ modely.

„*White-box*“ *modely* (označovány též jako DL - Deterministic, Hydrodynamic Laws) popisují srážko-odtokový proces pomocí fyzikálních principů a zákonů, které se také snaží respektovat. Využívány mohou být i poznatky z hydrodynamiky, termodynamiky, chemie nebo biologie.

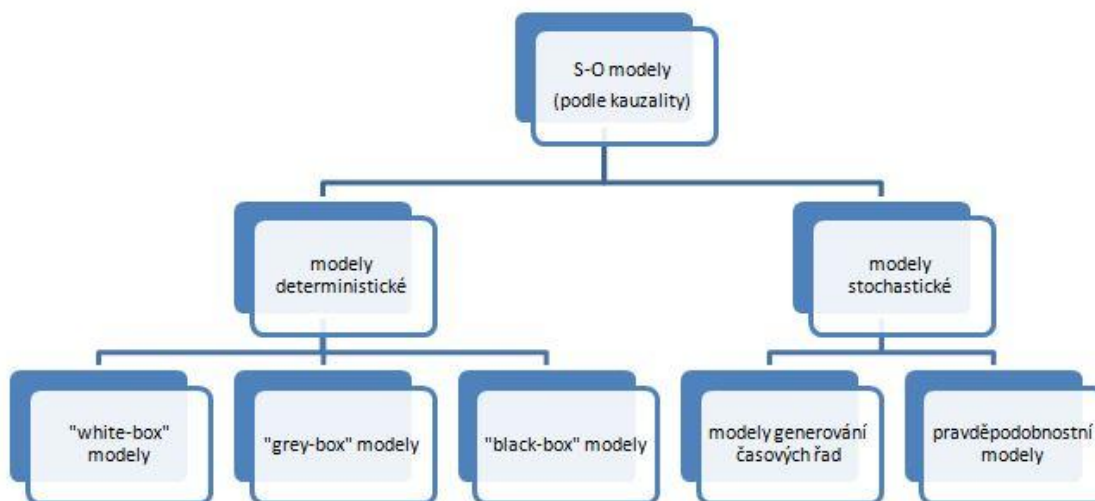
„*Grey-box*“ *modely* (DC – Deterministic, Conceptual) také respektují fyzikální zákony, avšak ve zjednodušené formě. Modely obsahují také empiricky odvozené vztahy, kterými kompenzují složité vazby komplexního hydrologického systému. Dochází zde k potlačování prostorové složky a uvažuje se pouze o prostorových změnách v určitých bodech povodí.

„*Black-box*“ modely (DB – Deterministic, Black-box) jsou postaveny na obecných a empiricky odvozených vztazích mezi vstupními a výstupními veličinami. Jejich vnitřní struktura je však ukryta.

Oproti tomu u *stochastických modelů* vazba mezi příčinou a důsledkem neexistuje. Stochastické modely je možné rozdělit na modely pravděpodobnostní a modely generování časových řad.

Pravděpodobnostní modely (označovány také jako SP – Stochastic Probabilistic) jsou charakterizovány určitým pravděpodobnostním rozdělením jednotlivých hydrologických parametrů (např. vodní stav, kulminační průtok). Funkce těchto modelů jsou určovány zpravidla základními statistickými charakteristikami.

Modely generování časových řad (též ST – Stochastic Time series generation) se využívají pro přiblížení časových řad sledovaných parametrů, kdy se zachovávají jejich statistické charakteristiky.



Obr. 5 - schematické znázornění klasifikace srážko-odtokových modelů z hlediska kauzality; zdroj: vlastní úpravy podle Daňhelky a kol. (2003)

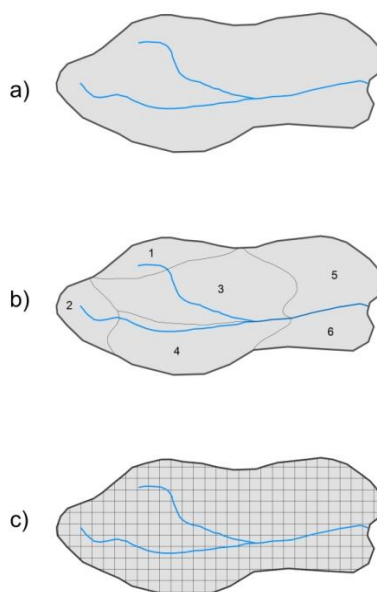
4.1.3 Z hlediska prostorové diskretizace

Dělení modelů je založeno na prostorovém charakteru. Rozlišují se 3 kategorie: modely distribuované, celistvé a semi-distribuované.

Celistvé modely (označované též jako L – lumped) obsahují parametry povodí, které jsou vztaženy k celému povodí. Toto povodí je charakterizováno jediným reprezentativním bodem, je tedy vnímáno jako homogenní. Díky jednoduchosti struktury těchto modelů a snadné aplikaci dominují v operativní hydrologii.

Distribuované modely počítají s proměnlivostí jednotlivých parametrů v povodí. Povodí je proto rozděleno čtvercovou nebo trojúhelníkovou sítí na elementární odtokové plochy, kdy každá část má svoji charakteristickou hodnotu.

Semi-distribuované modely rozdělují povodí na menší subpovodí, která se vyznačují homogenními prostorovými vlastnostmi (např. stejným půdním druhem či půdním pokryvem). Právě díky optimální kombinaci předchozích přístupů, je tento typ modelů využíván nejčastěji.



Obr. 6 - příklady rozdělní srážko-odtokových modelů podle prostorové diskretizace: a) celistvé, b) semi-distribuované, c) distribuované; zdroj: vlastní úpravy podle Daňhelka a kol. (2003)

4.2 Metoda čísel odtokových křivek (metoda CN-křivek)

Důležitou složkou hydrologického modelování je výpočet odtokových charakteristik v povodí. Pro tento výpočet se používá metoda čísel odtokových křivek (CN – Curve Number), která byla vyvinuta americkou Službou na ochranu půdy (U.S. Soil Conservation Service). Díky dostatečné přesnosti a zároveň jednoduchosti a dostupnosti vstupních dat, je tato metoda velmi oblíbenou a pro hydrologické účely bývá využívána v globálním měřítku. Metoda určuje objem přímého odtoku

(skládajícího se z odtoku povrchového a podpovrchového) a kulminačního průtoku vyvolaného navrhovanou přívalovou srážkou. Její využití se doporučuje především pro malá, zemědělsky využívaná povodí (do rozlohy 10 km²), avšak jsou známy i přijatelné výsledky při její aplikaci na větší povodí. (Kulhavý, Kovář, 2000; Janeček a kol., 2007)

Podle Janečka a kol. (2007) čísla CN stanovují podíl povrchového a podpovrchového odtoku na celkovém odtoku. Čím je hodnota CN vyšší, tím je vyšší pravděpodobnost, že jde o povrchový odtok. Elementárním vstupem je úhrn navrhovaného deště o zvolené době opakování za předpokladu jeho rovnoměrného rozdělení po celé ploše povodí. Pomocí čísel CN je výška srážek přeměněna na objem odtoku.

Základním předpokladem určení objemu přímého odtoku je zachování vztahu poměru objemu odtoku k úhrnu přívalového deště, který se rovná poměru objemu zadržené vody při odtoku k potenciálnímu objemu, který může být zadržen. Samotný odtok však přichází až po počáteční ztrátě, která je představována infiltrací, intercepcí a retencí srážek. Hodnota této ztráty byla experimentálně stanovena na 20 % potenciální retence. (Janeček a kol., 2007)

Vyjádřeno rovnicí:

$$H_o = (H_s - 0,2A)^2 / (H_s + 0,8A) \quad \text{pro } H_s = 0,2A$$

kde H_o je výška přímého odtoku [mm]

H_s úhrn návrhového přívalového deště [mm]

A potenciální retence [mm].

Potenciální retence se určí výpočtem z CN <0,100> :

$$A = 25,4 (1\ 000/CN - 10)$$

Hodnota CN je tedy po úpravě:

$$CN = 25\ 400/(A + 254)$$

Objem přímého odtoku je určen vztahem:

$$O_{pH} = 1\ 000 \cdot P_p \cdot H_o$$

kde O_{pH} je objem přímého odtoku [m³]

P_p plocha povodí [km²].

Čísla CN se stanovují podle následujících komponent: hydrologických skupin půd, předchozích vláhových podmínek (PVP) a využití půdy.

Hydrologické skupiny půd jsou určeny pomocí HPJ (hlavních půdních jednotek). Ty se dělí dle rychlosti infiltrace do 4 skupin (A, B, C, D) – skupina A představuje půdy s nejvyšší rychlostí, zatímco D jsou půdy s nejnižší rychlostí infiltrace.

Předchozí vláhové podmínky (PVP) představují nasycení půdy srážkovou vodou v předchozích pěti dnech.

Posledním komponentem je nejen samotné *využití půdy* (land-use), ale také agrární hospodaření (způsob obdělávání a použití protierozních opatření). (Janeček a kol., 2007)

Výsledná hodnota CN je dána sloučením těchto činitelů. Podle Unucky a kol. (2012) mohou CN teoreticky nabývat hodnot z intervalu 30–100, avšak pro naše podmínky se hodnoty menší než 50 téměř nevyskytují.

5 MODEL DESQ-MAX Q

Podle Jeníčka (2011) je hydrologický model DesQ-MAX Q určen pro výpočet návrhových charakteristik povodňových vln v nepozorovaných profilech malých povodí, které jsou vyvolány přívalovými dešti. Model může být také využit pro výpočet ovlivnění maximálních průtoků nebo objemů povodňových vln změnou charakteristik povodí.

Model byl vytvořen prof. Hrádkem v roce 1997 a následně aktualizován v roce 2000. V názvu DesQ-MAX Q se odráží zkratky jeho využití, tedy modelování návrhových průtoků (DesQ – Design Q) a maximálních průtoků (MAX Q). Model je určen pro malá povodí (do 10 km²) tvořená buď jedním svahem, nebo dvěma svahy ve tvaru „otevřené knihy“. (Hrádek, Kuřík, 2001; Hydro.upol.cz, 2009)

Podle vybraných klasifikací, popsaných v předešlé kapitole, lze tento model označit jako deterministický „black-box“ model. Model je založen na empiricky odvozeném vztahu závislých a nezávislých proměnných, jejichž vnitřní struktura je před uživatelem skryta. Z pohledu prostorové diskretizace jde o semi-distirbuovaný model, neboť celé povodí není chápáno jako homogenní, ale je rozděleno na jednotlivá subpovodí. Z pohledu využití jej můžeme zařadit do modelů aplikovaných pro návrhovou a projekční činnost v oblasti vodního hospodářství.

Podle Hrádka, Kuříka (2001) model také umožňuje:

- výpočet maximálních N-letých (návrhových) průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných přívalovými dešti kritické doby trvání
- výpočet maximálních průtoků a objemů povodňových vln, vyvolaných dešti zadané doby trvání a intenzity
- odvození tvaru povodňových vln (časové řady)
- výpočet charakteristik hydrogramů, ovlivněných lidskou činností v povodí (např. změnou land-use)

Pro tuto práci bylo zvoleno modelování výpočtu max. průtoků při zadané době trvání deště a zadané intenzitě deště. Přesný přehled vstupních a výstupních veličin je uveden v tabulce 6.

Finálními výstupy jsou:

- *graf* (hydrogram) znázorňující teoretickou povodňovou vlnu pro celé povodí, ale také pro oba svahy
- *tabulka* obsahující hodnoty jak vstupních, tak výstupních veličin
- *časové řady* nesoucí informace o intenzitě deště a průtocích pro jednotlivé časové úseky (po 1 min). (Hrádek, Kuřík, 2001)

Přesné teoretické a matematické rozborů jednotlivých veličin nejsou v této práci uvedeny. Detailně se jimi zabývají ve svých pracích Hrádek, Kuřík (2001), Hrádek, Kuřík (2002) nebo Janeček a kol. (2007).

Tab. 6 - přehled vstupních a výstupních veličin pro model DesQ-MAX Q

VSTUPNÍ VELIČINY		
F	plocha povodí	[km ²]
F_s	plocha svahu	[km ²]
I_s	průměrný sklon svahu	[%]
γ [gamma]	drsnostní charakteristika	[sec]
CN_{typ}	typ odtokové křivky (1, 2, 3)	[...]
CN	číslo odtokové křivky (400–100)	[...]
L_u	délka údolnice	[km]
l_u	průměrný sklon údolnice	[%]
t_d	doba trvání deště	[min]
i_d	intenzita deště	[mm·min ⁻¹]
VÝSTUPNÍ VELIČINY		
CN_{pr}	přepočtené číslo CN - typ	[...]
R_p	potenciální retence povodí	[mm]
L_s	průměrná délka svahu	[km]
L_{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku	[km]
Výpočtový déšť		
t_d	doba trvání deště	[min]
i_d	intenzita deště	[mm·min ⁻¹]
H_d	výška deště	[mm]
t_l	doba trvání bezodtokové fáze	[min]
t_{sp}	doba trvání přítoku	[min]
i_{sp}	intenzita přítoku	[mm·min ⁻¹]
H_{sp}	výška přítoku	[mm]
t_{sk}	doba koncentrace	[min]
i_{sk}	intenzita odtoku v době t_{sk}	[mm·min ⁻¹]
H_{so}	výška odtoku	[mm]
$max\ i_{so}$	max. intenzita odtoku ze svahu	[mm·min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	[m ³ ·s ⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm		
W_{PVT}	objem povodňové vlny	[10 ³ ·m ³]
t_{vh}	doba vzestupu hydrogramu	[min]
t_{ph}	doba poklesu hydrogramu	[min]
t_{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	[min]
t_{ch}	celková doba trvání odtoku	[min]

zdroj: vlastní úpravy podle modelu DESQ-MAQX Q 6.0

6 SIMULACE VYBRANÝCH SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH SCÉNÁŘŮ

Po úpravě jednotlivých vstupních dat bylo možné přistoupit k samotnému modelování v programu DesQ-MAX Q. Jak již bylo zmíněno, simulace vybraných srážko-odtokových scénářů byla provedena pro čtyři časové horizonty, které se od sebe liší nejen změnami ve využití půdy, ale také změnami ve způsobu jejího obdělávání (např. setba plodin vrstevnicovým směrem a po spádu).

6.1 Zadání hodnot pro simulaci modelování

Při spuštění modelu DesQ-MAX Q bylo nejprve nutné zvolit jednotlivé parametry a vstupní data (detailně popsané v kapitole 5). Jedná se o *parametry výpočtu* (typ povodí a varianta simulace), *parametry povodí* (délka a sklon údolnice), *parametry svahů* (plocha, sklon, drsnost, typ a číslo CN křivky) a *hodnoty simulovaného deště* (doba trvání a jeho intenzita). Po zadání všech vstupních dat provedl model simulaci, jejíž konečné výsledky jsou reprezentovány v již zmíněné podobě grafu, časové řadě a tabulce výstupů.

Při zadávání hodnot se měnily pouze charakteristiky drsnosti a čísla CN křivky. Zbývající data zůstala stejná pro všechna sledovaná časová období, jde o charakteristiky, které jsou časově stálé (plocha a sklon obou svahů, délka a sklon údolnice). Hodnoty reprezentující simulovaný déšť byly taktéž neměnné, neboť je tato práce založena na hodnocení odtokových poměrů při stejných meteorologických podmínkách.

Hodnota typu CN křivky byla stanovena na 2. Právě s touto hodnotou se (dle Hydro.upol.cz, 2009) při modelování pracuje nejčastěji. Důvodem je zachování PVP ve stavu, kdy není půda srážkami ani přesycena, ani nenasycena (úhrn srážek za 5 předchozích dnů činí ve vegetačním období 13–28 mm a mimo vegetační období 36–53 mm).

Za délku trvání deště byly zvoleny 2 hodiny a výška srážek byla stanovena na 80 mm. Intenzita deště tedy odpovídá $0,667 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Déšť o uvedených hodnotách se v zájmovém území skutečně v minulosti vyskytl, je tedy reálné, že se může tato událost

opakovat. Součástí přílohy je také fotodokumentace zachycující zájmové území v době trvání povodně a v době mimo povodeň.

Přesný přehled zadaných vstupních hodnot, za kterých byla simulace provedena, uvádí tabulka 7.

Tab. 7 - vstupní hodnoty zadané při modelování

PARAMETRY POVODÍ		
<i>délka údolnice [km]</i>	6,125	
<i>sklon údolnice [%]</i>	5,335	
PARAMETRY SVAHŮ		
-	<i>levý svah</i>	<i>pravý svah</i>
<i>plocha svahu [km²]</i>	5,435	4,242
<i>sklon svahu [%]</i>	8,803	8,482
<i>typ CN křivky [...]</i>	2	2
<i>doba trvání deště [min]</i>	120	120
<i>intenzita deště [mm·min⁻¹]</i>	0,667	0,667

zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS, informací získaných při terénním šetření a Hydro.upol.cz. (2009)

6.2 Výpočet hodnot drsnosti a CN křivek

Vhodné stanovení hodnot charakteristik drsnosti a CN křivek bylo konzultováno s Ing. Františkem Pavlíkem z VÚV T. G. Masaryka, který s modelem DesQ-MAX Q pracuje. Jelikož je práce postavena na simulaci při stejných podmínkách, jsou hodnoty zobecněny. Přesné vegetační období není specifikováno, byly proto vybírány spíše negativní hodnoty představující nejhorší možné podmínky, které se mohou v zájmovém území vyskytnout.

Parametr drsnosti je v nepřímé úměrnosti s velikostí průtoku. Platí, že čím je hodnota drsnosti vyšší, tím se průtok zmenšuje. Povrchu využívaného jako louky a lesy ve sledovaném území, byla přiřazena hodnota 8, která reprezentuje louky tvořené vysokou trávou nižší hustoty a zdravé až částečně poškozené lesy s ostrůvky humusu. Pro ornou půdu pak byla určena hodnota 6, představující pěstování úzkořádkových plodin.

Charakteristika CN křivek je (oproti předchozí) v přímé úměrnosti s velikostí průtoku. S rostoucí hodnotou CN křivky se tedy zvětšuje i velikost průtoku. Při výpočtu

CN křivek hraje roli také způsob obdělávání půdy. Jelikož v území v současné době není na všech polích prováděna setba pouze ve vrstevnicovém směru, ale také po spádu, je pravděpodobné, že v minulosti bylo tohoto způsobu využíváno ve větší míře. Hydrologické podmínky tedy byly určovány spíše špatné, případně střední. Výsledné hodnoty těchto charakteristik pro všechna zkoumaná období podává tabulka 8.

Tab. 8 - hodnoty vybraných parametrů pro sledovaná období

parametr	1835		1949		1980		2012	
	<i>levý svah</i>	<i>pravý svah</i>	<i>levý svah</i>	<i>pravý svah</i>	<i>levý svah</i>	<i>pravý svah</i>	<i>levý svah</i>	<i>pravý svah</i>
<i>drsnostní charakteristika</i>	6,85	6,48	6,78	6,54	6,80	6,42	6,83	6,54
<i>číslo CN křivky</i>	76,66	77,57	77,33	77,22	76,69	77,15	76,30	76,06

zdroj: model DesQ-MAX Q na základě vlastních hodnot

7 VÝSLEDKY

Ze stanovených vstupů vyhodnotil program DesQ-MAX Q odtokové poměry zvlášť pro každé zkoumané časové období. Přesné výstupní hydrogramy a tabulky se vstupními a výstupními parametry jsou uvedeny v příloze, časové řady jsou, vzhledem ke svému rozsahu, pouze na přiloženém nosiči CD-ROM.

7.1 Změny ve využití půdy

Právě využití sledovaného území společně s jeho změnou v čase mají výrazný vliv na odtokové poměry v povodí. Ovlivňují totiž nejen velikost možné povodňové vlny, ale také dobu trvání jejího odtoku. Tabulka 9 udává absolutní a relativní hodnoty zastoupení jednotlivých typů využití půdy v povodí pro sledované časové úseky.

Tab. 9 - využití půdy v povodí Puklického potoka pro sledovaná období

využití půdy	1835		1949		1980		2012	
	plocha		plocha		plocha		plocha	
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)
<i>orná půda</i>	6,00	62,02	6,10	63,03	6,24	64,52	5,89	60,85
<i>TTP</i>	1,68	17,39	1,92	19,83	1,49	15,35	1,70	17,53
<i>les</i>	1,46	15,06	1,18	12,16	1,40	14,44	1,48	15,29
<i>komunikace</i>	0,35	3,59	0,27	2,82	0,27	2,84	0,28	2,94
<i>zástavba</i>	0,11	1,10	0,16	1,67	0,22	2,32	0,27	2,83
<i>vodní plocha</i>	0,08	0,84	0,05	0,49	0,05	0,54	0,05	0,56
celkem	9,68	100,00	9,68	100,00	9,68	100,00	9,68	100,00

zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS

Největší rozlohu pro všechny časové horizonty zaujímá orná půda (pole), jak je patrné na obrázku 7. Její plocha se s časem nijak výrazně neměnila a dosahovala hodnoty kolem 6 km² (tvořící přes 60 % rozlohy celého území). Od roku 1835 rozloha tohoto způsobu využití území postupně narůstala až do roku 1980, kdy dosáhla vrcholu (6,24 km²) a představovala až 64,52 % rozlohy povodí. V současnosti je velikost území tvořeného ornou půdou nejnižší (5,89 km²), a to pouhých 60,85 %. Tento trend ubývání orné půdy je způsoben vývojem lidské společnosti a s ní spojeným procesem urbanizace, kdy mnoho staveb, především průmyslových, vzniká tzv. na zelené louce (greenfields). Dochází tak k rozšiřování zastavěných území na úkor orné půdy a TTP.

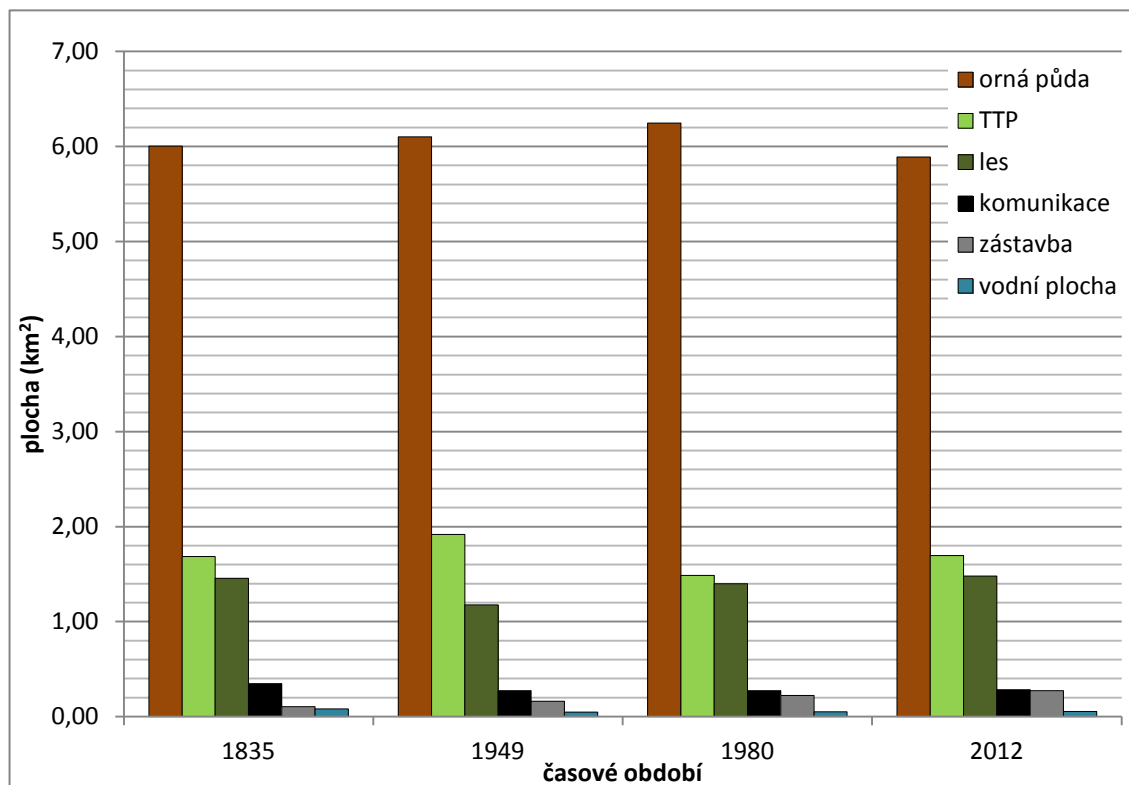
Zastoupení lesů v území bylo na začátku sledovaného období, v roce 1835, na 15,06 % celkové rozlohy (představující 1,46 km²), avšak v roce 1949 došlo ke snížení na 12,16 % (tvořících 1,18 km²). V následujících časových horizontech zastoupení lesů vzrůstalo a v současnosti dosahuje nejvyšší hodnoty 1,48 km² (což je 15,29 %). Důvodem je větší výsadba lesních porostů v posledních letech, která však v mnoha případech neodpovídá původnímu složení (jde hlavně o smrkové monokultury, které se v těchto podmínkách přirozeně nevyskytují).

Nejrozkolísanější jsou rozlohy trvalých travních porostů, jak znázorňuje obrázek 8. Na začátku sledovaného období dosahovaly TTP hodnoty 1,68 km² (představující 17,39 % rozlohy celkového území). V roce 1949 dosáhly vrcholu a zaujímaly plochu o velikosti 1,92 km², což je 19,83 % celkového území. Avšak v roce 1980 došlo k úbytku na 1,49 km² (15,35 %). V současnosti se jejich rozloha opět zvětšila a tvoří 17,53 % (území o velikosti 1,70 km²), tedy největší plochu pro všechna sledovaná období. Příčinu úbytku mezi roky 1949 a 1980 představuje změna v zemědělství, kdy docházelo k rozšiřování orné půdy na úkor zatravněných oblastí. Po roce 1989 došlo k opětovnému zatravnění těchto území, což se odráží v nárůstu TTP a naopak úbytku orné půdy v současnosti.

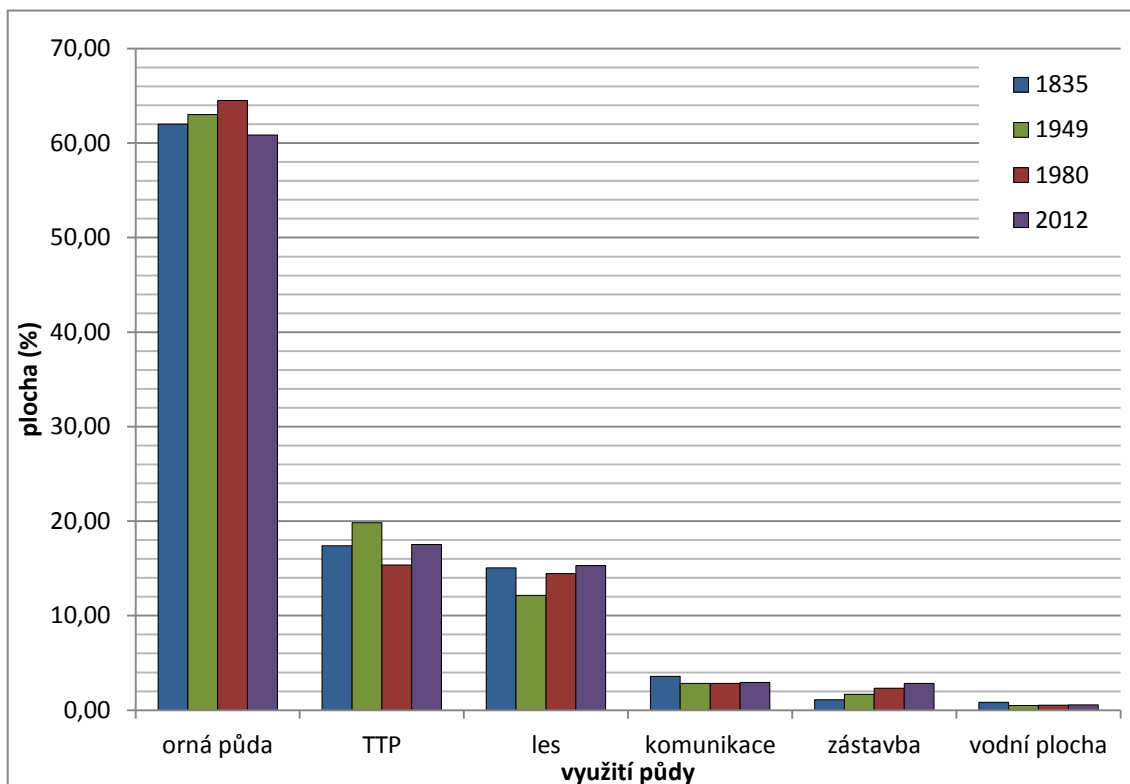
Rozloha zástavby se pro sledovaná časová období postupně zvyšovala. Tento trend je dobře viditelný na obrázku 8. Nejnižší hodnoty dosahovala v roce 1835, a to pouhých 0,11 km² (1,10 % rozlohy povodí). V dalších časových úsecích se její plocha zvyšovala. V roce 1949 dosahovala hodnoty 0,16 km² (představující 1,67 %) a v roce 1980 až 0,22 km² (2,32 %). V současné době zaujímá zástavba rozlohu 0,27 km² (odpovídající 2,83 % rozlohy povodí). Ze všech časových období je její velikost dnes největší. V porovnání s počátečním sledovaným horizontem (1835) vzrostla její rozloha více než dvojnásobně. Příčinou je již zmíněný proces urbanizace.

Rozloha území představující komunikace dosahovala nejvyšší hodnoty na začátku sledovaného období, tedy v roce 1835, kdy se komunikace rozprostíraly na ploše 0,35 km², a tvořily tak 3,59 % celkové rozlohy povodí. Pro další sledované časové horizonty se jejich plocha zmenšila na 0,27 km² (představující v 1949 pouze 2,82 % a v 1980 pak 2,84 %). V současnosti došlo k mírnému nárůstu komunikací na 0,28 km² tvořící tak podíl 2,94 % na celkové rozloze povodí.

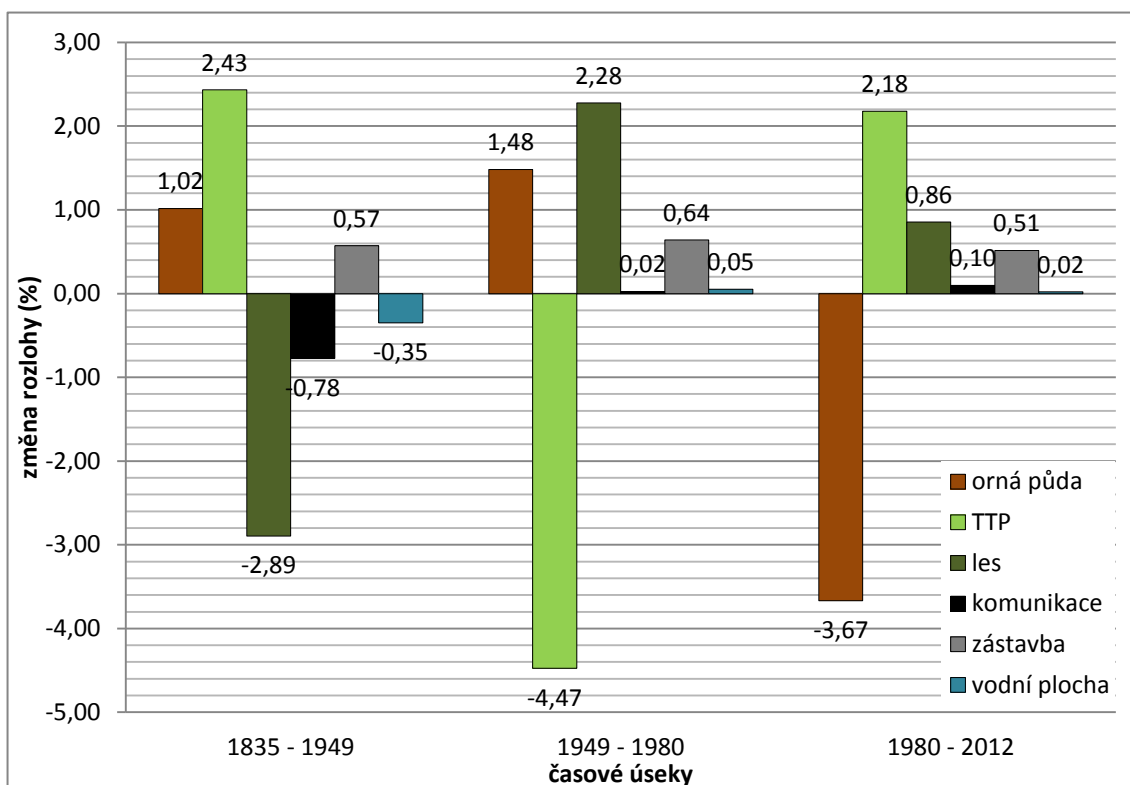
Posledním zkoumaným způsobem využití jsou vodní plochy. Jejich rozloha zůstala téměř neměnná. V roce 1835 zaujímaly 0,84 % rozlohy povodí, a tvořily tak 0,08 km², tedy největší plochu ve zkoumaných obdobích. V roce 1949 došlo ke snížení jejich rozlohy na 0,05 km² (představující 0,49 % území). Tato hodnota zůstala stejná pro všechna další časová období, pouze jejich relativní zastoupení se mírně zvyšovalo, jak je patrné na obrázku 9.



Obr. 7 - graf využití půdy v povodí pro zkoumaná časová období (absolutní); zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS



Obr. 8 - graf využití půdy v povodí podle způsobu využití (relativní); zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS



Obr. 9 - graf relativních změn ve využití půdy v povodí mezi sledovanými časovými úseky; zdroj: vlastní výpočty na základě ArcGIS

7.2 Změny v odtokových poměrech

Následné porovnání odtokových poměrů v průběhu sledovaných časových období je charakterizováno na základě změn v: maximálním průtoku (Q_{\max}), objemu povodňové vlny (W_{PTV}), potenciální retenci povodí (R_p), době trvání bezodtokové fáze (t_1) a celkové době trvání odtoku z povodí (t_{ch}).

Při hodnocení byl kladen důraz především na využití půdy v podobě lesů, orné půdy a trvalých travních porostů, které zaujímají v povodí největší rozlohu. Lesní porosty, jak bylo uvedeno v kapitole 3, zvyšují retenční a infiltrační schopnost povrchu. Vhodné podmínky představují také TTP. Naopak, orná půda přispívá k vysokému povrchovému odtoku (a podporuje také erozi půdy). Míra zastoupení těchto způsobů využití území se odráží v hodnotách drsnosti povrchu a čísla CN křivky. Jak bylo již zmíněno, drsnostní charakteristika je v nepřímé úměrnosti s velikostí průtoku, naopak číslo CN křivky je v přímé úměrnosti s velikostí průtoku. Pro poslední jmenované charakteristiky jsou hodnoty uváděny pro levý a pravý svah zvlášť. Výraznější vliv na odtokové poměry však bude představovat právě levý svah, neboť je oproti pravému velikostně větší a má také větší sklon.

Jak je uvedeno v tabulce 10, nejvyšší maximální průtok v povodí byl vyhodnocen pro časový úsek 1949. Jeho hodnota dosahuje až $33,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Příčinou je vysoké zastoupení orné půdy (63,03 %) a naopak nízký podíl lesů a TTP v území (tvořících dohromady pouhých 31,99 %). Charakteristika drsnosti povrchu, pro levý svah, dosahuje nejnižší hodnoty (6,78) ze všech sledovaných období právě pro období 1949. Číslo CN křivky, opět pro levý svah, je v 1949 druhé nejvyšší (77,33). Výše zmíněné podmínky předpokládají špatné odtokové poměry, což se při modelování potvrdilo. Taktéž objem povodňové vlny v povodí dosahuje nejvyšší naměřené hodnoty ze všech zkoumaných období (až $293\,000 \text{ m}^3$). Potenciální retence povodí dosahuje druhé nejnižší hodnoty, a to 74,5 mm pro levý svah (pro pravý pak 74,9 mm). Doba trvání bezodtokové fáze je pro časový horizont 1949 nejkratší, trvá pouhých 22 min. Stejně tomu je u celkové délky trvání odtoku z povodí, která je rovněž nejkratší, pouhých 654 min.

Nejnižší maximální průtok v povodí byl namodelován pro poslední zkoumané časové období (2012) a dosahuje $28,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Podmínky pro odtok jsou oproti ostatním obdobím nejpříznivější. Podíl zastoupení TTP dosahuje 17,53 % a pro lesní porosty je

v současnosti nevyšší v rámci sledovaných časových období, kdy dosahuje hodnoty 15,29 %. Velikost rozlohy orné půdy naopak v současnosti představuje nejnižší hodnoty ze všech časových horizontů (60,85 %). Také hodnoty parametrů drsnosti a čísla CN křivek předpokládají nejnižší maximální průtok, stejně jako objem povodňové vlny. Pro levý svah je hodnota drsnostní charakteristiky 6,83, což je druhá nejvyšší a číslo CN křivky zcela nejnižší (76,3 pro levý svah). Výsledkem je nejvyšší potenciální retence, dosahující pro levý svah 78,9 mm (pro pravý až 79,9 mm). Velikost povodňové vlny je s 278 000 m³ nejmenší. Délka trvání bezodtokové fáze je ze všech roků nejdélsí, a to 24 min, stejně jako celková doba trvání odtoku z povodí, která dosahuje až 733 min.

Pro časový horizont 1835 hodnota maximálního průtoku dosahuje 33,2 m³.s⁻¹. Lesnatost a zastoupení TTP jsou v tomto období druhé nejvyšší v rámci zkoumaných časových horizontů (lesnatost představuje 15,06 % a TTP 17,39 %). Rozloha orné půdy je naopak druhá nejnižší (62,02 %). Potenciální retence povodí dosahuje 77,3 mm pro levý svah (pro pravý pak pouze 73,4 mm). Důvodem nízké hodnoty retence je předpoklad horšího obdělávání půdy v území pro tento časový horizont (který byl navolen při modelování), jeho následkem tak dochází ke zhoršení odtokových poměrů. Tyto nepříznivé odtokové podmínky se odráží také v hodnotách parametrů drsnosti povrchu (6,85 pro levý svah a 6,48 pro pravý svah) a čísla CN křivek (pro levý svah 76,66 a pro pravý svah 77,57), které jsou ze sledovaných druhé nejhorší. Také ostatní charakteristiky dosahují negativních výsledků. Objem povodňové vlny představuje 290 000 m³, což je druhý největší objem. Doba trvání bezodtokové fáze dosahuje stejných hodnot jako v období 1949, tedy 22 min (v případě levého svahu pak 23 min). Celková doba trvání odtoku z povodí je druhá nejvyšší v rámci všech zkoumaných období, a to až 711 min.

V období 1980 se odtokové poměry přibližují hodnotám, jaké byly namodelovány pro období 1835. Maximální průtok dosahuje 32,7 m³.s⁻¹, a je tak druhý nejnižší. Lesnatost území (14,44 %) je nižší než v období 1835, avšak rozloha orné půdy je nejvyšší v porovnání všech sledovaných období (64,52 %). Podíl zastoupení TTP je ze všech období nejnižší (15,35 %). Drsnostní charakteristika a čísla CN křivek jsou taktéž podobné jako v 1835. Hodnoty drsnosti povrchu pro levý svah představují 6,80 a pro pravý 6,42. Čísla CN křivek byla stanovena na 76,69 pro levý svah a 77,15 pro pravý. Velikost potenciální retence byla vyhodnocena pro levý svah 77,2 mm a pro pravý 75,2 mm. Objem povodňové vlny dosahuje 288 000 m³, je tedy menší než v roce

1835. Doba trvání bezodtokové fáze je 23 min (delší než byla stanovena pro 1835), avšak celková doba trvání odtoku z povodí je oproti roku 1835 kratší, a to 696 min.

Tab. 10 - vybrané výstupní hodnoty odtokových poměrů v povodí pro sledovaná období

časové období	část povodí	VÝSTUPNÍ VELIČINY				
		Q_{max} [m ³ ·s ⁻¹]	W_{PVT} [10 ³ ·m ³]	R_p [mm]	t_1 [min]	t_{ch} [min]
1835	celé povodí	33,2	290	-	22	711
	levý svah	14,2	160	77,3	23	710
	pravý svah	19,0	131	73,4	22	407
1949	celé povodí	33,6	293	-	22	654
	levý svah	15,8	165	74,5	22	654
	pravý svah	17,9	128	74,9	22	425
1980	celé povodí	32,7	288	-	23	696
	levý svah	14,5	160	77,2	23	696
	pravý svah	18,2	128	75,2	23	415
2012	celé povodí	28,8	278	-	24	733
	levý svah	13,6	157	78,9	24	733
	pravý svah	15,3	121	79,9	24	470

zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0 na základě vlastních hodnot

8 ZÁVĚR

V předložené práci byl proveden fyzickogeografický rozbor území v povodí Puklického potoka za účelem zhodnocení a porovnání změn odtokových poměrů pro čtyři časové horizonty. Modelování potvrdilo, že nejhorší odtokové poměry se vyskytují v území představovaném vysokým podílem orné půdy (poli), které podporují povrchový odtok, a zároveň nízkým zastoupením lesů a trvalých travních porostů, které naopak podporují retenci a infiltraci srážek. Nejlepší hydrologické poměry se tedy nachází v území s vyšší lesnatostí a vyšším podílem TTP, společně s nízkým zastoupením orné půdy. Odtokové poměry jsou ovlivňovány také zastavěnými plochami, komunikacemi a vodními plochami, z důvodu nízkých podílů zastoupení v zájmovém území, byly tyto způsoby využití území v hodnocení zanedbány (do samotného modelování však vstupovaly). Porovnávána proto byla pouze využití představující ornou půdu, TTP a lesy, které jsou v zájmovém území plošně zastoupeny nejvíce.

Podle zmíněných podmínek, jsou nejméně příznivé odtokové poměry pro období 1949. Naopak nejpříznivější hydrologické poměry ve sledovaném území byly zjištěny v současnosti. Konečné hodnoty byly porovnány s výsledky v práci Pavlíka, Pavelkové Chmelové, Šarapatky, Netopila (2010), kde autoři dochází ke stejnému závěru (snížení maximálního průtoku pro současnost, resp. rok 2007, v porovnání s rokem 1953). Výsledky byly taktéž konzultovány s Ing. Františkem Pavlíkem, který je na základě svých zkušeností označil za reálné.

Podle územního plánu obce Puklice (ÚP Puklice: ÚP obcí: Jihlava, 2010) se v zájmovém území plánují další změny ve využití půdy, které pravděpodobně ovlivní odtokové poměry v následujících letech. Změny jsou představovány především nárůstem zástavby a komunikací v místních částech výše zmiňované obce (jde o sídla Puklice a Studénky). Dále se počítá se zvyšováním podílu zatravněných ploch a zároveň se snižováním rozlohy orné půdy. Zvýšit se má taktéž celková rozloha vodních ploch v území. Společně se změnami ve využití půdy by se měl změnit také způsob hospodaření (především využíváním protierozních a protipovodňových opatření). Na základě uvedených plánovaných změn, je možné počítat se zlepšením odtokových poměrů ve sledovaném území.

SUMMARY

The thesis is focused on the evaluation of changes in run-off ratios in selected drainage basin by using suitable hydrological model. To achieve the main aim, it was necessary to accomplish partial aims. Firstly, get to know the principle of rainfall-runoff process and hydrologic modelling. Then were specified four periods for evaluating (1835, 1949, 1980 and 2012). On the ground of informations about hydrologic modelling, the suitable and available hydrological model was chosen (DesQ-MAX Q 6.0). For needs of the model, the basin of Puklický potok was picked out as convenient. Last aims were to get basic data and their modification into suitable shape. For modification was used environment of ArcGIS 9.3.

The run-off ratios were analyzed on the ground of changes of land-use in chosen basin, for four periods. The land-use was determined by using modified aerial photos. The DesQ-MAX Q model and the CN method were used for simulation of run-off ratios. The CN method is defined by hydrological soil groups and antecedent moisture conditions. Other entering data necessary for simulation were length and slope of thalweg, area and slope of hillsides and intensity and time of duration of rain. The outcomes are: tables with input and output quantities, hydrographs and time-rows with information about rain and run-off.

The worst results were evaluated in 1949 because of high ratio of arable land (fields), which support surface run-off, and low ratio of forests and grass coverage, that support infiltration and retention of precipitation. The maximum flow rate in this period is $33,6 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. The best run-off conditions (maximum flow rate $28,8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) were analysed nowadays, owing to an increase of forests and a decrease of arable land. Run-off values in 1835 and 1980 were similar ($33,2 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ and $32,7 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), the land-use ratios were similar too. The significant reason for changes in land-use is represented by transformation in agriculture (period after the Second World War and period after 1989).

ZDROJE

Seznam použité literatury:

ČERVENÝ, J. a kol. *Podnebí a vodní režim ČSSR*. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 1984.

DAVIE, T. *Fundamentals of hydrology*. New York: Routledge, 2008. ISBN 04-153-9987-4.

DEMEK, J., MACKOVČIN, P. *Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny*. Brno: AOPK ČR, 2006. ISBN 80-860-6499-9.

DAŇHELKA J. a kol. *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. Praha: ČZU a ČHMÚ, 2003. ISBN 80-86690-03-2.

HRÁDEK, F., KUŘÍK, K. *Maximální odtok z povodí: teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAX Q*. Praha: ČZU, 2001. ISBN 80-213-0782-X.

HRÁDEK, F., KUŘÍK, P. *Hydrologie*. Praha: ČZU, 2002. ISBN 80-213-0950-4.

JANEČEK, M. a kol. *Ochrana zemědělské půdy před erozí: metodika*. Praha: VÚMOP, 2007. ISBN 978-80-254-0973-2.

JENÍČEK, M. *Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích*. Článek ze sborníku *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. Praha: PřF UK, 2005, str. 112-126.

KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P. *Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí*. Praha: Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, 2000.

NETOPIL, R. a kol. *Fyzická geografie I*. Praha: SPN, 1984.

PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R., FRAJER, J. *Základy fyzické geografie 1 – hydrologie (studijní opora)*. Univerzita Palackého v Olomouci, 2012.

PAVLÍK, F., PAVELKOVÁ CHMELOVÁ, R.; ŠARAPATKA, B.; NETOPIL, P. *Změna odtokových poměrů s vývojem krajinné matrice v povodí Hážovického potok a*. Článek ze sborníku *Venkovská krajina 2010: 8. ročník Mezinárodní mezioborové konference*. Brno: Česká společnost pro krajinnou ekologii, regionální organizace CZ- IALE, 2010. ISBN 978-80-87154-43-4.

SYROVÝ, F. a kol. *Atlas podnebí Československé republiky*. Praha: Ústřední správa geodesie a kartografie, 1958.

TOLASZ, R. a kol. *Atlas podnebí Česka: Climate Atlas of Czechia*. Praha: ČHMÚ, 2007. ISBN 978-80-86690-26-1.

UNUCKA, J. a kol. *Modelování srážkoodtokových vztahů s využitím GIS*. Vysoká škola báňská: Technická univerzita v Ostravě, 2012 (zatím nevydáno).

ZÍTEK, J. *Hydrologické poměry Československé socialistické republiky: díl I, text*. Praha: Hydrometeorologický ústav, 1965.

Internetové zdroje:

HYDRO.upol.cz [online]. 2009 [cit. 2013-04-08]. Dostupné z: http://hydro.upol.cz/?page_id=17

JENÍČEK, M. *Přehled srážko-odtokových modelů (studijní opora)* [online]. 2011 [cit. 2013-02-19]. Dostupné z: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=54>

ÚP Puklice: ÚP obcí: Jihlava [online]. 2010 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.jihlava.cz/up-puklice/d-402186/p1=75646>

Zdroje dat:

ČSÚ [online]. 2012 [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: <http://www.czso.cz/csu/2012edicniplan.nsf/krajp/06063-12-xj>

ČUZK. *ZABAGED (výškopis), císařské otisky stabilního katastru a Ortofoto formou služby WMS*.

DIBAVOD (VÚV T.G.Masaryka). *Vrstvy vodních toků a povodí ve formátu SHP*.

Geologická mapa ČR: List 23 – 23 Jihlava. 1:50 000. Praha: Ústřední ústav geologický, 1991.

Geologická mapa ČR: List 23 – 24 Polná. 1:50 000. Praha: Český geologický ústav, 1993.

Geologická mapa ČR: List 23 – 41 Třešť. 1:50 000. Praha: Český geologický ústav, 1992.

Geologická mapa ČR: List 23 – 42 Třebíč. 1:50 000. Praha: Ústřední ústav geologický, 1987.

Magistrát města Jihlavy. *ZABAGED (polohopis)*.

VGHMÚř. *Letecké měřické snímky*.

VÚMOP. *BPEJ formou služby WMS*. Dostupné z: http://ms.sowac-gis.cz/mapserv/dhtml_zchbpej/index.php?project=dhtml_zchbpej&layers=kraj

PŘÍLOHY

Vázané přílohy:

Příloha č. 1: Výsledné tabulky s přehledem vstupních a výstupních veličin pro sledovaná období

Příloha č. 2: Využití území v povodí Puklického potoka ve sledovaných obdobích

Příloha č. 3: Výsledné hydrogramy pro sledovaná období

Příloha č. 4: Fotodokumentace

Volné přílohy:

CD-ROM obsahující použitá data, výsledné časové řady pro sledovaná období a elektronickou verzi této práce

**Příloha č. 1: Výsledné tabulky s přehledem vstupních a
výstupních veličin pro sledovaná období**

Tab. příloha 1 - výsledný přehled vstupních a výstupních veličin pro rok 1835

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	9,68			[km ²]
F _s	plocha svahu		5,43	4,24	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		8,8	8,5	[%]
g	drsnostní charakteristika		6,85	6,48	[sec]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		76,7	77,6	[...]
L _u	délka údolnice	6,13			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	5,33			[%]
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
VÝSTUPNÍ VELIČINY					
CN _{pr}	přepočtené číslo CN - typ		76,7	77,6	[...]
R _p	potenciální retence povodí		77,3	73,4	[mm]
L _s	průměrná délka svahu		0,89	0,69	[km]
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku		1	0,78	[km]
Výpočtový dešť					
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
H _d	výška deště	80			[mm]
t ₁	doba trvání bezodtokové fáze	22	23	22	[min]
t _{sp}	doba trvání přítoku		97	98	[min]
i _{sp}	intenzita přítoku		0,303	0,314	[mm.min ⁻¹]
H _{sp}	výška přítoku		29,4	30,8	[mm]
t _{sk}	doba koncentrace		121	103	[min]
i _{sk}	intenzita odtoku v době t _{sk}		0,302	0,315	[mm.min ⁻¹]
H _{so}	výška odtoku		29,4	30,8	[mm]
max i _{so}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,195	0,283	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	33,2	14,2	19	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	290	160	131	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	98	97	98	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	613	613	309	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	711	710	407	[min]

zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0 na základě vlastních hodnot

Tab. příloha 2 - výsledný přehled vstupních a výstupních veličin pro rok 1949

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	9,68			[km ²]
F _s	plocha svahu		5,43	4,24	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		8,8	8,5	[%]
g	drsnostní charakteristika		6,78	6,54	[sec]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		77,3	77,2	[...]
L _u	délka údolnice	6,13			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	5,33			[%]
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
VÝSTUPNÍ VELIČINY					
CN _{pr}	přepočtené číslo CN - typ		77,3	77,2	[...]
R _p	potenciální retence povodí		74,5	74,9	[mm]
L _s	průměrná délka svahu		0,89	0,69	[km]
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku		1	0,78	[km]
Výpočtový dešť					
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
H _d	výška deště	80			[mm]
t ₁	doba trvání bezodtokové fáze	22	22	22	[min]
t _{sp}	doba trvání přítoku		98	98	[min]
i _{sp}	intenzita přítoku		0,31	0,308	[mm.min ⁻¹]
H _{sp}	výška přítoku		30,4	30,2	[mm]
t _{sk}	doba koncentrace		119	105	[min]
i _{sk}	intenzita odtoku v době t _{sk}		0,309	0,306	[mm.min ⁻¹]
H _{so}	výška odtoku		30,4	30,2	[mm]
max i _{so}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,211	0,271	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	33,6	15,8	17,9	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	293	165	128	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	98	98	98	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	556	556	327	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	654	654	425	[min]

zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0 na základě vlastních hodnot

Tab. příloha 3 - výsledný přehled vstupních a výstupních veličin pro rok 1980

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	9,68			[km ²]
F _s	plocha svahu		5,43	4,24	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		8,8	8,5	[%]
g	drsnostní charakteristika		6,8	6,42	[sec]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		76,7	77,2	[...]
L _u	délka údolnice	6,13			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	5,33			[%]
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
VÝSTUPNÍ VELIČINY					
CN _{pr}	přepočtené číslo CN - typ		76,7	77,2	[...]
R _p	potenciální retence povodí		77,2	75,2	[mm]
L _s	průměrná délka svahu		0,89	0,69	[km]
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku		1	0,78	[km]
Výpočtový déšť					
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
H _d	výška deště	80			[mm]
t ₁	doba trvání bezodtokové fáze	23	23	23	[min]
t _{sp}	doba trvání přítoku		97	97	[min]
i _{sp}	intenzita přítoku		0,303	0,311	[mm.min ⁻¹]
H _{sp}	výška přítoku		29,4	30,1	[mm]
t _{sk}	doba koncentrace		120	103	[min]
i _{sk}	intenzita odtoku v době t _{sk}		0,305	0,312	[mm.min ⁻¹]
H _{so}	výška odtoku		29,4	30,1	[mm]
max i _{so}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,197	0,274	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	32,7	14,5	18,2	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	288	160	128	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	97	97	97	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	599	599	318	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	696	696	415	[min]

zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0 na základě vlastních hodnot

Tab. příloha 4 - výsledný přehled vstupních a výstupních veličin pro rok 2012

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	9,68			[km ²]
F _s	plocha svahu		5,43	4,24	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		8,8	8,5	[%]
g	drsnostní charakteristika		6,83	6,54	[sec]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	2	[...]
CN	číslo odtokové křivky		76,3	76,1	[...]
L _u	délka údolnice	6,13			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	5,33			[%]
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
VÝSTUPNÍ VELIČINY					
CN _{pr}	přepočtené číslo CN - typ		76,3	76,1	[...]
R _p	potenciální retence povodí		78,9	79,9	[mm]
L _s	průměrná délka svahu		0,89	0,69	[km]
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku		1	0,78	[km]
Výpočtový dešť					
t _d	doba trvání deště	120			[min]
i _d	intenzita deště	0,667			[mm.min ⁻¹]
H _d	výška deště	80			[mm]
t _l	doba trvání bezodtokové fáze	24	24	24	[min]
t _{sp}	doba trvání přítoku		96	96	[min]
i _{sp}	intenzita přítoku		0,3	0,297	[mm.min ⁻¹]
H _{sp}	výška přítoku		28,8	28,5	[mm]
t _{sk}	doba koncentrace		121	107	[min]
i _{sk}	intenzita odtoku v době t _{sk}		0,301	0,295	[mm.min ⁻¹]
H _{so}	výška odtoku		28,8	28,5	[mm]
max i _{so}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,189	0,24	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	28,8	13,6	15,3	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	278	157	121	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	96	96	96	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	637	637	374	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	733	733	470	[min]

zdroj: model DesQ-MAX Q6.0 na základě vlastních hodnot

**Příloha č. 2: Využití území v povodí Puklického potoka
ve sledovaných obdobích**



Obr. příloha 1 - využití území v povodí Puklického potoka v roce 1835; zdroj: vlastní práce v ArcGIS 9.3



Obr. příloha 2 - využití území v povodí Puklického potoka v roce 1949; zdroj: vlastní práce v ArcGIS 9.3

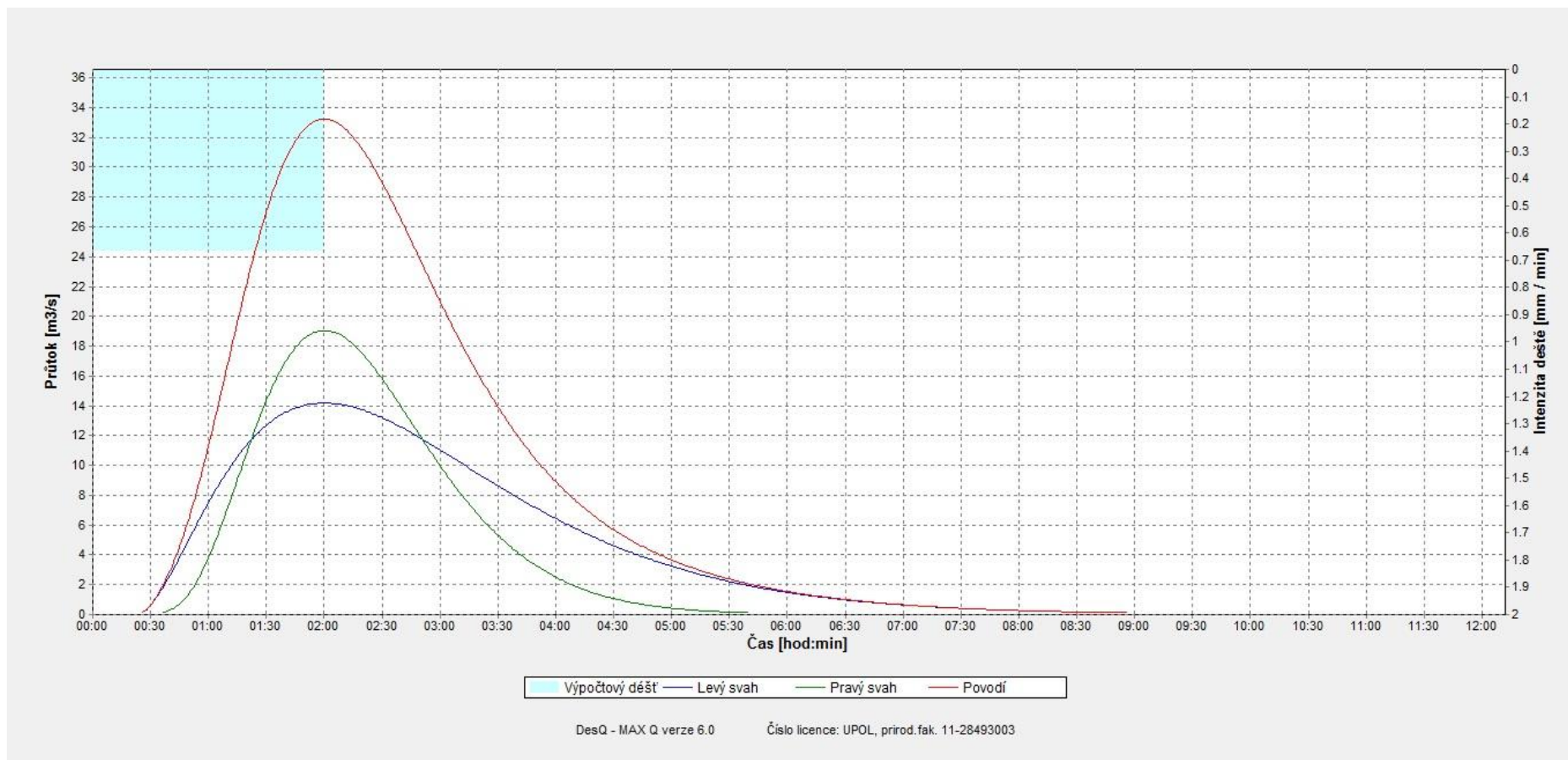


Obr. příloha 3 - využití území v povodí Puklického potoka v roce 1980; zdroj: vlastní práce v ArcGIS 9.3

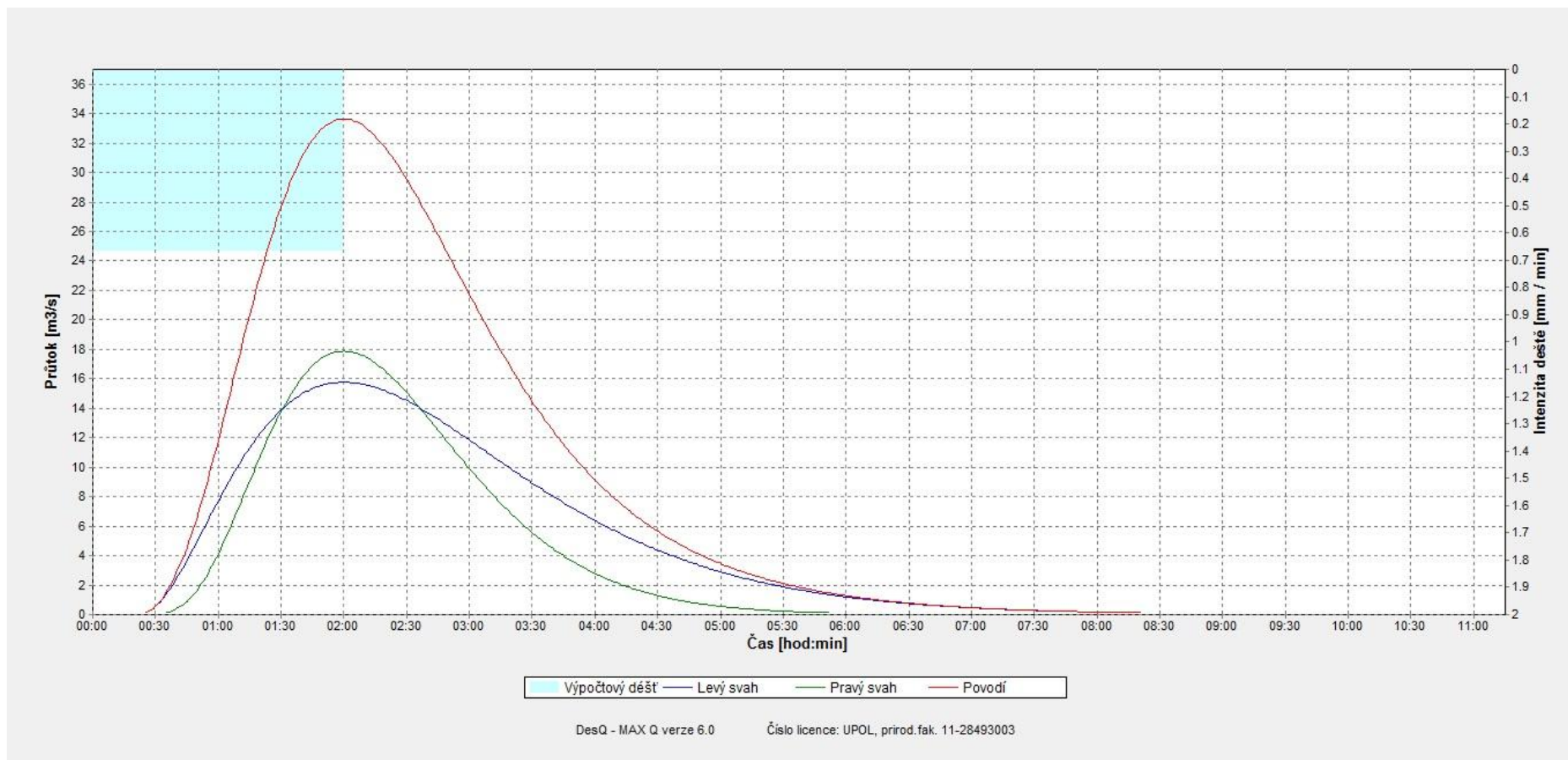


Obr. příloha 4 - využití území v povodí Puklického potoka v roce 2012; zdroj: vlastní práce v ArcGIS 9.3

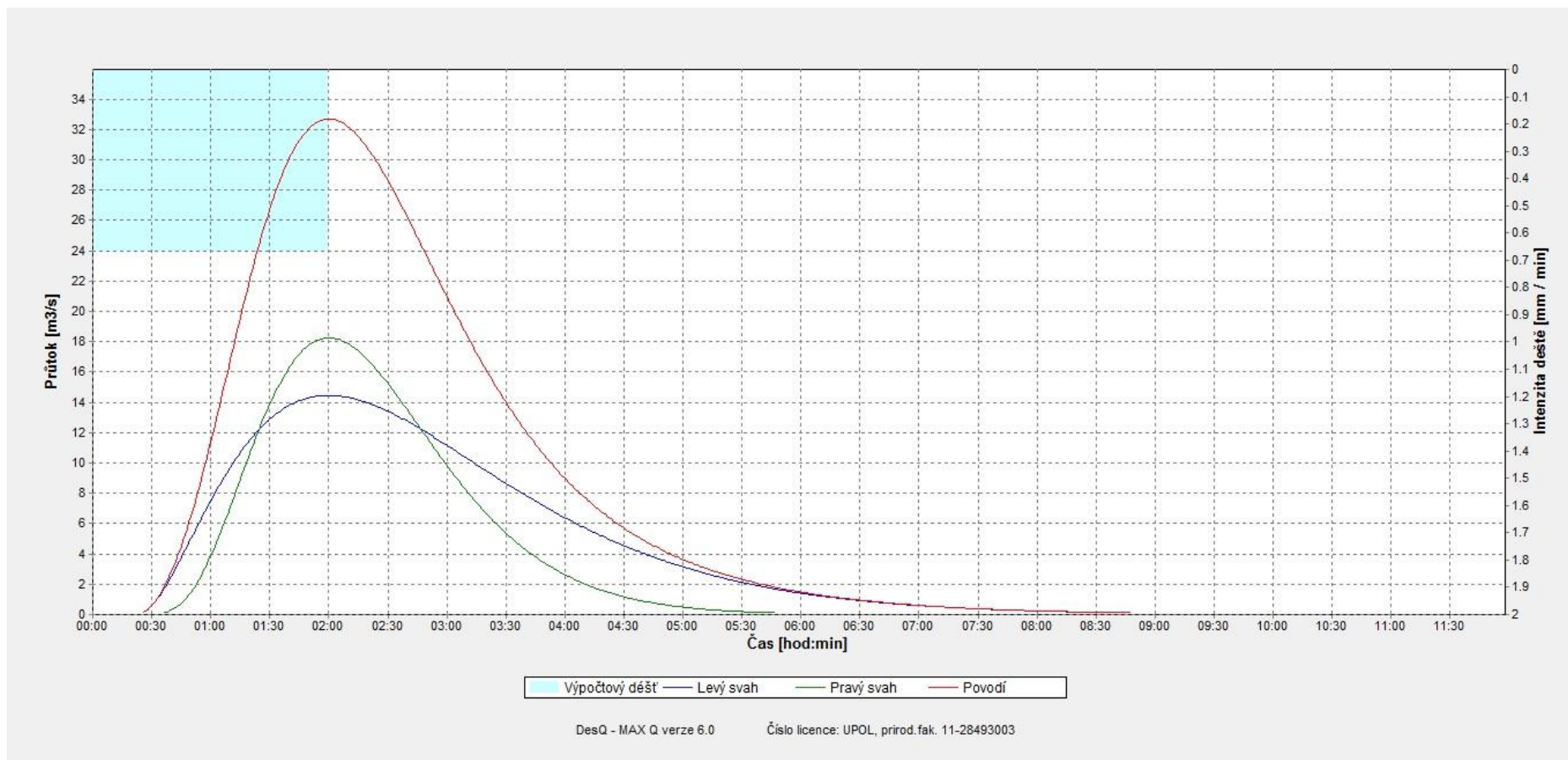
**Příloha č. 3: Výsledné hydrogramy pro sledovaná
období**



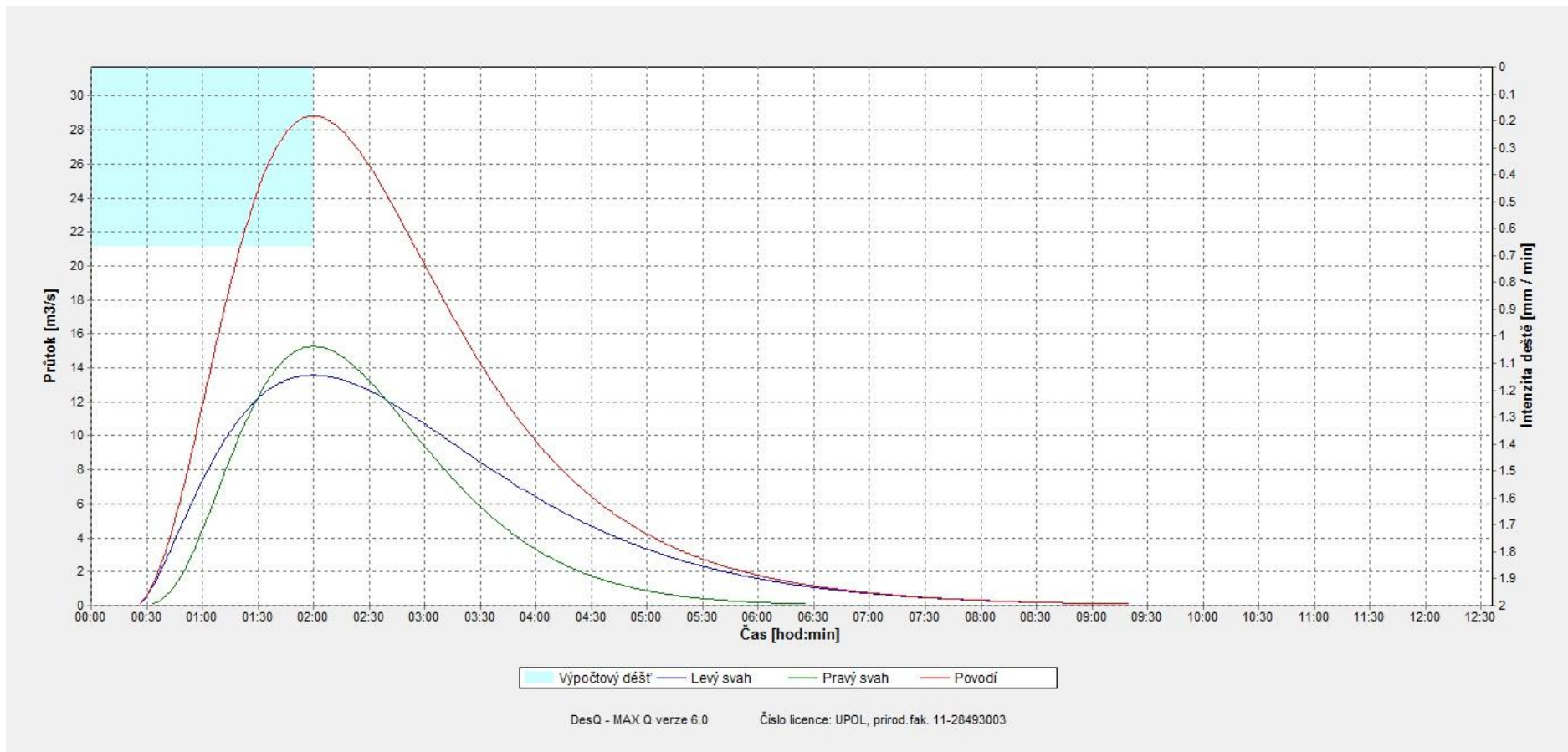
Obr. příloha 5 - výsledný hydrogram pro rok 1835; zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0



Obr. příloha 6 - výsledný hydrogram pro rok 1949; zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0



Obr. příloha 7 - výsledný hydrogram pro rok 1980; zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0



Obr. příloha 8 - výsledný hydrogram pro rok 2012; zdroj: model DesQ-MAX Q 6.0

Příloha č. 4: Fotodokumentace



Obr. 1 - ústí Puklického potoka do Jihlavy; zdroj: vlastní foto



Obr. 2 - vodní nádrž Přehrada nad sídlem Puklice; zdroj: vlastní foto



Obr. 3 - Puklický potok protékající územím s nejvyšším sklonem; zdroj: vlastní foto



Obr. 4 - Puklický potok protékající sídlem Puklice; zdroj: vlastní foto



Obr. 5 - pohled na zámek v Puklicích při povodni; zdroj: rajce.idnes.cz¹



Obr. 6 - pohled na zámek v Puklicích mimo povodeň; zdroj: vlastní foto



Obr. 7 - pohled na ulici podél Puklického potoka v Puklicích při povodni; zdroj: rajce.idnes.cz¹



Obr. 8 - pohled na ulici podél Puklického potoka v Puklicích mimo povodeň; zdroj: vlastní foto



Obr. 9 - pohled na Hostinec U Lojzy v Puklicích při povodni; zdroj: rajce.idnes.cz¹



Obr. 10 - pohled na Hostinec U Lojzy v Puklicích mimo povodeň; zdroj: vlastní foto

¹ dostupné na: http://puklice-2010.rajce.idnes.cz/Povodne_Puklice_24.8._2011/