

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování



Hydrotechnické posouzení vodního toku Strženecký potok
a vodohospodářských objektů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce : Ing. Radek Roub Ph.D.

Vypracoval : Bc. Pavel Zeman

2014

Prohlášení

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci na téma „*Hydrotechnické posouzení vodního toku Strženecký potok a vodohospodářských objektů*“ jsem zpracoval samostatně pod vedením Ing. Radka Rouba Ph.D. Potřebné údaje jsem čerpal z portálu ČÚZK, z vlastního měření a dalších literárních pramenů. Veškeré literární prameny jsou uvedeny. Dále souhlasím se zveřejněním této práce na webových stránkách FŽP.

V Praze dne :

Vypracoval : Bc. Pavel Zeman

.....

.....

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Radku Roubovi Ph.D. za trpělivost, čas a rady, které mi věnoval v průběhu zhotovování mé diplomové práce.

V Praze dne :

Vypracoval : Bc. Pavel Zeman

.....

.....

Abstrakt

Práce se zaměřuje na vyhodnocení a následné použití údajů získaných z mé bakalářské práce, z údajů odměřených v terénu a podrobných map.

V úvodní části jsou podrobně popsány a rozčleněny jednotlivé hydrologické modely. Členěny jsou jak podle způsobu zadávání a následného vypočítávání dat, tak i podle jednotlivých autorů zabývajících se danou problematikou.

Pro další postup v práci bylo nutné vypracovat jednotlivé příčné profily se staničením a nadmořskou výškou. Dále pak zakreslit a popsat jednotlivé objekty na toku. Tyto kroky jsou nezbytně nutné pro následné určení zátopových ploch a míst možného vylití toku z koryta.

Práce bude mít přínos pro podrobnou hydrologickou charakteristiku okolí toku. Také poslouží k určení nejvíce ohrožených zemědělských i urbanizovaných území. Měla by přispět k posouzení návrhu objektů na vodním toku a ucelit představu o možném rozlité Strženeckého potoka při různých průtocích.

Klíčová slova :

HEC-RAS, N-letý průtok, záplavové území, povodně, příčný profil, objekt

Abstract

This thesis focuses on the evaluation and subsequent use of data obtained from my thesis, as well as the data measured in the field and gathered from the maps.

The first part contains detailed and organized individual hydrological models. Data is analyzed based on the method of its entry and subsequent calculation, as well as by individual authors dealing with the issue.

For further progress in the work it was necessary to develop individual cross sections and the stationing of altitude. Then draw and describe each object on the stream. These steps are necessary for subsequent determination of flood plains and places of potential spillage flow from the canal.

The work will be beneficial for detailed hydrological characteristics of the flow around. Also serve to identify the most vulnerable agricultural and urbanized areas. It should contribute to correct assessment of building designs in the watercourse and summarize the possible look of the spill Strženeckého stream at different flow rates.

Keywords:

HEC-RAS, objects, N-year flow, flood plains area, flood, transverse profile

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíle práce	10
3. Empirické vzorce charakteristiky povodí	11
3.1 Geometrické charakteristiky	11
3.2 Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí	13
3.2.1 Zeměpisná poloha	13
3.2.2 Orografické poměry v povodí	13
3.3 Geologické a půdní poměry.....	15
3.4 Vegetační kryt povodí.....	15
3.5 Akumulace vody v povrchových depresích.....	16
3.6 Říční síť v povodí	16
4. Odtok.....	17
4.1 Typy odtoku.....	17
4.1.1 Povrchový odtok	17
4.1.2 Podpovrchový odtok (odtok prosakující gravitační vody).....	18
4.1.3 Základní odtok (odtok podzemní vody)	21
5. Hydrologické podklady	22
5.1 Stanovení a vyhodnocení průtoků	22
5.1.1 Přímé měření průtoků	22
5.1.2 Určení průtoků z bodových a průřezových rychlostí	23
5.1.3 Chemický způsob měření průtoků.....	25
6. Odvození hydrologických charakteristik	26
6.1 Empirické vzorce	26
6.1.1 Vzorce intenzitního typu (racionální)	27
6.1.2 Vzorce oblastní (regionální)	28
6.1.3 Vzorce objemové	29
6.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN)	34
6.3 Metoda jednotkového hydrogramu (Unit Hydrograph)	41

6.4 Hydrologické modely	42
6.4.1 Popis vybraných modelů	49
6. Metodika	55
6.1 Charakteristika vodního toku a povodí	55
6.2 Odvození vstupních parametrů	55
6.3 Sestavení modelu Hec-Ras	58
6.3.1 Schematizace říční sítě	59
6.3.2 Vytváření příčných profilů	60
6.3.3 Návrh objektů	61
6.3.4 Návrh okrajových podmínek	62
6.3.5 Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění	63
6.3.6 Prezentace výsledků hydrologického modelu HEC-RAS	63
6.3.7 Export dat z HEC-RAS do ArcGIS	65
6.3.8 Výsledky hydrotechnického posouzení	67
7. Charakteristika povodí a vodního toku	68
7.1 Geometrické charakteristiky	71
7.2 Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí	74
Zeměpisná poloha	74
Orografické poměry	74
7.3 Geologické a půdní poměry	77
7.4 Krajinový pokryv řešeného území	77
7.5 Říční síť v povodí	77
8. Odvození hydrologických charakteristik	78
8.1. Empirické vzorce	78
8.1.1 Vzorce intenzitního typu (racionální)	78
8.1.2 Vzorce oblastní (regionální)	80
8.1.3 Vzorce objemové	81
8.2 Hydrologický model DesQ - MaxQ	83
9. Výsledky	84

10. Diskuze.....	85
11. Závěr	87
12. Přehled literatury a použitých zdrojů	88
Seznam obrázků.....	95
Seznam tabulek.....	96
Seznam příloh	97
Přílohy	98

1. Úvod

Hydrologickou studii zadaného povodí, ze které budu čerpat některá data lze také použít jako podrobnou hydrologickou charakteristiku oblasti v okolí obce Strženec. Můžeme z ní například zjistit množství spadlých srážek, druh a plošné zastoupení vegetace či typ zemin, které se v dané oblasti vyskytují. Jedním z nejdůležitějších údajů je vypočítaný průtok v uzávěrovém profilu. Tento údaj je směrodatný pro navrhování a dimenzování objektů na toku.

Z důvodu malé důležitosti vodního toku Strženecký potok nebyla vypracována studie, která by se zabývala možným vylitím toku z koryta a následnou hrozbou ve smyslu poškození majetku či dokonce ohrožení lidského zdraví.

Tato práce je zaměřena na analýzu jednotlivých objektů. Řeší jejich parametry týkající se hltnosti, tvaru konstrukce a umístění. Pomocí vypočítaného průtoku v korytě, modelu HEC-RAS a soustavy příčných profilů je graficky znázorněno množství míst, která jsou nejvíce ohrožena vylitím vody z koryta toku. Tento údaj poslouží ke zjištění rozlité toku a k vyčíslení množství ohrožených pozemků. Ze získaných informací jsou za pomoci programu ArcGis graficky znázorněny jednotlivé průtoky. Znázornění umožní lepší a přesnější představu o velikosti zasaženého území při jednotlivých průtocích.

2. Cíle práce

- Využití N-letých průtoků
- Podrobné výškové zmapování okolí toku
- Detailní zaměření objektů na toku
- Ověření správnosti navržení objektů
- Grafické znázornění rozlití vody z koryta
- Posouzení ohroženosti pozemků v blízkosti toku

3. Empirické vzorce charakteristiky povodí

Jednotlivé vstupní parametry, které jsou nezbytně nutné pro správnou kalkulaci následných výpočtů.

3.1 Geometrické charakteristiky

Povodí

Jedná se o základní hydrologickou oblast zkoumající odtokový proces a zjišťující vzájemné vztahy bilančních prvků. Z hydrologického hlediska hovoříme o uzavřené oblasti, do které nepřitéká žádná povrchová ani podpovrchová voda. Povodí je ohraničeno tak zvanou *rozvodnicí*. Plocha mezi-povodí se nachází v místě mezi dvěma uzávěrovými profily na toku. Uzávěrový profil povodí je takové místo na toku, kde je soustředěn všechny odtok z povodí (HRÁDEK ET KUŘÍK 2002).

Rozvodnice

Pomyslná linie v terénu spojující většinou nejvyšší místa v okolí toku. Tvoří hranici mezi povodími a ohraničuje jednotlivá povodí. Délku rozvodnice značíme písmenem **O** a používá se v dalších výpočtech. Rozděluje se na orografickou a hydrologickou rozvodnici. Orografická vymezuje povodí povrchových vod, určuje se pomocí terénních map. Nejčastěji prochází vrcholovými partiemi terénních útvarů (hřbety, sedla, vrcholy). Hydrologická rozvodnice vymezuje povodí podpovrchových vod a určujeme ji podle charakteru a průběhu geologického podloží (DUB 1957).

Údolnice

Spojuje geometricky nejnižší místa v příčných údolních profilech. Vede údolím, kterým zároveň teče hlavní tok. Celková délka údolnice (LU) se zjistí tak, že délku hlavního toku protáhneme stejným údolím až k rozvodnici (DUB 1957).

a) Plocha povodí F

Je plocha půdorysného řezu určitého povodí do vodorovné roviny. Uvádíme ji v km². Vyměřuje se pomocí planimetru z daných map. Při zjišťování plochy pomocí jiného způsobu je nutné tento fakt zdůraznit. Mimo celkové plochy se ještě odměřují levá (FL) a pravá (FP) strana povodí, střed je dán údolnicí. Levé a pravé povodí se posléze využívá k odvození jiných veličin povodí. Zpracováván je také graf vývinu povodí, znázorňující přírůstky ploch ve směru hlavního toku (MIGUEZ ET MAGALHÃES 2010)

b) Střední šířka povodí B

Je odvozena z poměru celkové plochy povodí a délky údolnice měřeného povodí (ZAPLETAL 2005).

$$1) \quad B = \frac{F}{Lu}$$

c) Součinitel tvaru povodí

Vypočítá se z poměru střední šířky povodí (B) a délky údolnice (Lu). Určuje se ve zjednodušeném tvaru povodí jako obdélník, kde plocha obdélníka znázorňuje celou plochu povodí (F) a strany, střední šířku (B) a délku údolnice (Lu) (ZAPLETAL 2005).

$$2) \quad \alpha = \frac{F}{Lu^2}$$

d) Koeficient tvaru povodí

Určuje vliv tvaru povodí na hodnotu Q_{100} , jenž se odečte z daného grafu v závislosti na součiniteli tvaru povodí, vyjádřeného podílem (DUB 1957).

$$3) \quad \frac{L_u^2}{F}$$

e) Součinitel asymetrie (a)

Vyjadřuje míru asymetrie povodí určenou rozdílem mezi levým a pravým povodím a následného poměru s celkovou plochou daného povodí (DUB 1957).

$$4) \quad a = \frac{F_L - F_P}{F}$$

f) Graf vývoje povodí

Slouží k přehlednému zobrazení zaústění jednotlivých toků do hlavního a přírůstků ploch povodí jak hlavního toku, tak vedlejších přítoků (KOS ET ŘÍHA 1996).

3.2 Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí

3.2.1 Zeměpisná poloha

Určuje se souřadnicemi a to zeměpisnou délkou a zeměpisnou šířkou, mezi kterými se dané povodí rozkládá. Také se určuje zeměpisná souřadnice uzávěrového profilu povodí. Následně je uvedena plocha povodí k vyznačeným geomorfologickým útvarům, hlavně k pohořím. Tyto informace slouží k předběžnému stanovení základní klimatické charakteristiky povodí (KEMEL 1996).

3.2.2 Orografické poměry v povodí

Jedná se o výškové a sklonové poměry v povodí, které ovlivňují klimatické a meteorologické poměry v povodí. Tyto údaje se odvozují z topografických map. Mezi základní informace patří : nadmořská výška uzavírajícího profilu, kdy se nejčastěji jedná o nejnižší nadmořskou výšku. Oproti tomu nadmořské výšky rozvodnice patří k nejvyšším výškám v povodí, na které můžeme narazit (PALLÓS ET AL. 2011).

3.2.2.1 Výškové poměry povodí

Vyjadřujeme "hypsografickou křivkou", která svým tvarem představuje výškový spád povodí jakožto strmost či rovnost terénu. Tato křivka slouží k určení závislosti mezi zvolenou nadmořskou výškou a plochou povodí, ze které se následně odvozuje průměrná nadmořská výška (H) (ZAPLETAL 2005).

Nadmořské výšky povodí

Průměrná nadmořská výška povodí	H [m.n.m]
Maximální nadmořská výška v povodí	H_{\max} [m.n.m]
Minimální nadmořská výška v povodí	H_{\min} [m.n.m]

Průměrná nadmořská výška povodí (H)

Určuje se z hypsografické křivky, kdy se převede plocha omezená osami souřadnic a hypsografickou křivkou na rovnoplochy obdélník o základně x , odpovídající celkové ploše povodí. Výška obdélníka y slouží k určení průměrné nadmořské výšky povodí na ose souřadnic (ZAPLETAL 2005).

$$5) \quad H = \frac{Fh}{x}$$

F_h – plocha na grafu, vymezená souřadnicovými křivkami a hypsografickou křivkou
 x – celková plocha povodí z grafu

3.2.2.2 Sklonové poměry povodí

Odvození středního sklonu svahů - dle Herbsta:

kde Δh = konstanta

$$6) \quad I_{SV} = \frac{\Delta h \cdot \sum l_{si}}{F} \cdot 100 \quad [\%]$$

Δh – zvolený výškový interval mezi vrstevnicemi [m]

l_{si} - průměrná délka vrstevnic v i-tém intervalu [m]

F - plocha povodí [m²]

Absolutní spád povodí

Určuje rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší zaznamenanou kótou v daném povodí.

$$7) \quad \Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

Průměrný sklon údolnice (I_u)

Významný vztah pro odvození sklonových poměrů převážně pro malé a velmi malé povodí.

$$8) \quad I_u = \frac{H_{\max,u} - H_{\min,u}}{L_u} \cdot 100 \quad [\%]$$

$H_{\max,u}$ – Maximální nadmořská výška údolnice (na rozvodnici) [m.n.m]

$H_{\min,u}$ – Minimální nadmořská výška údolnice (uzavírající profil) [m.n.m]

L_u – Délka údolnice [m]

Podélný profil toku

Vyjadřuje sklonové poměry na toku v průběhu od uzávěrového profilu (0.0) směrem k prameni. Také slouží k orientaci na toku, kdy můžeme dohledat, v jakém místě přitéká daný přítok, či kde se tok rozlévá do vodní plochy nebo podtéká pod silnicí. Každý důležitý objekt či místo na toku jsou označeny pomocí staničení a následně popsána. Z podélného profilu také můžeme vyčíst, kde je na toku největší hloubka nebo kde se tok nejvíce zařezává do terénu (DUB 1957).

3.3 Geologické a půdní poměry

Jedná se o vlastnosti a typy půd, které svými vlastnostmi značně ovlivňují odtok vody z povodí při srážkových úhrnech.

Horniny můžeme rozdělit do tří skupin dle propustnosti:

Propustné horniny - úlomkové sedimenty, pórovité vyvřeliny, eolické sedimenty, rozrušené horniny, rozrušené zkrasovatělé karbonitické horniny, atd.

Polopropustné horniny - pískovce, hlinité písky, spraše, rašeliny, slepence, atd.

Nepropustné horniny (celistvé nerozrušené horniny) - nerozrušené vápence, znělce, čediče, žuly, porfyry, jíly, slíny (KUTÍLEK ET AL 2004).

3.4 Vegetační kryt povodí

Jde o značně důležitý prvek povodí se schopností zadržovat určité množství srážek (intercepci). Značně ovlivňuje výpar (evapotranspiraci) a podle charakteru zeleně i rychlost a množství odtékající vody ze svahů (povrchový odtok). Vegetačním krytem můžeme označovat různé složky zeleně, jakož jsou lesy, pole, louky (HOLÝ 1994).

3.5 Akumulace vody v povrchových depresích

Přirozenou akumulaci vody můžeme sledovat v mikrodepresích (prohlubně, brázdy), dále pak v jezerech či nádržích, mokřadech a v lužních lesích. Tento typ prostor poměrně významně ovlivňuje hydrologickou bilanci povodí tak, že kladně upravuje velikost a rychlost povrchového odtoku (ZAPLETAL 2005).

Výskyt povrchových depresí je v různých objemech. V průběhu srážek se zde postupně zachytává voda, která se po ustání deště začíná postupně uvolňovat výparem, či průsakem do okolní půdy, případně do přilehlých vodních toků. Převážně mikrodeprese jsou výsledkem antropogenní činnosti a to kupříkladu zemědělskou orbou, při které vznikají brázdy. Z tohoto důvodu je směr orby velice důležitý pro vytváření depresí a zamezení přímému odtoku ze svahů a tím i unášení materiálu a živin. Správný směr orby je po vrstevnici, kdy dojde k rozdělení svahu do kratších úseků a tím tak zamezení či zmírnění soustředěného odtoku ze svahu, při kterém často dochází k vytváření velkých rýh a odplavení zeminy ze svahu (HOUBEN 2008).

3.6 Říční síť v povodí

řád toku: Určuje, kolika řekami proteče voda z daného toku před vyústěním do moře;

číslo hydrologického pořadí: Též hydrologické číslo, je identifikací jednotlivých vodních toků podle příslušností k danému úmoří;

hlavní tok: Název řešeného toku;

levostranné přítoky: Jejich určení a stručný popis;

pravostranný přítok: Jeho určení a stručný popis.

(HRÁDEK ET KUŘÍK 2002)

4. Odtok

Zjišťování maximálního odtoku vody z povodí

K určování maximálních průtoků slouží hydrometrické pozorování, které při nedostatku naměřených údajů můžeme nahradit zvolením nepřímých metod, mezi které patří metoda jednotkového hydrografu, hydrologické modely, empirické vzorce či metoda CN křivek (HRÁDEK ET AL 1988).

4.1 Typy odtoku

Vyskytují se tři varianty, jak se voda z povodí může dostat do uzávěrového profilu. Jsou to: povrchový odtok, podpovrchový odtok a odtok podzemní vody.

4.1.1 Povrchový odtok

Znamená gravitační pohyb vody po povrchu svahu či soustředěný odtok říční sítí směrem k uzávěrovému profilu povodí. Povrchový odtok můžeme rozdělit do tří fází:

1. Fáze nasycení půdy

Při této fázi ještě nedochází k povrchovému odtoku, intenzita deště je zatím nižší než infiltrační schopnost půdy. Dochází tedy k úplnému zadržení dešťové vody odtokovou plochou, kde je voda zadržována infiltrací, intercepací a akumulací vody v povrchových depresích.

2. Fáze plošného odtoku

Překročí-li intenzita deště infiltrační schopnost půdy a schopnost povrchu zadržovat vodu ve vegetačním pokryvu a v nerovnostech v terénu, voda začne pozvolna vlivem gravitace odtékat. Nejprve voda odtéká v plošné slabé vrstvě či v malých stružkách ve směru největšího sklonu svahu. Tento proces je z hlediska hydrodynamiky velice složitý a je nejvíce ovlivňován geometrickými charakteristikami povodí. Je však nezbytné, ještě vzít v úvahu charakter povrchu, půdní poměry, hydrologickou síť a charakter dešťového úhrnu.

3. Fáze soustředěného odtoku

Při této fázi se mimo povrchového odtoku musí brát v úvahu i odtok podpovrchový neboli odtok podzemní. Rozdíl mezi množstvím odtoku povrchového

a celkového množství odtoku vody je závislý na počátečním stádiu nasycení půdy, její propustnosti a charakteru dešťového úhrnu (DUB 1957).

4.1.2 Podpovrchový odtok (odtok prosakující gravitační vody)

Vyjadřuje množství infiltrovaných srážek, které nemají vliv na zvýšení půdní vlhkosti. Proudí gravitačně půdním profilem směrem k uzávěrovému profilu daného povodí. Voda, která prosákne vlivem gravitace a propustností půdy, nedosáhne hladiny podzemní vody. Množství podpovrchového odtoku a vliv na vodní bilanci jsou spojeny s charakterem deště, půdy a uložení vodonosných horizontů. Zaujímá značnou část povrchového odtoku a mnohdy se uvádí společně s povrchovým odtokem (DIETRICH ET SCHÖNIGER 2008).

Typy činitelů působících na intenzitu povrchového odtoku můžeme dělit do tří skupin a to na: **klimatické činitele, geografické činitele a technické zásahy.**

Klimatické činitele

Mají zásadní význam v procesu povrchového odtoku.

Mezi nejdůležitější můžeme uvést:

Teplota vzduchu - značně ovlivňována druhem povrchu, který je působením krátkovlnného záření a intenzitou slunečního záření ohříván, což má za následek oteplení vzduchu nad ním. Tento jev výrazně ovlivňuje evapotranspiraci a výpar z volné hladiny, čímž má například velký význam při jarním tání.

Srážky - patří mezi další přímo působící činitele ovlivňující povrchový a podpovrchový odtok. Následkem ochlazení teploty vzduchu pod rosný bod začne docházet ke kondenzaci vodních par a voda začne přecházet z plynného skupenství na kapalné až pevné a začne v podobě srážek padat na zem. Srážky lze podle místa vzniku dělit na **horizontální** (mlha, rosa, jinovatka, námraza) a **vertikální** (déšť, sníh, mrholení, kroupy) (Kravka et al. 2009).

Periodicita deště (P) - popisuje déšť o určité vydatnosti a určuje, jak často se vyskytuje déšť o určité nebo větší intenzitě. Například periodicita 1 udává, že takový nebo intenzivnější déšť se vyskytne průměrně jednou do roka. Déšť, který se vyskytuje jednou za 10 let má tedy periodicitu 0.1.

$$9) \quad P = n / R$$

n – počet dešťů o určité vydatnosti

R – doba v letech, za kterou se deště vyskytly

Periodicita, intenzita a doba trvání deště spolu do jisté míry souvisí. Lze tedy říci, že čím vydatnější dešť o určité době trvání, tím menší periodicita. Související hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. č. 1 Průměrné vydatnosti deště v [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$] v ČR

Doba trvání [min]	periodicita deště p									
	5	2	1	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01	0,005
5	122	180	231	285	364	425	488	570	532	694
10	76,7	120	157	199	262	313	367	440	496	550
15	57,8	91,7	121	155	206	248	292	354	400	447
20	46,3	74,6	99,4	128	170	206	245	297	337	377
30	33,4	53,9	72,6	94,3	127	154	184	225	256	288
40	26,3	43	57,8	75,5	102	125	149	182	208	233
60	18,7	30,7	41,8	54,3	74,2	90,7	108	133	152	171
90	13,3	21,9	28,7	39,9	53,4	65,3	78,1	96,2	110	124
120	10,4	17,2	23,4	30,7	42,2	51,8	61,8	76,3	87,3	98,3

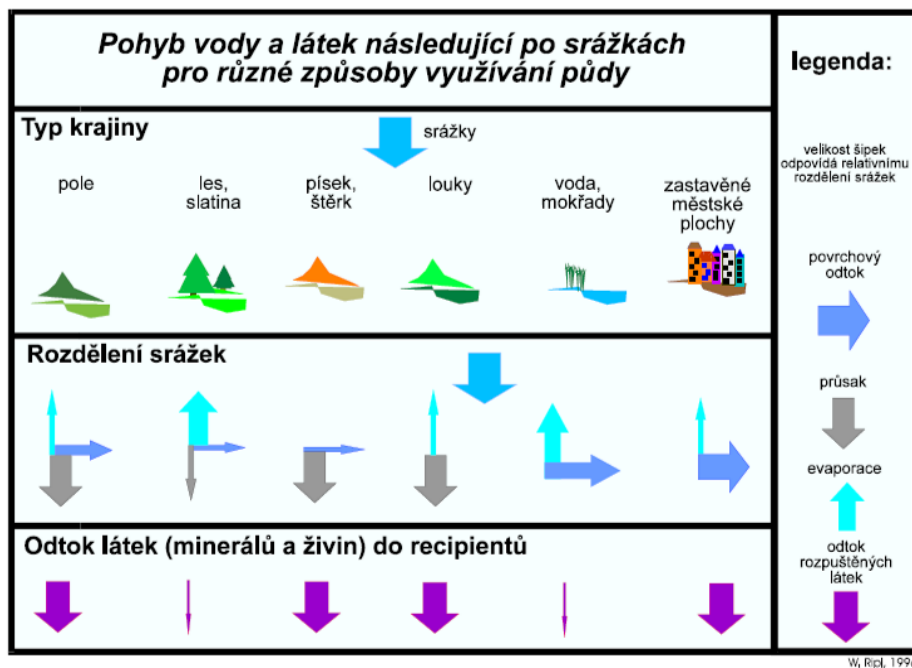
(BUMERL 2003)

Časové rozdělení srážek na našem území - v našich podmínkách připadá největší pravděpodobnost výskytu srážek na ranní a odpolední hodiny, v noci a před polednem jsou srážky méně pravděpodobné. Každoroční perioda srážek reprezentovaná průměrným úhrnem v jednotlivých měsících souvisí s pravidelným střídáním ročních období. Množství srážek během roku je rozděleno poměrně nerovnoměrně do jednotlivých období. Nejvíce srážek se vyskytuje v létě (cca 40%), nejméně připadá na zimu, kde se množství liší podle nadmořské výšky (15% nížiny, 25% vyšší nadmořské výšky). Na jaře a na podzim spadne zhruba kolem 25% ročního úhrnu. Nejdeštivější měsíce jsou červen a červenec, nejsušší pak únor a březen. Množství srážek spadlých během roku je charakteristické pro všechny oblasti světa, je závislé na zeměpisné poloze a dalších faktorech. Například v rovníkovém pásmu (0-10°) jsou maximální hodnoty spadlých srážek uváděny na duben a listopad, minimální srážky jsou zase v lednu a červenci. V přímořských oblastech je charakteristické rovnoměrné rozložení srážek v průběhu celého roku. Pro monzunové oblasti a oblasti pevnin v mírných šířkách je charakteristická vysoká intenzita v letním období a nízká v zimním období. Oproti tomu v subtropích jsou deštivé zimy a suchá léta (BUMERL 2003).

Geografické činitele

Určují charakter daného povodí, ovlivňující povrchový odtok. Patří mezi ně například orografické poměry povodí, sklonové poměry, vegetační kryt, geologické a půdní poměry (BUMERL 2003).

Obr. č. 1 Pohyb vody a látek



(RIPL ET AL. 1996)

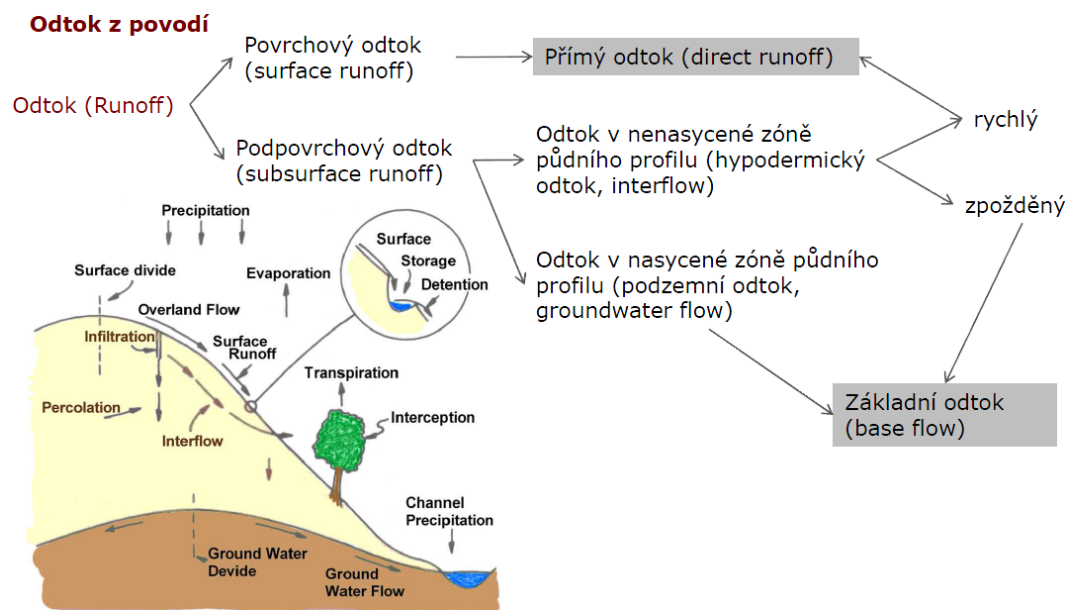
Technické zásahy v povodí

neboli antropogenní činnost v povodí znamená přetváření původního krajinného rázu přírody lidskou činností, což mnohdy značně ovlivňuje důležité vlastnosti povodí, jakož jsou: půdní poměry, tvar povodí, vegetační kryt, akumulace vody (HOUBEN 2008).

4.1.3 Základní odtok (odtok podzemní vody)

Jedná se o proudění podzemní vody ve směru sklonu nepropustného podloží. Rychlost proudění je závislá na charakteru půdního a horninového prostředí a také na vydatnosti a poloze zdroje podzemní vody. Voda ze srážek, která se infiltuje do podzemních vod se dostává do hlavního přítoku se značným opožděním oproti vodě tekoucí v povrchovém odtoku (DIETRICH AT SCHÖNIGER 2008).

Obr. č. 2 Schéma srážko-odtokového procesu



(DIETRICH ET SCHÖNIGER 2008)

5. Hydrologické podklady

Základní zdroj pro získávání hydrologických dat je v takzvaných hydrologických údajích definovaných českou technickou normou ČSN 75 1400 s názvem: „Hydrologické údaje povrchových vod“. Tato data jsou poskytována v Českém hydrometeorologickém ústavu. Nejdůležitějšími údaji z těchto podkladů jsou N-leté průtoky, nejčastěji s periodou opakování 5, 20, 100 a 500 let, které byly naměřeny na horním a dolním profilu řešeného vodního toku a také v místech významných změn průtoků (ČSN 75 1400, 1997; DRBAL ET AL. 2009).

U modelů je také nutné stanovení návrhového a kontrolního průtoku, jedná-li se například o hydrotechnické posuzování mostních objektů, které je v souladu s ČSN 73 6201 (BALVÍN ET AL. 2006).

5.1 Stanovení a vyhodnocení průtoků

Průtok je možno stanovit více způsoby, mezi něž patří: **přímé měření, měření bodových a průřezových rychlostí, chemické metody, metody známe z hydrauliky a empirické vzorce** (POKORNÁ ET ZÁBRANSKÁ 2008).

5.1.1 Přímé měření průtoků

Způsob tohoto typu je používán pro určování malých průtoků nebo zjišťování vydatnosti malých pramenů. K tomuto měření se používají měrné nádoby nebo automaticky sklopné nádoby, pomocí nichž můžeme měření provádět nepřetržitě. Velikost měrných nádob se určuje podle velikosti průtoků. Při tomto způsobu je měření založeno na době trvání naplnění nádoby o známém objemu. Výsledné Q vychází ze vztahu:

$$10) \quad Q = \frac{V}{t}$$

V - objem vody

t - čas

Jedná se tedy o metodu objemovou. Měření je prováděno minimálně třikrát a naměřené hodnoty se poté zprůměrují do výsledné hodnoty. Metoda se vyznačuje poměrně velkou přesností a její využití je doporučeno pro průtoky $0.01 - 30 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$ (KEMEL 1994; JENČÍK 2002; BUMERL 2003).

5.1.2 Určení průtoků z bodových a průřezových rychlostí

Odvození průtoků pomocí bodových a průřezových rychlostí je využíváno v případech, kdy průtok nelze z důvodu nedostatku spádu či velikosti průtoků zaměřit přímo. Prvním krokem je měření místní rychlosti, kdy by mělo dojít k dostatečně podrobnému měření na různých místech v profilu toku. Na základě dat z této sítě bodů je následně počítán průtok. Pro měření místní rychlosti se využívá několik metod, mezi které patří například měření pomocí hydrometrické vrtule, Pitotovy trubice či plováků. Pitotova trubice je ale více používaná spíše v laboratorních podmínkách (BOITEN 2000).

Měření průtoků pomocí hydrometrické vrtule

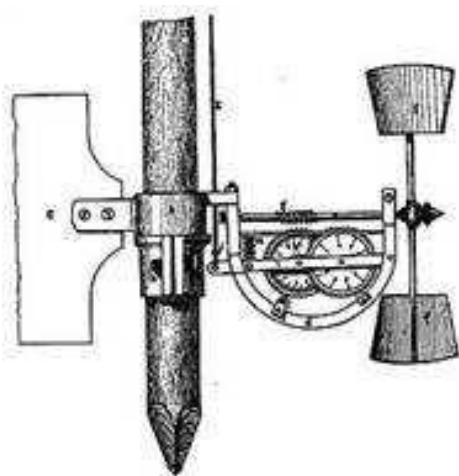
Tento typ měření patří v současnosti mezi nejpoužívanější. První hydrometrickou vrtuli navrhl již v roce 1787 Reinhart Woltmann, po němž je také pojmenována (Woltmanova vrtule).

Vrtule lze klasifikovat podle jejich os na:

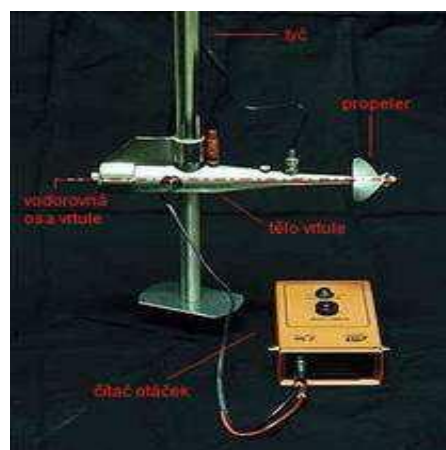
- **hydrometrické vrtule**, mající osu vodorovnou (touto osou disponuje právě Woltmannova vrtule)
- **vrtule s osou svislou** (například vrtule Priceova).

Vrtule lze také dělit podle velikosti jejich konstrukce na malé, střední a těžké. Volba je odvozena z hloubky vody a rychlosti proudu. Podle upevnění mechanismu hovoříme o vrtulích na tyči, na laně a univerzálních (BOITEN 2000).

Obr. č. 3 Původní Woltmannova vrtule



Obr. č. 4 Schéma hydrometrické vrtule



ZDROJ: VÚV TGM, 2012

Nejčastěji používaným typem v Evropě je vrtule s vodorovnou osou. V USA používají pro měření převážně vrtuli se svislou osou (POKORNÁ ET ZÁBRANSKÁ 2008) Části ze kterých se hydrometrická vrtule s vodorovnou osou skládá jsou: propelar, tělo vrtule, tyč a čítač otáček (viz obr. 4).

Princip měření je založen na energii tekoucí vody, která otáčí vrtulí takovou rychlostí, jakou kolem ní protéká vodní proud. Rychlost proudu je odvozena z počtu otáček za určitou dobu. Pro určení přesné rychlosti proudu v daném bodě je nutná přesná kalibrace přístroje, kterou zajišťuje VÚV TGM (Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka) v Praze. Dle ČSN ISO 3455 je stanovena kalibrační rovnice po částech lineární funkce:

$$11) \quad v = \alpha_i + \beta_i * n$$

α_i , β_i - kalibrační konstanty vrtule platné v daném rozmezí specifických otáček (n) a lineárních úseků kalibrační rovnice ($i \leq 3$).

α_i - přibližná rychlost proudění při níž se začíná otáčet vrtule

β_i - přibližné stoupání propeleru vrtule

(BUMERL 2003; VÚV TGM, 2012)

Měření průtoku pomocí plováků

Měření tohoto typu je jedním z nejstarších a nejjednodušších způsobů s nepříliš vysokou přesností. Z tohoto důvodu se spíše používá pro orientační měření průtoků na tocích s ustáleným režimem. Tento způsob měření je však někdy jednou z mála použitelných metod (například při zvýšené koncentraci plavenin a splavenin na toku nebo při povodňových stavech). Výhodou je, že jako plovák lze použít širokou škálu předmětů jako například, kus dřeva či polystyrenu nebo láhev. Podmínkou je, že předmět musí být dostatečně zatížen, aby byl ponořen pod vodu a nemohl na něj působit vliv větru (BOITEN 2000).

Princip metody je založen na měření času, za který plovák urazí trasu o známé délce. Základním způsobem měření pomocí plováků je měření povrchové rychlosti v různých místech napříč celé šířce profilu. Dále pak měření maximální povrchové rychlosti a středních svislých rychlostí. Toto měření se provádí hlubinným plovákem nebo integračně vznášeným tělesem. Pro určení rychlosti se provádí minimálně tři měření, která se následně zprůměrní a vypočítá se z nich průměrná povrchová rychlost proudu. Určení průtoku vycházející z maximální povrchové rychlosti je velice nepřesné, měření pomocí hlubinného plováku a integračně vznášeným tělesem má poměrně přesné výsledky (KEMEL 1994).

5.1.3 Chemický způsob měření průtoku

Měří se pomocí látky aplikované do toku. Podle způsobu aplikace dělíme na směšovací, integrační či rychlostní. Při směšovací metodě se rovnoměrně vlévá roztok o známé koncentraci do měřeného toku, kde se ředí úměrně v závislosti na velikosti průtoku. Roztok by neměl být škodlivý ani pro živočichy, ani pro rostliny. Proto se nejčastěji používá NaCl nebo fluorescein. Tímto způsobem se nejčastěji měří průtok na bystřinných tocích, kde je složité stanovení plochy průtočného průřezu. Vyskytují se zde malé hloubky, průtoky a značně turbulentní proudění, které je nutné pro správnost této metody. Postup je takový, že se v horní části toku nalije roztok (např. Mariottovou lahví), v dolní části se následně v pravidelných intervalech odebírají vzorky, které se např. pomocí titrace zpracovávají. Metody integrační a rychlostní jsou založeny na vlití roztoku do toku najednou. Integrační metoda je založena na měření poměrné elektrické vodivosti v závislosti na čase v dolním profilu toku. Tato metoda se používá u toků s průtoky do $5\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$. Metoda rychlostní je zaměřená na vodivost v závislosti na čase. K měření dochází ve dvou profilech s vodnou vzdáleností. U tohoto případu je však nutné znát plochu průtočného průřezu, což u předešlých dvou chemických metod nebylo nutné (POKORNÁ ET ZÁBORSKÁ 2008).

6. Odvození hydrologických charakteristik

Maximální průtok se převážně určuje hydrometrickým pozorováním daného povodí. Je však možné, že nebude k dispozici dostatek naměřených údajů. Poté je nutno přistoupit k odvozování průtoku nepřímými metodami. Patří mezi ně: **empirické vzorce, metoda čísel odtokových křivek (CN), metoda jednotkového hydrogramu, hydrologické modely a regionální regresní analýza**. Pro výběr vhodné metody musíme mít na mysli závislost výpočtu na různých faktorech. Jsou to např. velikost plochy povodí (velmi malá, malá, velká), dostupnost a přesnost podkladů k výpočtům (HRÁDEK ET KUŘÍK 2008).

Do velmi malých a malých povodí se řadí nejčastěji povodí drobných vodních toků s málo rozvinutou říční sítí a místním významem, na kterých jsou maximální průtoky nejčastěji vyvolány přívalovými dešti. Z těchto důvodů se zpravidla kalkuluje s faktem, že při přívalovém dešti zasáhne úhrn celé povodí. Na tomto typu povodí bývá tok zřetelně rozvinut pouze v údolnici. V případě, že údolnice není dostatečně vyvinuta, klesá význam přítoků na tvorbu maximálního odtoku a stoupá význam svahového odtoku (CUNDERLIK AT SIMONOVIC 2004).

Velká povodí už mají hydrologickou síť členitější a do hlavního toku přitékají významné přítoky. Příčinou maximálních průtoků nemusí být výhradně přívalový déšť, je již nepravděpodobné, že by déšť zasáhl celou plochu povodí najednou. Příčinou maximálních průtoků se tedy stávají spíše dlouhotrvající dešťové úhrny s lokálním charakterem, nebo tání sněhu spojené se srážkami. Maximální odtok není již ovlivňován převážně svahovým odtokem. Velký význam má také dobíhání odtoků z dílčích povodí přítoků. A právě z důvodu větší důležitosti a vážnosti velkých povodí se zhotovují hydrometrická měření (DUB 1957).

6.1 Empirické vzorce

Slouží k odvození maximálního odtoku z uzavírajícího profilu. Z důvodu náročnosti výběru nepřímého vzorce, musíme uvažovat s omezujícími předpoklady jeho platnosti (regionální oblast, velikost povodí, charakter povodí).

Vychází se ze tří základních typů empirických vzorců:

- **intenzitní** (racionální)
- **oblastní** (regionální)
- **objemové** (HRÁDEK ET KUŘÍK 2008).

6.1.1 Vzorce intenzitního typu (racionální)

Primárně využívány pro dimenzování stokových sítí (Čížek 1986). Pro přírodní podmínky, konkrétně pro velmi malá povodí musela být odvozena vhodná modifikace vzorce. Vycházela z redukce intenzity přívalového deště na maximální intenzitu odtoku (HRÁDEK 1981).

$$12) \quad Q_n = k \cdot \varphi_n \cdot i_N \cdot F$$

Q_N – maximální N-letý průtok [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]

k – rozměrový součinitel ($k=16,67$) [m]

φ_N – vrcholový součinitel odtoku

i_N – náhradní N-letá intenzita deště pro příslušnou dobu trvání výpočtového deště

t_d – [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

(Ředinová et al. 2009)

Odvození parametrů vzorce

Je založeno na porovnání obecných tvarů objemových a intenzitních vzorců (HRÁDEK 1981).

Vrcholový součinitel odtoku (φ_N)

$$13) \quad \varphi_N = \frac{2 \cdot \varphi}{n_h + 1}$$

φ – objemový součinitel odtoku [-]

n_h – součinitel tvaru hydrogramu

t_d – doba trvání výpočtového deště [min]

t_k – doba koncentrace [hod]

Doba koncentrace t_k

Stanovení t_k pro malá a velmi malá povodí je doporučeno součtem nejdelších dobůhů vody po svahu údolnice.

$$14) \quad t_k = t_{sv} + t_u$$

$$15) \quad t_{sv} = \frac{L_{sv}}{3,6 \cdot v_{sv}}$$

$$16) \quad t_u = \frac{L_u}{3,6 \cdot v_u}$$

L_{sv} – uvažovaná délka svahu [km]

L_u – délka údolnice [km]

v_{sv} – střední rychlost proudění vody po svahu [$m \cdot s^{-1}$]

v_u – střední rychlost proudění vody v údolnici [$m \cdot s^{-1}$]

Objemový součinitel φ

Lze odvodit pomocí metody CN nebo výpočtem.

$$17) \quad \varphi = \frac{H_{s,N} - V_T - R}{H_{s,N}}$$

$H_{s,N}$ – výška výpočtového deště doby trvání t_d a doby opakování N [mm]

V_T – velikost infiltrace za dobu $T = t_d$ [mm]

R – celková retenze povodí [mm]

(HRÁDEK 1981)

6.1.2 Vzorce oblastní (regionální)

$$18) \quad Q_N = A \cdot F^{1-n}$$

$$19) \quad q_N = \frac{Q_N}{F} = A \cdot F^{-n}$$

Q_N – maximální průtok [$m^3 \cdot s^{-1}$]

q_N – maximální specifický průtok [$m^3 \cdot s^{-1} \cdot km^{-2}$]

F – plocha povodí [km^2]

A, n – oblastní parametry [-]

Tvar vzorce upraven pro kategorie malých a velmi malých povodí:

$$20) \quad Q_N = A \cdot (F + c)^{1-n}$$

c – opravný součinitel

Skutečnost vyjádřena oblastními vzorci vyjadřuje fakt, že v lokalitách se stejnými (blízkými) hydrologickými poměry klesají hodnoty maximálního charakteristického průtoku vlivem narůstání ploch povodí dle exponenciální závislosti, viz rovnice 18 (HAVLÍK 2012).

$$21) \quad q_{100} = A \cdot F^{-n} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{km}^{-2}]$$

Odvozené hodnoty parametru **A** pro praktickou aplikaci vzorce, kde (n) je vybráno pro oblasti ČR a SR. Doporučená doba opakování pro platnost parametrů **A** je **N = 100** let. Pro parametr **c** nejsou publikovány žádné spolehlivé podklady. Z tohoto důvodu je použití tohoto parametru pro drobné toky problematické (ŘEDINOVÁ ET AL. 2009).

6.1.3 Vzorce objemové

Slouží k výpočtům maximálních neboli kulminačních průtoků Q_{\max} . Základem odhadu je objem povodňové vlny W_{PV} a tvar hydrogramu. Objem W_{PV} je odvozen redukcí objemu návrhového deště **S** objemovým součinitelem odtoku φ .

$$22) \quad W_{PV} = \varphi \cdot S$$

$$23) \quad \varphi = \frac{S}{W_{PV}}$$

Tvar povodňové vlny je uvažován ve schéma tvaru trojúhelníka.

W_{PV} - objem povodňové vlny [m³]

S – objem návrhového deště

φ – objemový součinitel odtoku [-]

i_N – intenzita přívalového deště

t_d – doba trvání přívalového deště [h]

(Ředinová et al. 2009)

Celková doba trvání povodňové vlny t_c

$$24) \quad t_c = t_v + t_p = (n_h + 1) \cdot t_v$$

t_c – součinitel tvaru hydrogramu

$$25) \quad n_h = \frac{t_p}{t_v}$$

n_h – součinitel tvaru hydrografu

t_p – doba trvání od maximálního průtoku do konce povodňové vlny

t_v – doba trvání od počátečního do maximálního průtoku

(ŘEDINOVÁ ET AL. 2009)

Obecný tvar objemového vzorce

Odvozen ze schematizovaného tvaru PV

$$26) \quad \left(W_{PV} = \frac{t_c \cdot Q_N}{2} \right)$$

$$27) \quad Q_N = k \cdot \frac{2 \cdot W_{PV}}{t_c}$$

k – rozměrový součinitel

$$28) \quad W_{PV} = \varphi \cdot S = \varphi \cdot i_N \cdot t_d$$

$$29) \quad Q_N = k \cdot \frac{2 \cdot \varphi \cdot i_N \cdot t_d}{t_c}$$

Viz rovnice 25 a 26

t_c – celková doba trvání povodňové vlny vyjádřena násobkem t_v

$$30) \quad t_c = (n_h + 1) \cdot t_v$$

(Ředinová et al. 2009)

Objemový vzorec 26 má mnoho tvarů. Odlišnosti jsou v použití různých doplňujících parametrů či metodik pro odvozování hodnot parametrů vzorce. Mezi nejznámější vzorce na našem území patří Sokolovského a Čerkašina (HRÁDEK ET KUŘÍK 2002).

6.1.3.1 Vzorec Sokolovského (1946)

$$31) \quad Q_N = \frac{k \cdot H_{s,N} \cdot \varphi \cdot F}{t_k} \cdot f$$

Q_N – maximální N-letý průtok [m³.s⁻¹]

$H_{s,N}$ – výška výpočtového deště, doby trvání t_d , doby opakování N [mm]

φ – objemový součinitel odtoku [-]

F – plocha povodí [km²]

t_k – doba koncentrace [h]

f – součinitel tvaru povodňové vlny

$f = n_f = 0,6$

k – rozměrový součinitel (0,28)

(ŘEDINOVÁ ET AL. 2009)

Odvození hodnot parametrů vzorce

Doba koncentrace t_k

$$32) \quad t_k = \frac{L}{3,6 \cdot v} \quad [\text{h}]$$

L – délka údolnice [km]

v – průměrná rychlost stékání vody v povodí [m.s⁻¹]

Doba trvání výpočtového deště t_d

$$33) \quad t_d = t_k (t_k + 1)^{-0,20} \quad [\text{h}]$$

(ŘEDINOVÁ ET AL. 2009)

Náhradní intenzita přívalového deště i_N

Je odvozena na dobu trvání výpočtového deště t_d , která se redukuje na maximální jednodenní srážkové úhrny, vzorec dle Němce.

$$34) \quad i_N = \frac{(a \cdot \log t + b) \cdot N^c}{t}$$

i_N – náhradní intenzita přívalového deště pravděpodobností opakování 1 x za N let

a, b, c – parametry pro příslušnou srážkoměrnou stanici [mm.min⁻¹]

t – doba trvání deště [min]

N – pravděpodobnost trvání deště [roky]

Výška výpočtového deště $H_{s,n}$

$$35) \quad H_{s,N} = t_k \cdot i_n \quad [\text{mm}]$$

(HRÁDEK ET KUŘÍK 2002)

Objemový součinitel odtoku φ

Odvozuje se z mapy izolinií (vzorec Čerkašina- 1964) pomocí metod CN, či pomocí výpočtu u kterého je nutné znát velikost infiltrace V_T a celkovou retenci daného povodí.

$$36) \quad Q_N = \frac{k \cdot H_{s,N} \cdot \varphi \cdot F}{t_k} \cdot f$$

Q_N – maximální N – letý průtok [m₃.s⁻¹]

$H_{s,N}$ – výška výpočtového deště, doby trvání t_d , doby opakování N [mm]

φ - Objemový součinitel odtoku [-]

F – plocha povodí [km²]

t_k – doba koncentrace [h]

f – součinitel tvaru povodňové vlny [-]

f = $n_h = 0,6$

k = 0,28 – rozměrový součinitel

6.1.3.2 Vzorec Čerkašina (1963)

Vzorec byl navržen pro oblast Čech a Moravy pro povodí o velikostech do 300km².

$$37) \quad Q_{100} = \frac{24,7 \cdot \varphi \cdot v_s^{\frac{2}{3}} \cdot F}{p \cdot L_u^{\frac{2}{3}}}$$

Q_{100} – maximální průtok s průměrnou dobou opakování 1 x za 100 let [m³.s⁻¹]

φ – objemový součinitel odtoku [-]

v_s – střední rychlost dobíhání vody v povodí [m.s⁻¹]

F – plocha povodí [km²]

p – součinitel vyjadřující vliv tvaru povodí na hodnotu Q_{100} [-]

L_u – délka údolnice [km]

(HAVLÍK 2012)

Stanovení parametrů vzorce

Objemový součinitel odtoku φ

$$38) \quad \varphi = \frac{H_{s,N} - V_T - R}{H_{s,N}}$$

φ - určíme z mapy izolinií, kterou autor sestavil pro celou ČR. viz příloha č. 1

$H_{s,N}$ – výška výpočtového deště doby trvání t_d a doby opakování N [mm]

V_T – velikost infiltrace za dobu t_d [mm]

R – celková retence povodí [mm]

Stanovení hodnoty φ pro malá a velmi malá povodí je doporučeno pomocí metody CN, či pomocí výpočtu pomocí známé úrovně infiltrace V_T a celkové retenci povodí (ŘEDINOVÁ ET AL. 2009).

Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí V_s

Vychází z průměrného sklonu svahů v daném údolí, zalesněnosti povodí a z odečtené hodnoty $V_s^{2/3}$. Malá povodí disponují nižšími průměrnými dobami dobíhání, které jsou odvozeny z tabulky průměrných rychlostí stoku vody v povodí (DUB ET NĚMEC 1969).

6.2 Metoda čísel odtokových křivek (CN)

Metodu CN (Curve Numer Metod) vyvinula služba pro ochranu půd (US Soil Conservation Service _ US SCS) v USA. Metoda slouží k odvozování celkových objemů „přímých odtoků“ a kulminačních průtoků vycházejících z jednotlivých srážek na zemědělsky a lesnicky využívaných povodích. S jistými omezeními lze tuto metodu použít i u urbanizovaných povodí do velikosti okolo 5-10 km²(malá povodí). Pojem povrchový odtok se vztahuje na odtok po povrchu a odtok prosakující gravitační vody, která se nespojila s hladinou podzemní vody (hypodermický odtok). Do přímého odtoku tedy spadá povrchový a část hypodermického odtoku. Pro určení podílů těchto odtoků slouží čísla odvozená právě z CN křivek. Hypodermický odtok, který se započítává společně s povrchovým je ten, který po vsaku naráží na málo propustnou vrstvu a následně opět vyvěrá na povrch (Holý 1994).

Základní vstupní parametr sloužící k výpočtu CN křivek je srážkový úhrn, který se stejnoměrně rozloží na povrch celého povodí. Objem úhrnu je poté pomocí CN křivek transformován na objem odtoku. CN čísla se odvozují podle hydrologických vlastností půd. Jedná se o velikosti nepropustných ploch, intercepci, povrchovou akumulaci, velikost a druh vegetačního krytu (JANEČEK ET AL. 2002).

Teorií jednotkového hydrogramu a dobou koncentrace objemu odtoku přetransformujeme data na kulminační průtok. Objem odtoku bude následně vyjádřen pomocí výšky odtoku H_o ve vztahu k výšce výpočtového deště H_d a pomocí odtokových křivek CN=20 až CN=100 (Holý 1994).

Využitím metody CN křivek v praxi je například návrh a posouzení technických protierozních opatření, mezi které patří například dráhy soustředěného odtoku (zatravněné údolnice, záchytné příkopy, průlehy, vsakovací pásy či malé vodní nádrže). Tato metoda však nemůže sloužit k výpočtům odtoků z tání sněhu.

Metoda vychází ze vztahu:

$$39) \quad \frac{H_o}{H_d} = \frac{R_a}{R_p}$$

H_o – výška přímého odtoku	[mm]
H_d – výška výpočtového deště	[mm]
R_a – aktuální retence povodí	[mm]
R_p – potenciální retence povodí	[mm]

Výšku výpočtového deště H_d uvádíme jako maximální jednodenní výšku deště $H_{1d,N}$ dané periodicity neboli doby opakování. Aktuální retencí povodí R_a je vyjádřeno množství vody akumulované v povrchových mikrodepresích na povrchu. Potenciální retencí povodí R_p je vyjádřeno maximální možné množství vody, které může být zadrženo retencí daného povodí.

CN metody zohledňují retenční závislost povodí na:

- počátečním stavu nasycenosti půdy
- hydrologických vlastnostech půd (infiltrační schopnosti, aj.)
- hydrologických podmínkách (vliv vegetačního krytu na infiltraci)
- způsobu využití půdy (zastavěné a zpevněné plochy, způsob obdělávání půdy, druh zemědělských plodin pěstovaných na ploše povodí, druh a typ porostu)

Výpočet výšky odtoku H_0

$$40) \quad H_0 = \frac{(H_d - R_1)^2}{H_d + R_p - R_1}$$

H_0 – výška přímého odtoku	[mm]
H_d – výška výpočtového deště	[mm]
R_p – potenciální retence povodí (nejvyšší možná retence daného území)	[mm]
R_1 – retence povodí v bezodtokové fázi	[mm]

Potenciální retence povodí R_p

$$41) \quad R_p = 25,4 \cdot \left[\frac{1000}{CN} - 10 \right]$$

CN - číslo odtokové křivky

Retence povodí v bezodtokové fázi R_1

$$42) \quad R_1 = 0,20 \cdot R_p$$

Stanovení objemu přímého odtoku O_{pH}

Na území České republiky lze pro odhad objemu přímého odtoku využít N-leté jednodenní srážkové úhrny odvozené Šamajem, Brázdilem a Valovičem, uvedené v příloze č.2 (ŠAMAJ ET AL. 1985)

Tvar rovnice:

$$43) \quad H_o = \frac{(H_s - 0,2A)^2}{(H_s + 0,8A)}$$

H_o -- přímý odtok [mm] (grafické vyjádření viz příloha č. 3)

H_s -- úhrn přívalové (návrhové) srážky [mm]

A -- potenciální retence [mm]

$$44) \quad A = 25,4 \cdot (1000 / CN - 10)$$

Následný objem přímého odtoku je vypočítán ze vztahu:

$$45) \quad O_{pH} = 1000 \cdot P_p \cdot H_o \quad [m^3]$$

P_p -- plocha povodí [km²]

Tabelace čísel odtokových CN-křivek je řízena charakteristikami týkajícími se půdního podloží. Jsou to:

- 1) hydrologické vlastnosti půd: (4 skupiny A, B, C, D)
- 2) vlhkosti odvozené na základě srážek spadlých během posledních 5 dnů (IPS I-III) (viz příloha č.4)
- 3) způsob využívání půdy, typ obdělávání a druh vegetačního krytu (viz příloha č. 5)

1) Určení typu povrchu půdy založené na třech činitelích

Druh půdy, který je určen pomocí US SCS (US Soil Conservation Service), dělí půdy dle druhů do čtyř skupin (A,B,C,D). Jednotlivé skupiny jsou popsány a je k nim dodána minimální rychlost infiltrace vody. Při řazení půd do hydrologických skupin lze pro přibližnou orientaci využít tabulku č. 2 (JANEČEK ET AL. 2002).

Tab. č. 2 Charakteristika hydrologických vlastností půd

Skupina půd	Charakteristika hydrologických vlastností
A	Půdy s vysokou rychlostí infiltrace (větší než 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně hluboké, dobře až nadměrně odvodněné písky nebo šterky
B	Půdy se střední rychlostí infiltrace (0,06 až 0,12 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy středně hluboké až hluboké, středně až dobře odvodněné, hlinitopísčité až jílovitohlinité
C	Půdy s nízkou rychlostí infiltrace (0,02 až 0,06 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně půdy s málo propustnou vrstvou v půdním profilu, půdy jílovitohlinité až jílovité
D	Půdy s velmi nízkou rychlostí infiltrace (méně než 0,02 mm/min) i při úplném nasycení, zahrnující převážně 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

(JANEČEK ET AL. 2002)

2) Stanovení vlhkosti půdy

Podmínky pro rychlost a množství odtoku vody z daného pozemku (špatné, průměrné, dobré) jsou ovlivněny předchozí vlhkostí půdy, kterou dle SCS řadíme do tří případů vlhkosti:

Třída I - půdy suché, nedosahující bodu vadnutí

Třída II - půdy s průměrnými vlhkostními poměry

Třída III – půdy, na které v posledních pěti dnech spadl přívalový nebo dlouho trvající déšť a v oblasti panovaly nízké teploty, půda je nasáklá vodou

3) Charakter obdělávání půd

V II třídě půd se určuje, jakým způsobem je půda obdělávána. Podle tohoto hlediska se dosazují dané hodnoty.

Stanovení doby koncentrace a doby doběhu

Doběh (T_t) vyjadřuje dobu, kterou trvá přemístění vody z jednoho místa na jiné místo v povodí. Neboli podíl doby koncentrace (T_c), který je potřebný pro odtok vody z hydraulicky nejvzdálenějšího místa v povodí do uzavírajícího profilu daného povodí. Odvozuje se jako součet všech dob doběhu.

Při odtoku vody z povodí dochází k plošnému povrchovému odtoku v horních částech povodí, ten poté přechází do soustředěného odtoku o malé hloubce a v nejnižších partiích povodí přechází do soustředěného odtoku v otevřeném korytu.

Povrchový plošný odtok

Manningova kinematická rovnice platná pro tento typ odtoku kratšího než 100 m.

$$46) \quad T_{ta} = \left[0,007 \cdot (n \cdot l / 0,3048)^{0,8} \right] \div \left[(H_{S2} / 25,4)^{0,5} \cdot S^{0,4} \right]$$

T_{ta} -- doba doběhu [h]

n -- Manningův součinitel drsnosti (dle tab. č. 3)

l -- délka proudění [m]

H_{S2} -dvouletý 24 hodinový déšť [mm]

S -- hydraulický sklon povrchu [$tg \alpha$]

Tab. č. 3 Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný odtok

Popis povrchu	n
Hladký povrch /beton, asfalt, štěrk, holá půda/	0,011
Úhor bez posklizňových zbytků	0,05
Obdělávaná půda s posklizňovými zbytky pokrývajícími < 20 % povrchu	0,06
> 20 % povrchu	0,17
Travní porost: nízký, řídký	0,15
střední	0,24
vysoký, hustý	0,41
Les s bylinným porostem do 3 cm: slabý	0,40
hustý	0,80

(ENGMAN 1986)

Soustředěný odtok o malé hloubce

Plošný odtok se zhruba po 100 m začne měnit na soustředěný o malé hloubce, kdy doba doběhu (T_{tb}) vyjadřuje délku proudění k jeho rychlosti. (HRÁFDEK F. ET KUŘÍK P., 2001)

$$47) \quad T_{tb} = l / 3600 \cdot V$$

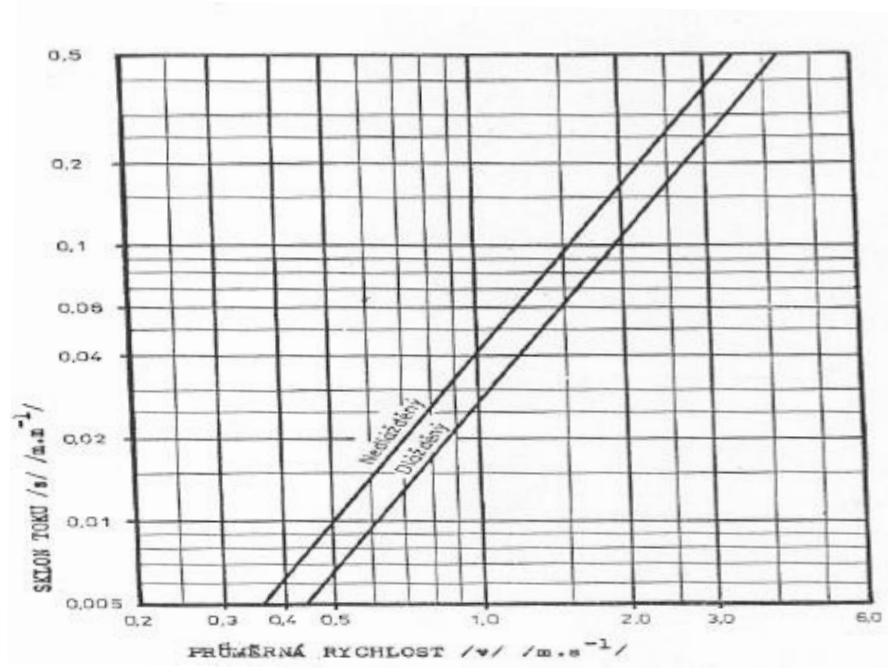
T_{tb} -- doba doběhu [h]

l -- délka proudění [m]

V -- průměrná rychlost [$m \cdot s^{-1}$]

K určení průměrné rychlosti $[V]$ lze využít níže uvedený obrázek

Obr. č. 5 Průměrná rychlost pro stanovení doby doběhu u mělkého koncentrovaného proudění



(ENGMAN 1986)

Odtok o volné hladině v otevřeném korytu

O takovém odtoku hovoříme od místa, kde lze zaměřit příčný profil. Střední rychlost proudění se obvykle stanovuje pro průtok plným profilem koryta dle Manninga.

$$48) \quad v = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot s^{\frac{1}{2}}$$

v - průměrná rychlost

R - hydraulický poloměr

F - plocha příčného profilu

O - omočený obvod

s - sklon koryta toku

n -- Manningův drsnostní součinitel pro průtok otevřeným korytem (tabulka č. 4)

Doba doběhu (T_{tc}) je dále stanovena vztahem.

$$49) \quad T_{tc} = l / 3600 \cdot v$$

Tab. č. 4 Manningův součinitel drsnosti (n) pro průtok otevřeným korytem

Charakteristika koryta	n
Betonové tvárnice spárované	0,012
Betonové tvárnice	0,013
Struskobetonové tvárnice "Kles"	0,014
Kamenná dlažba spárovaná	0,022
Polovegetační tvárnice	0,025
Zemní koryto pravidelné, kosé	0,025
Kamenná dlažba na sucho, hrubá	0,029
Kamenná rovnanina	0,032
Polovegetační tvárnice, vzrostlý drn	0,033
Zemní koryto pravidelné, nekosené	0,033

(ENGMAN 1986)

Doba koncentrace T_c

Vychází ze součtů dob doběhu T_t z různých po sobě následujících úseků prodění.

$$50) \quad T_c = T_{ta} + T_{tb} + T_{tc} \quad [h]$$

Stanovení kulminačního průtoku z přívalové srážky

Výpočet kulminačního průtoku (Q_{pH})

$$51) \quad Q_{pH} = 0,00043 \cdot q_{pH} \cdot P_p \cdot H_o \cdot f$$

Q_{pH} - kulminační průtok (m^3/s)

q_{pH} -- jednotkový kulminační průtok ($m^3 \cdot s^{-1}$)

(určí se z nomogramu v příloze č. 7)

P_p - plocha povodí (km^2)

H_o - přímý odtok (mm)

f - opravný součinitel pro nádrže, rybníky a mokřady (tab č.5)

Tab. č. 5 Opravný součinitel pro nádrže, rybníky a mokřady

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

(JANEČEK ET AL. 2002)

6.3 Metoda jednotkového hydrogramu (Unit Hydrograph)

Využití metody jednotkového hydrogramu pro odvození charakteristik povodňové vlny je možné pouze za předpokladu, že máme k dispozici minimálně krátkodobá ombrografická měření dešťů a z nich zapsané hydrogramy (HRÁDEK ET KUŘÍK 2002).

Metoda vychází z úvahy, že na daném území vyvolá dešť o stejné době trvání různé intenzity hydrogramů. Ty jsou si podobné svým tvarem za předpokladu stejných půdních poměrů, sklonových poměrů a využití pozemků. Zároveň bude stejné časové i plošné rozdělení deště na povodí o stejném stavu nasycenosti (HRÁDEK ET KUŘÍK 2002).

Základní principy měrného jednotkového hydrogramu

Deště o stejné době trvání a různé intenzitě rovnoměrného časového a plošného rozložení vyvolají hydrogramy o stejných časových základnách, bez závislosti na úhrnu (výšce) deště. Počítá se s předpokladem, že dešť má dostatečnou intenzitu s dostatečnou dobou trvání, které vyvolají odtok z celé plochy povodí (DUB ET NĚMEC 1969).

Hydrogramy vyjadřující vývoj deště o stejné době trvání, ale různé intenzitě mají jistou podobnost, která je vyjádřena vztahem:

$$52) \quad \frac{Q_{1,t}}{Q_{2,t}} = \frac{W_{1,t}}{W_{2,t}} = \frac{W_1}{W_2}$$

$Q_{1,t}$; $Q_{2,t}$ - pořadnice vybraných hydrogramů (1,2) v čase t přímého odtoku to znamená:

po separaci podzemního odtoku

$W_{1,t}$; $Q_{2,t}$ – objemy částí hydrogramů přímého odtoku za dobu t od začátku odtoku

W_1 ; W_2 - celkové objemy hydrogramů přímého odtoku

(HRÁDEK ET KUŘÍK 2002)

Funkce superpozice je založena na určení výsledné čáry průtoků, která je tvořena postupným sčítáním pořadnic jednotkových hydrografů z několika jednotkových dešťů (DUB ET NĚMEC 1969).

6.4 Hydrologické modely

V hydrologii je cílem matematického modelování, vyjádřit časovou a prostorovou závislost daných veličin, které jsou charakteristické pro hydrologický režim modelového objektu. Matematicky jsou schopné simulovat přírodní hydrologické procesy za různých situací. V praxi to znamená, že mají uplatnění pro předpovědi a návrhové účely (Kovář 1973). A jsou tak dobrým diagnostickým nástrojem při prevenci povodňových rizik (HRNČIŘ 1997).

Srážko-odtokový proces reprezentovaný matematickým modelem znázorňuje zjednodušený početní vztah mezi zadávanými a výslednými hodnotami daného hydrologického systému (DAÑHELKA ET AL. 2003). Ten je následně charakterizován jako soubor převážně fyzikálních jevů, ovlivňujících vstupní proměnné, ze kterých pak odvozuje výstupní veličiny. Z matematického hlediska se tedy jedná o algoritmus řešení soustavy rovnic, charakterizující složky a chování daného systému (CLARKE 1973).

Na hydrologické procesy působí množství faktorů, spolupůsobících jak příčinně tak i náhodně. Proto je zde snaha o zjednodušení procesu za účelem modelování procesů při působení různých podmínek u faktorů bez zásadního vlivu. Ve shrnutí platí pravidlo, čím složitější model, tím větší množství údajů zpracovává, je tedy důležité dbát na nepřeparametrizování daného modelu, což mívá za následek větší množství neurčitostí v konečném výsledku (BEVEN 2001).

Rozdělení srážko-odtokových modelů

V současnosti je již vyvinuta celá řada modelů, které se od sebe navzájem liší širokou škálou pojetí jak samotného řešení vstupních komponent srážko-odtokových procesů, tak i celkovému charakteru a fungování samotných modelů, či struktuře zkoumaného povodí. V průběhu využívání modelů, jejich doplňování a vylepšování nedostatků se začaly modely rozlišovat do různých skupin (BECKER ET SERBMAN 1990).

Klasifikace by měla pomoci uživateli se správným výběrem vhodného modelu, který by byl nejvíce vhodný pro řešení dané problematiky. Stručný popis modelů a přesné vysvětlení jejich výstupů je poměrně složité, zejména jedná-li se o model využívající kombinace přístupů či různých metod odvozených z matematických, fyzikálních či empirických předpokladů (BECKER ET SERBMAN 1990). Z důvodu složitostí, množství různých pojetí a členění z různých hledisek

budou v práci modely rozděleny do sekcí, kde budou děleny podle různých hledisek a autorů.

Klasifikace podle WMO (World Meteorological Organisation) vychází z několika principů :

- 1) účel aplikace modelu
- 2) typ simulovaného systému
- 3) zohlednění modelovaného hydrologického procesu
- 4) princip příčiny a důsledku (stupeň kauzality)
- 5) míra časové a prostorové diskreditace

1) Dělení modelů podle účelu aplikace do tří tříd:

- modely aplikované v operativní hydrologii
- modely určené pro návrhy a projekční činnost ve vodním hospodářství
- modely využívané ve výzkumné oblasti

Operativní (předpovědní) modely se používají v operativní hydrologii. Kdy je důležité rychlé zpracování vstupních dat z měření (v automatických stanicích či z radarů) a následná krátkodobá předpověď vodního stavu či průtoku v určitém profilu. V praxi to znamená větší množství specializovaných modelů a dalších programových prostředků, které jako celek tvoří předpovědní systém (DAÑHELKA ET AL. 2003).

Návrhové (predikční) modely slouží pro dlouhodobější řešení protipovodňové ochrany. Tvoří základ civilního inženýrství pro stavbu vodních děl a jiných protipovodňových opatření. Mohou být využité i k modelování srážko-odtokových procesů v povodí s různými vstupními podmínkami (DINGMAN 2002).

Využití hydrologických modelů ve výzkumné oblasti skýtá možnosti dalšího vývoje modelů. Například docílení přesnějšího popisu jednotlivých komponent srážko-odtokových procesů. K těmto účelům se budují nadstandardní sítě měřících stanic na experimentálních povodích (Janíček 2014).

2) Klasifikace typu systému a hydrologického procesu

Podle typu systému nebo rozsahu výpočtů částí hydrologického cyklu lze modely rozdělit na komplexní a elementární (komponentní) (KOVÁŘ 1990)

- komplexní - snaha o popis celého hydrometeorologického cyklu
- elementární (komponentní) - popis jen vybraných částí hydrologického cyklu

Přehled jednotlivých typů podle WMO je uveden v tabulce č. 6

Tab. č. 6 Typy hydrologických systémů (Podle WMO in Daňhelka et al. 2003)

Číslo	Typ simulovaného systému	ID
1.	Elementární systém	
1.1	Hydrotop (elementární jednotka s konstantními charakteristikami)	HU
1.2	Méně až středně velké odtokové plochy	SA
1.3	Zvodnělé vrstvy	AQ
1.4	Říční síť	RR
1.5	Nádrže a jezera	RL
2.	Komplexní systémy	
2.1	Systém říčních sítí, nádrží a jezer	CS
2.2	Povodí nebo velké odtokové plochy	CB

(WMO IN DAÑHELKA ET AL. 2003)

3) Přehled zohlednění modelovaného hydrologického procesu a související proměnné použité při klasifikaci modelů v tab. č. 7

Tab. č. 7 Hydrologické procesy a související proměnné použité při klasifikaci modelů (Dle WMO in Daňhelka et al. 2003)

Číslo	Hydrologické parametry a procesy	ID
1.	Vlhkost půdy, evapotranspirace	ES
2.	Podzemní voda, hladina, průtok	SG
3.	Průtok a vodní stav v korytě	
3.1	- s časovým krokem <1 den	QF
3.2	- s časovým krokem >1 den	QM
4.	Teplota vody, ledové podmínky a další proměnné	TW
5.	Splaveniny a související parametry	QS
6.	Kvalita vody	WQ

(WMO IN DAÑHELKA ET AL. 2003)

4) Klasifikace podle stupně kauzality, neboli stupně příčiny a důsledku

Toto kritérium rozdělení modelů na **deterministické** a **stochastické** považuje ZEMAN (1994) za jedno ze základních. Kauzalita je vyjádřena vztahem příčina - důsledek.

Deterministické modely

Tato kategorie modelů je popsána jako vztah závislých proměnných (výstupní veličiny) a nezávislých proměnných (vstupní stavová veličiny):

$$53) \quad y = f(x, a)$$

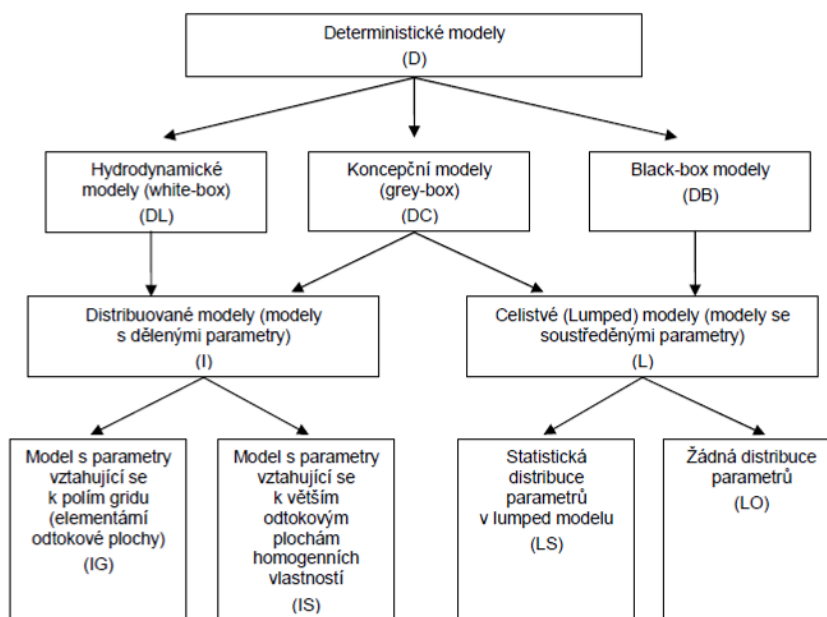
(a) je koeficient nebo parametr popisující chování daného systému

Dodnes byla vyvinuta řada deterministických modelů, odlišujících se od sebe různou strukturou, fyzikálními přístupy, nebo časovou a prostorovou diskretizací. Následně budou uvedeny hlavní skupiny deterministických modelů a grafické rozdělení.

- **DL (Deterministic, Hydrodynamic Laws)** - tento princip modelů je založen na fyzikálním popisu srážko-odtokového procesu a je zde snaha o respektování zákonů o zachování hmoty, hybnosti a energie (Kulhavý et Kovář 2002). Lze v nich využít poznatků z hydrodynamiky, termodynamiky, chemie a biologie (DAŇHELKA ET AL. 2003). Tyto modely se též označují jako „white-box“ modely.
- **DC (Deterministic, Conceptual)** - přístup tohoto typu vystihuje fyzikální zákony ve zjednodušené (koncepční) formě a obsahuje i určitou dávku empiricky odvozených vztahů (Becker et Serban 1990). Koncepční modely nekalkulují s prostorovou složkou a předpokládají, že ke změnám parametrů stavu dochází v daných reprezentativních bodech (Kulhavý et Kovář 2000). Tímto je spojený systém prostorově diskretizován. Řešení modelů se poté provádí pomocí obyčejných diferenciálních rovnic. Z důvodu propojení fyzikálního a empirického přístupu je tato skupina označována jako „grey-box“ modely.
- **DB (Deterministic, Black-box)** - tyto modely nekalkulují s řídicími zákony, využívají pouze empiricky odvozený vztah mezi vstupními a výstupními veličinami (BEVEN 2001). Procesy, které se odehrávají uvnitř systému jsou skryty (proto pojmenování „black-box“). Vychází najevo, že využití těchto

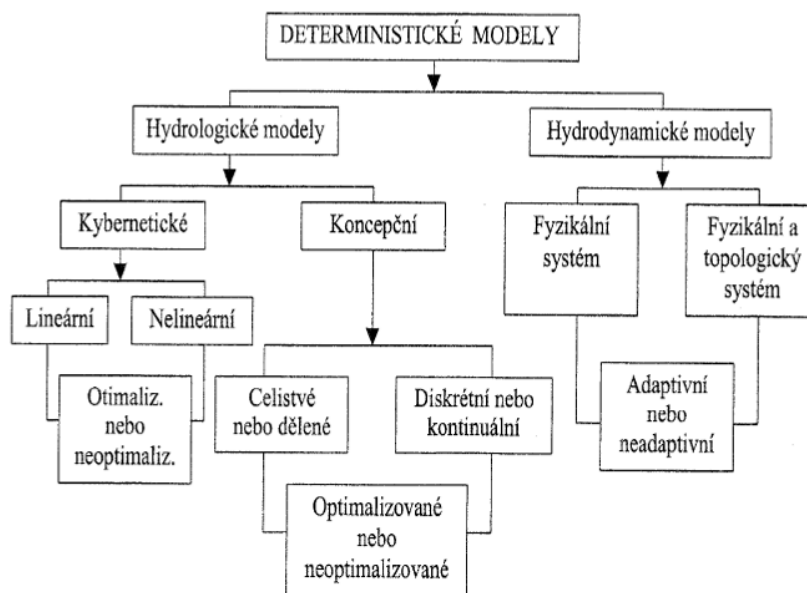
modelů pro operativní účely je vhodné spíše pro malá povodí. V případě zvětšující se doby předpovědi (cca 6 hod) se spíše vyplatí aplikovat fyzikálně strukturované koncepční modely (BUCHTELE 2002). Typickým příkladem DB modelů jsou neuronové sítě.

Obr. č. 6 Klasifikace deterministických modelů



(BECKER ET SERBAN 1990)

Obr. č. 7 Podrobné rozdělení deterministických modelů



(KOVÁŘ 1990)

Stochastické modely

U tohoto typu modelů není primárně vazba mezi příčinou a důsledkem. Dělí se do dvou základních skupin (BECKER ET SERBAN 1990):

- **SP (Stochastic Probabilistic)** - pravděpodobnostní modely. V tomto typu modelů jsou hydrologické parametry (maximální či minimální průtok, vodní stavy, podzemní odtok) charakterizovány určitým pravděpodobnostním rozdělením.
- **ST (Stochastic Time series generation)** - modely generování časových řad. Tyto modely se dají využít při extrapolaci časových řad pozorovaných parametrů, se zachováním jejich statistických charakteristik. Jako příklad lze uvést například ARMA modely (Autoregressive Moving Average).

Z předešlého textu tedy vyplývá, že parametry získané ze stochastických modelů jsou většinou vztaženy ke konkrétním bodům (stanicím), kde jsou měřeny. Nyní jsou začleňovány jen v obecnější formě. Na rozdíl od toho proměnné v deterministickém přístupu jsou vztahovány přímo k těmto definovaným systémům.

V praxi mají poměrně časté využití oba přístupy. Stochastická složka je přítomna jak ve většině modelů v oblasti plánování a projekční činnosti vodohospodářských staveb, tak i někdy v operativní hydrologii. Zejména v případech dlouhodobých předpovědí (DAŇHELKA ET AL. 2003). Celkově však lze konstatovat, že deterministický přístup v současnosti převažuje.

V komplexním, deterministickém přístupu je však velice obtížné ovlivnit všechny vstupní parametry a proměnné, ovlivňující výstupní veličiny. Tyto modely jsou většinou zatíženy chybou složenou ze dvou dílčích chyb a to jak vlastní chybou modelu, tak chybou měřených veličin. Obě lze popsat určitým pravděpodobnostním rozdělením.

5) Hodnocení dle míry časové a prostorové diskreditace

Časová diskretizace

Její míra je většinou určována podle způsobu využití modelu. Pro povodňové studie, operativní předpovědi, transport splavenin nebo šíření znečištění se zpravidla užívá hodinový až denní krok, v případě bilančních modelů se délka výpočtového kroku může i prodloužit (týden, měsíc) (Jeníček 2005). Důležité je však zdůraznit, že i jednotlivé proměnné mohou mít různý časový krok, taktéž nemusí být totožný časový krok týž vstupních a výstupních veličin (GRAHAM ET BUTTS 2005).

Jiný princip rozdělení vychází z časové kontinuity výpočtu. Rozlišují se modely **kontinuální** (simulují delší i víceleté období) a **epizodní** (simulace probíhá pouze pro dílčí události jakož i povodně či hydrologické sucho). Kontinuální modely mají převážně využití na velkých územích, kde povodně způsobují spíše regionální deště. Epizodní modely se oproti tomu uplatňují spíše při simulaci přívalových srážek postihujících menší povodí.

Prostorová diskreditace

Tato problematika je poněkud složitější. Uživatel vytváří topologii modelu jeho vhodným výběrem. Rozlišují se dvě hlavní kategorie - distribuované a celistvé (lumped) modely. V současnosti se již také vyčleňuje kategorie modelů semi-distribuovaných.

Celistvé modely

Spíše označované jako **lumped modely**. Parametry popisující povodí (stavové veličiny i časové řady) se vztahují k celému či dílčímu povodí (MACK 1995). Jelikož se většinou jedná o hodnoty měřené bodově (srážky na stanici, průtoky v závěrovém profilu), využívá se pro jejich převedení na plošné hodnoty nejrůznějších geostatických metod. Jako příklad celistvého modelu (též modelu se soustředěnými parametry) je americký model HEC-HMS (Hydrologic Engineering Centre - Hydrologic Modelling System).

Distribuované modely

Nazývají se též modely založené na distribuovaných parametrech. Tento přístup počítá s prostorovou variabilitou vstupních parametrů, které se transformují na parametry výstupní a ty také vykazují variabilitu v prostoru. Toto pojetí (přesněji vystihuje skutečné chování systému) rozděluje povodí na síť neboli grid (čtvercový či trojúhelníkový) elementárních odtokových ploch. Každé políčko gridu má charakteristickou hodnotu parametru. Velikosti gridů jsou různé, maximálně však

do jednoho kilometru, z důvodu zaručení platnosti řídicích rovnic (BECKER ET SERBAN 1990).

Semi-distribované modely

Princip modelů spočívá v rozdělení povodí na elementární odtokové plochy (hydrotopy), jenž se (na rozdíl od předchozí kategorie) vyznačují homogenními prostorovými parametry (stejný půdní druh a vegetační pokryv). Aplikace semi-distribovaných modelů je stále častější, pro jejich optimální vlastnosti představující kombinaci obou výše uvedených přístupů. V průběhu určování odtokových ploch se musí brát v úvahu jak prostorová distribuce jednotlivých parametrů hydrologického systému (povodí), tak je třeba respektovat rozdělení územních charakteristik (topografie, půdní podmínky, vegetační pokryv či hydrogeologie), ovlivňujících odtokový režim (GRAHAM ET BUTTS 2005).

6.4.1 Popis vybraných modelů

6.4.1.1 HEC - RAS (Hydrologic Engineering Centers - River Analysis System)

Model HEC-RAS podporovaný integrovaným prostředím MS Windows s dobře graficky zpracovaným uživatelským rozhraním (GUI), detailně zpracovává řešenou hydrauliku ustáleného proudění v otevřených korytech a objektech na přirozených či uměle vytvořených tocích (KŘOVÁK 2001). Řada modelů dělí při výpočtu proudění příčný profil na samostatné řezy koryta (levé a pravé inundace). HEC-RAS disponuje čtyřmi výpočetními postupy: Average Conveyance, Geometric Mean Friction Slope, Average Fiction Slope a Harmonic Mean Friction Slope (HAVLÍK 1 2001). Velmi propracovaná nadstavba modelu v systémech Windows, usnadňuje přípravu vstupních dat i následnou prezentaci výsledků. Výhodou tohoto systému je totožný přístup k přípravě geometrického modelu sítě vodních koryt a navazujících inundací pro model neustáleného i nerovnoměrného proudění. Jednou ze zásadních výhod modelu je možnost rozdělení profilu koryta na vlastní koryto a pravou či levou inundaci. Při řešení průběhu hladin a ostatních veličin v zakřivených tratích je model schopen kalkulovat s různými distancemi mezi těmito částmi dvou sousedících údolních profilů. Je také schopen zadávat rozložení drsností v horizontálním a vertikálním směru. Dále umožňuje modelování neaktivních částí záplavového území, která mají velký vliv na povodňové vlny. V příčných profilech umožňuje přímé zadávání neaktivních ploch, ale také definování odkladových ploch (BRUNNER 2010; BRUNNER ET CEIWR-HEC 2010).

Výstupy je možno prezentovat dvojím způsobem. Jednak pomocí hydrogramů povodí v závislosti průběhu povodně na čase. Výstupy mohou být jak ve formě grafické tak i v tabelární. Model také umožňuje tabelární prezentaci velkého množství hydraulických parametrů proudění pro jednotlivé časové kroky a také pro maximální průtok v každém profilu. Není však schopen graficky ani tabelárně prezentovat podélný vývoj profilu hladiny v závislosti na čase (HAVLÍK ET ŠERCL 2001).

a) HEC - 1 (Hydrologic Engineering Center)

Obsáhlý srážko-odtokový model Hec-1 vznikl v 60. letech pro účely armádní hydrologie v USA. V dnešní době je volně dostupný, v systému WMS. Model obsahuje několik variant sloužících k výpočtu odtokové ztráty, nejčastěji využívaná je metoda CN-křivek. K výpočtu odtoku z povodí nejčastěji používáme metodu jednotkového hydrogramu dle Clarka. Model HEC-1 disponuje možností modelování odtoku z tání sněhu, při zadání parametrů nádrže a hydrotechnických parametrů umožňuje simulovat průchod povodňové vlny v nádrži, do jisté míry je schopen transformovat povodňovou vlnu v otevřeném korytu metodou Muskingum-Cunge (HAVLÍK ET ŠERCL 2001). V WMS i HEC-HMS lze HEC-1 využít k modelování povodňových epizod z přívalových srážek, za předpokladu, že plocha zkoumaného povodí nepřekročí 500km². V opačném případě musí být k dispozici měřené či modelované výšky srážek na povodí, a to minimálně v denním kroku, vhodnější je však krok hodinový (DAÑHELKA ET AL. 2003).

b) HEC - WMS (Hydrologic Engineering Centre - Watershed Modeling System)

Vyvíjen v USA v průběhu 90. let. Šířen byl komerčně. Jedná se o programový systém sloužící k nejrůznějším hydrologickým výpočtům jako příprava vstupních dat pro určité povrchové srážko-odtokové modely, které systém spouští jako vnější procedury. Vstupní data v podobě fyzio-geografických charakteristik povodí jsou odvozována ze vstupního digitálního výškového modelu (DEM) zkoumaného území, majícího rysy Geografického Informačního Systému (GIS), jakožto základního podpůrného aparátu pro plošné hydrologické modelování (O'CONNOR 1976).

c) HEC - HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System)

Nástupce modelu HEC-1 vyvíjeného od 60. let armádou USA. Jde o celistvý model se soustředěnými parametry. Modely HEC - HMS i WMS jsou

široce používané, lze je využít k široké škále řešení hydrologických úkolů. Velká výhoda HMS je dostupnost freewareu na internetu (JENÍČEK 2005).

Model přímo nespolupracuje s GIS, jenž umožňuje výpočet geograficko-fyzikálních charakteristik povodí. Proto musí být připravena velká část vstupů mimo prostředí tohoto programu (CHOW et al. 1988). Nyní je již k dispozici nástavbový produkt HEC-GeoHMS pro ArcView. Který oproti WMS obsahuje výtečné optimalizační rutiny, snadněji umožňuje definování různých úloh a sestav parametrů v rámci projektu. Je v něm také zakotvený model Mod-Clark (FELDMAN 2000).

6.4.1.2 Produkty MIKE od společnosti DHI (Denish Hydraulic Institute)

a) MIKE - SHE

Hydrodynamický koncepčně distribuovaný, případně semi-distribuovaný srážko-odtokový model navržený dánskou firmou DHI. Nejčastěji používán pro analýzy, plánování a řízení v oblastech vodních zdrojů, řešení významných technických zásahů v povodí, posuzování vzájemných interakcí mezi povrchovou a podzemní vodou včetně řešení environmentálních a ekologických problémů spojených s těmito vodami (ekologická hodnocení, posuzování dopadů na životní prostředí, kontaminace z odstraňování odpadů, vliv využití území a klimatické změny, zavlažování a odvodňování, řízení a obnova mokřadů a mnoho jiných) (JENÍČEK 2011; GRAHAM ET BUTS 2005; DHI 2012C).

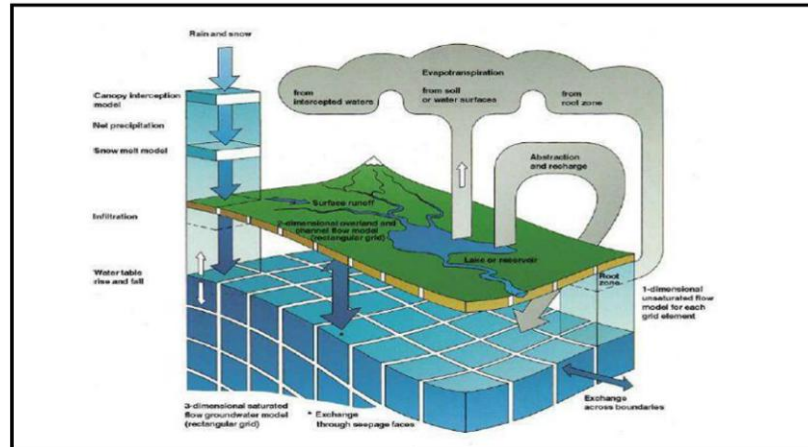
Model je schopen simulovat jak kontinuálně, tak jen epizodně. Ve spolupráci s firmou ESRI byly pro model vyvinuty softwareové nadstavby ArcView 3.x a ArcGIS 9.1. DaisyGIS je koncepční jednorozměrný model fungující jako nadstavba ArcView 3.x a umožňuje popisovat všechny důležité procesy, které se vážou na zemědělský ekosystém. Geomodel je nadstavbou softwaru ArcGIS 9.1 sloužící pro interpretaci geologických podkladů a tvorbu geologických modelů. MIKE-SHE je pouze komerčně šiřitelný (JENÍČEK 2005; DHI 2012B).

Mezi hlavní komponenty patří:

- Srážky (dešťové i sněhové)
- Evaporace, včetně intercepce
- Povrchový odtok z povodí
- Odtok v korytě
- Podpovrchový odtok v nenasycené zóně půdního profilu

- Podzemní odtok
(JENÍČEK 2005; DHI 2007)

Obr. č. 8 Struktura modelu Mike-She



(JENÍČEK 2005)

b) MIKE 11

Hydrodynamický program MIKE11 vyvíjen v dánském Hydraulickém Institutu je matematický jednosměrný model, zaměřený na popis neustáleného proudění v otevřených přirozených nebo umělých korytech, a v jim přilehlých inundačních územích v extravilánu či intravilánu. Také lze využít k simulaci proudění, určování kvality vody a pohybu splavenin. Koncepce modelu se zakládá na jednotlivých modulech, jež jsou navzájem propojeny společnými datovými soubory (PALLÓS ET AL 2011). V praxi to znamená, že dva různé moduly využívají stejných vstupních dat, nebo výsledkový soubor jednoho modulu je vstupním souborem modulu druhého. Výhodou tohoto uspořádání je možnost efektivního nasazení vybraných modulů dle potřeb a zaměření konkrétního projektu či studie (HRNČÍŘ 1997). Nástroj nachází široké uplatnění v oblastech protipovodňové ochrany, vývoje kvality vody a řízení vodohospodářských objektů (DHI 2003; DHI 2012A).

Přídavné moduly MIKE 11 simulující jednotlivé jevy spojené s říčním systémem:

- HD
- hydrologii
- advekci-disperzi
- modely pro různé aspekty kvality vody
- transport zpevněných sedimentů
- transport nezpevněných sedimentů (DHI 2003)

Pro správnou funkci modelovacího systému MIKE 11 je nezbytný hydrodynamický modul HD, sloužící k formování základů pro většinu ostatních modulů. HD modul slouží k řešení vertikálně integrovaných rovnic kontinuity a zachování hybnosti, neboli Saint-Venarových rovnic (DHI 2003).

Model disponuje širokou škálou výstupů včetně barevných grafik pro systémová data a výsledky, obsahuje množství animovaných prezentací výsledků v různých typech grafů i grafů časových řad včetně synchronizovaných animací výsledků a prezentací externích časových řad. K dispozici je také funkce pro export výsledných tabulek či prezentačních grafik do jiných aplikací, textových či tabulkových. MIKE 11 je stejně jako MIKE-SHE šířitelný pouze komerční cestou (DHI 2003).

c) MIKE 21C

Model je též navržen dánskou firmou DHI. Lze ho použít pro navržení systémů ochrany proti erozi břehů, k vyhodnocování opatření na snížení zanášení plavebních kanálů a tím tak minimalizovat náklady na jejich údržbu. Dále pak vliv mostů, tunelů a potrubních přechodů na hydrauliku koryta. Model je také vhodný k návrhu optimálních plánů na obnovu lužních systémů pomocí monitorovací sítě na základě morfologického prognózování (ENGGROB ET TIERRY 1998). Model se obvykle používá na měření v delším časovém období několika let či dokonce desetiletí.

Pro určení unášecí síly je velice důležité sekundární proudění, neboli spirálové. Má jen malý vliv na hydrodinamiku vody v toku ale velký vliv na unášení sedimentů (ROZOWSKY 1957).

d) MIKE FLOOD

Nejkomplexnější soubor nástrojů pro modelování povodní, který je k dispozici. Disponuje širokým výběrem 1D a 2D simulací povodní, jenž umožní modelovat prakticky jakoukoli povodňovou situaci na toku, nivě, v ulicích, odvodňovacích sítích, pobřežních oblastech, nádržích či jakoukoli libovolnou kombinaci těchto povodní.

Základními prvky MIKE FLOOD jsou starší osvědčené modely, MIKE 11 pro řeky, MIKE URBAN pro systémy sběru a MIKE 21 pro 2D povrchové proudění. Spojení těchto tří nástrojů umožňuje přesné fungování trojcestného systému (DHI 2014A).

e) MIKE HYDRO Basin

Multi-účelový nástroj pro podporu rozhodování na základě map, integrované analýzy povodí, plánování a řízení. Nástroj je určen pro analýzu problémů při sdílení vod na mezinárodní, národní a místní úrovni povodí. Jedná se o komplexní, ale snadno ovladatelný produkt usnadňující práci při řešení vodních zdrojů a při dělení přídělů vody. Model lze snadno rozvíjet pomocí satelitních bází a lze snadno aplikovat do prezentací. Také je možná rychlá a flexibilní simulace s možností skriptování. Podrobné výstupy poskytují snadný přehled výsledků scénářů, jako je využívání vody, schodek přídělů vody, množství vyrobené energie vůči ztrátám vody (DHI 2014B):.

6.4.1.3 HYDROG

Srážko-odtokový distribuovaný model, spadající pod komplexnější předpovědní systém HYDROG-S, jenž byl vyvíjen z důvodu potřeb spojitě simulace odtoku z povodí s nádržemi (STARÝ 1998). Největší zásluhy na vzniku tohoto modelu z roku 1991 má Miloš Starý z VUT v Brně. Model převážně slouží k simulaci povodňových situací v povodí, vydávání operativních předpovědí průtoků v říčních sítích a k řízení vodohospodářských děl. Model je využíván pro výpočet předpovědí a neustále rozvíjen a doplňován v ČHMÚ (Český Hydrometeorologický Ústav) na pobočkách v Ostravě pro povodí Odry, Bečvy a horní Moravy a v Brně pro povodí Dyje (HELKA 2006; UNUCKA 2006; ADAMEC ET AL. 2006). Povodí je v modelu popisováno pomocí grafu s vyznačením tzv. zavěšených ploch, hran a vrcholů. Plochy slouží k reprezentaci jednotlivých dílčích povodí, hrany představují koryta toku a vrcholy znázorňují uzly a říční sítě, či vodní stavby (BŘEZKOVÁ 2006).

Model kalkuluje s počáteční ztrátou infiltrací dle Hortona. Řešení povrchového odtoku z povodí je prováděno pomocí kinematické vlnové aproximace Saint-Venantových rovnic pro neustálé proudění a podzemní odtok koncepčním regresivním modelem, kalkulujícím s jedinou podzemní nádrží. Při simulaci chování vodních děl se používá Runge-Kuttova metoda IV. řádu a modely tání sněhu jsou řešeny za pomoci kalibrovaného degree-day modelu (BŘEZKOVÁ 2006).

6. Metodika

6.1 Charakteristika vodního toku a povodí

Před započítím charakteristiky toku a jeho povodí bylo pro správný náhled nutno dohledat literaturu zabývající se danou problematikou. Po seznámení se s problematikou, soustředil jsem se na konkrétní vodní tok. Za účelem získání potřebných dat jsem navštívil úřad Lesy České republiky, s. p. v Benešově, kde jsem obdržel mapu s vyznačeným vodním tokem a jeho povodím a řadu technických údajů vztahujících se k toku. Dalším důležitým zdrojem informací byl Český hydrometeorologický ústav v Praze, kde jsem získal hydrologické údaje, které jsem aplikoval do modelu Hec-Ras a pak je porovnal s vlastními výstupy z hydrologického programu DesQ-MaxQ. Pro získání informací o geologických a půdních poměrech bylo nutné navštívit České geologické služby v Praze, kde mi byla poskytnuta požadovaná mapová díla. Za účelem zjištění podrobných výškových parametrů toku jsem navštívil Geoportál českého úřadu zeměměřického a katastrálního, kde jsem si ve výškopisných datech objednal vrstvy Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G). Tato bodová pole jsem v analytickém programu ArcGIS 10 pomocí funkce *ASCII 3D To Feature Class* zinterpoloval a následně tato data převedl pomocí *Create Tin* na plastický model terénu. Tyto funkce je nejprve nutné aktivovat pomocí *Customise-Toolbars* a zaškrtnutím *3D Analyst*. Po těchto krocích je možné s funkcemi operovat.

6.2 Odvození vstupních parametrů

Prvním krokem při odvozování vstupních parametrů byla návštěva oblasti vodního toku a vlastní průzkum povodí a vodního toku. Při tomto průzkumu jsem nafotil a naměřil jednotlivé objekty na toku a vytvořil si představu o průběhu toku, jeho hloubce, materiálech dna a břehů pro určení drsnosti koryta v jednotlivých úsecích. Data pro sestavení modelu, konkrétně výškové rozvržení podélného profilu, tvar a hloubka jednotlivých příčných profilů, byly získávány z vytvořeného grafického modelu terénu TIN. Pro určení jednotlivých drsností koryta bylo nezbytné podrobněji prozkoumat, posoudit a nafotit koryto. Při tomto průzkumu jsem zjistil, že materiál dna je převážně štěrkový, místy jílový. Místy se vyskytují větší kameny či kořeny. Břehy zatopené části koryta jsou často prorostlé hustou sítí kořenů od doprovodné vegetace toku a materiál je převážně hlinitého charakteru. Břehy

nad úrovní toku jsou často zarostlé hustými keři či vysokou trávou. V místech intravilánu je jako opevnění břehů zvolena kamenná dlažba na cementové maltě. Pro vyjádření drsností koryta byl využit Manningův drsnostní součinitel (n). Při určování jednotlivých drsností koryta toku bylo využito obrázkových katalogů, obsahujících ukázky částí toků s podobným charakterem břehů a dna, jaký se vyskytuje na řešeném toku. Dvě z nejužitečnějších ukázek jsou porovnány s místy na vlastním toku a znázorněny obrázky č.9 a č.10. Dále jsem využíval tabulek drsností viz tab.č. 8 a č. 9. Z těchto jsem pomocí interpolace určoval co možná nejpřesnější drsnostní parametry dna a břehů koryta. Průtoky na toku byly vypočítány různými metodami (matematickými modely, hydrologickým modelem DesQ-MaxQ) a také obdrženy z ČHMÚ.

Obr. č. 9 Koryto s písčitohlinitým dnem a členitými trávou porostlými břehy



Obr.č. 10 Koryto s hlinito-písčitým dnem, kde se místy vyskytují spadlé větve a větší kameny. Břehy kamenité porostlé keři a vzrostlými stromy.



Tab. č. 8 Součinitel drsnosti v závislosti na zrnitosti substrátu

Materiál	hrubý písek	jemný štěrk	štěrk	hrubý štěrk	velmi hrubý štěrk	malé oblázky	oblázky	balvany
velikost [mm]	1-2	4-8	2-64	16-32	32-64	64-128	64-256	>256
n	0,026-0,035 ¹	0,024 ²	0,028-0,035 ¹	0,028 ²	0,032 ³	0,036 ³	0,030-0,050 ¹	0,040-0,070 ¹

(ENGMAN 1986)

Tab. č. 9 Hodnoty Manningova drsnostního součinitele n pro otevřená koryta

Druh koryta a jeho popis	drsnostní součinitel n		
	minimální	střední	maximální
<i>s hustou pleveľ. travou nebo vod. rostlinami v hlub. korytech</i>	0,030	0,035	0,040
<i>hlinité dno a štěrkové svahy</i>	0,028	0,030	0,035
<i>kamenité dno a zaplevelené břehy</i>	0,025	0,035	0,040
<i>na dně valouny, čisté břehy</i>	0,030	0,040	0,050
3. Kanály vyhloubené rypadlem s vlečným korečkem nebo sacím bagrem			
<i>bez vegetace</i>	0,025	0,028	0,033
<i>se slabým keřovým porostem na březích</i>	0,035	0,050	0,060
4. Kanály ve skalních horninách			
<i>hladké s jednotným profilem</i>	0,025	0,035	0,040
<i>drsne a nepravidelné</i>	0,035	0,040	0,050
5. Kanály při nedostatečné technické údržbě, pleveľné trávy a křoviny			
<i>hustý pleveľ stejné výšky jako hloubka</i>	0,050	0,080	0,120
<i>čisté dno, na březích křoviny</i>	0,040	0,050	0,080
<i>totéž za nejvyššího vodního stavu</i>	0,045	0,070	0,110
<i>husté křoviny, vysoký vodní stav</i>	0,080	0,100	0,140
Štěrkové dno se stěnami			
<i>z betonu hlazeného</i>	0,015	0,017	0,020
<i>z betonu hrubého</i>	0,017	0,020	0,025
<i>ze smíšeného kamene do betonu</i>	0,020	0,023	0,026
<i>z lomového kamene na sucho, nebo s pohozem</i>	0,023	0,033	0,036
Přirozené vodní toky			
1. Malé toky se šířkou hladiny při velké vodě < 30 m			
<i>Rovinné toky</i>			
<i>čisté, přímé, zaplněný profil, bez peřejí a tůní</i>	0,025	0,030	0,033
<i>totéž, ale s přítomností kamenů a plevele</i>	0,030	0,035	0,040
<i>zakřivená trasa, čisté koryto s tůněmi a peřejemi (brody)</i>	0,033	0,040	0,045
<i>totéž, ale s kameny a plevelem</i>	0,035	0,045	0,050
<i>totéž při nižším vodním stavu, s výraznými brody (peřejemi)</i>	0,040	0,048	0,055
<i>se zákruty, tůněmi a brody, větší množství kamenů</i>	0,045	0,050	0,060
<i>bahnité úseky, hluboké tůně, zarostlé plevelem, při malých rychlostech vody</i>	0,050	0,070	0,080
<i>velmi zaplevelené úseky s hlubokými tůněmi, občasná inundační koryta se stromy a křovinami</i>	0,075	0,100	0,150

(ENGMAN 1986)

6.3 Sestavení modelu Hec-Ras

Jako první krok pro správné fungování programu, byla nastavena v Ovládacích panelech Místního nastavení jako oddělovač desetin tečka namísto čárky. Z důvodu vývoje programu v USA je nutné nastavení jednotek do soustavy SI. Tuto operaci provádíme v těchto krocích: *Options - Unit system - Systém International (Metric System)*.

K funkčnosti neustáleného modelu HEC-RAS 4.0 je zapotřebí změny národního prostředí následujícím způsobem:

Obecné:	Angličtina (Spojené státy)	
Čas:	h:mm:ss tt	
Datum:	Krátký formát	MM/dd/rr
	Dlouhý formát	Dd MMMM, rrrr
	Oddělovač	/

V programu HEC-RAS jsou veškeré operace související se soubory uskutečňovány v takzvaných projektech. Všechny soubory, které byly vytvořeny v rámci jednoho projektu, mají před příslušnou příponou automaticky shodný název jako řešený projekt. Informace související s projektem se automaticky ukládají do souboru jméno.prj, tento soubor textového typu, je možno editovat i mimo vlastní program. Je zde však možnost vytvářet celou řadu dalších souborů (Křovák 2004) Soubory obsažené v projektu:


- soubor pro projekt	.prj
- soubor pro každý plán	.P01 - .P99
- soubor pro každou variantu geometrických dat	.G01 - .G99
- soubor pro každou variantu okrajových podmínek	.F01 - .F99
- soubor pro každý průběh výpočtu	.R01 - .R99
- soubor obsahující výsledky pro každý plán	.O01 - .O99

Veškeré výše uvedené soubory jsou postupně vytvářeny programem za použití funkce *Save As*. Označení souborů 1 až 99 je automaticky přiřazeno dle pořadí vzniku. Za předpokladu odstranění jednoho ze souborů, je číslo daného souboru neobsazené. Program HEC-RAS dále dovoluje kromě vlastního jména souboru i vytvoření dalšího označení, to je na rozdíl od jména souboru v průběhu práce možno editovat pomocí příkazu *Rename File* (Křovák 2004).

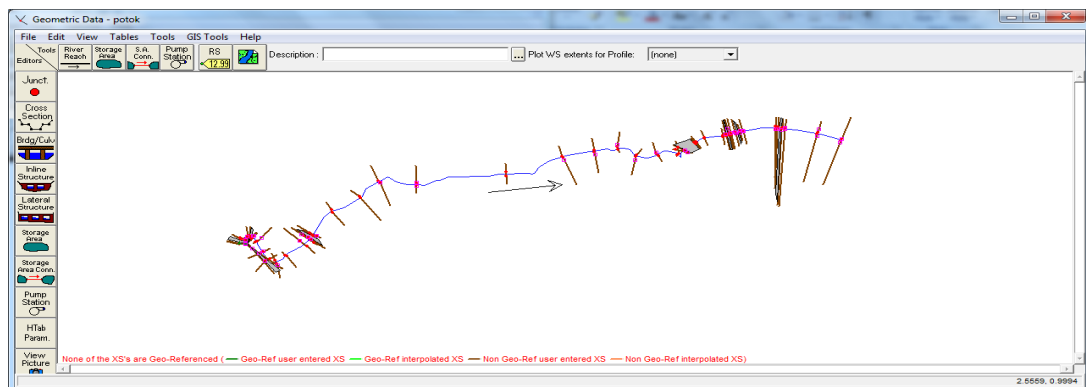
Při přípravě modelu toku jsem postupoval následujícími kroky.

- 1) Zhotovení nového projektu
- 2) Schematizace vodního toku
- 3) Zadání vstupních dat charakterizující geometrii toku
- 4) Vytvoření příčných profilů na toku
- 5) Určení okrajových podmínek _ N-letých průtoků
- 6) Výpočet, zobrazení a zpracování výsledků


6.3.1 Schematizace říční sítě

Základním krokem pro tvorbu geometrického modelu řešené části koryta včetně inundace je návrhí schematizace říční sítě. Vytvoření schematizace říční sítě se provádí pomocí ikony *River Reach*  v *Geometric Data*. Následně v přípravném oknu pomocí myši vykresluje vedení trasy koryta toku. Každé zmáčknutí levého tlačítka myši vytvoří bod polygonu trasy. Dvojklikem se ukončuje nákres dané větve či úseku a zobrazí se okno, do kterého se zapíše *River Name* (Název toku) a *Reach Name* (Jméno úseku). Je také možnost vkládání reálných souřadnic pomocí příkazu *Reach schematic Lines* neboli *XS Schematic Lines* (*Gis Toos - Reach Invert Lines Table - ..*), následně vložíme data z předem připravených souborů do programu. Další variantou zakreslení schematizace říční sítě je zakreslování toku na předem naskenovaný mapový podklad, který byl vložen do okna ve formě mapy. K tomuto slouží příkaz *Background Picture* (DALY ET VUYOVICH 2003).

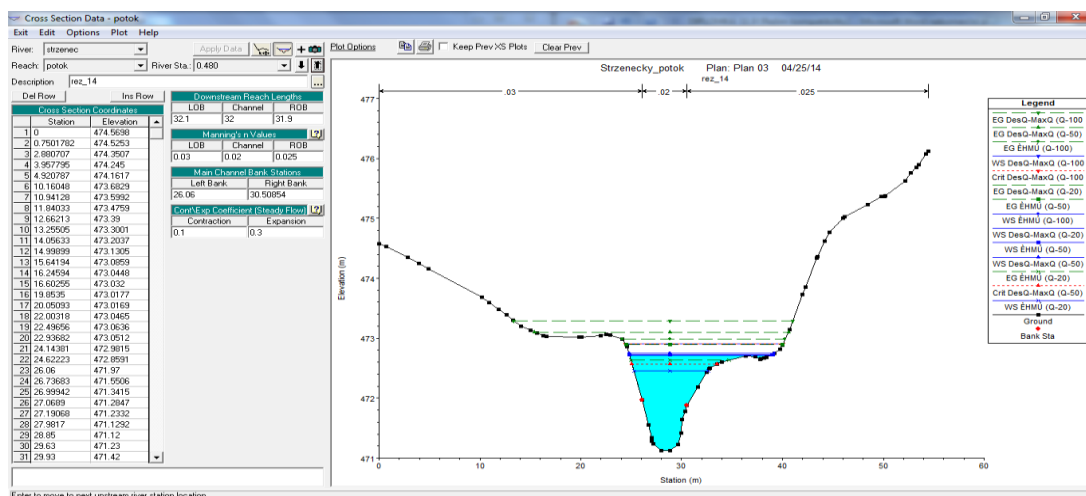
Obr. č. 11 Ukázka říční sítě s příčnými profily




6.3.2 Vytváření příčných profilů

Vytváření příčných profilů umožňuje ikona *Cross Section* . Po rozkliknutí se otevře dialogové okno, do kterého vložíme nový profil (*Option - Add a New Cross Section*). Do kolony *River Station* zadáme postupné staničení profilů, nově vložený profil je poté v programu umístěn do databáze příčných řezů a vykreslen do schématu zobrazení říčního toku. V mé práci se jedná o 33 příčných řezů. Při navrhování příčných řezů bylo pro jednoznačné určení jejich polohy aplikováno reálné staničení toku v km. Po zadání staničení je možno vložit slovní popis daného profilu, k čemuž slouží okno *Description*. Řezy byly vkládány především v místech výrazných změn koryta toku a v okolí objektů na toku, kdy se řez vkládá před a za daný objekt. V rámci mého projektu jsou všechny příčné řezy vedeny zleva doprava ve směru toku. Dále musí být kolmé na osu vodního toku. Řezy jsou tvořeny hodnotami staničení a příslušnými nadmořskými výškami. Zapisování bodů staničení příčného profilu se provádí ve sloupci *Station*. Pro nadmořské výšky slouží sloupec *Elevation*. *Zadávání se provádí pomocí Cross Section XY Coordinates*. V programu je přednastaveno maximální množství sto řádků, toto množství je možno přenastavit pomocí položky *Option*. Distance jednotlivých profilů se zadávají do okna *Down Stream Reach Lengths*, kde se zadávají samostatné hodnoty vzdáleností pro pravou část inundace, koryta a levé části inundace. Pro totožný úsek se ještě v okně *Manning's n Values* zadávají Manningovi drsnostní poměry břehů a koryta. Dále pomocí okna *Main Channel Bank Stations* zadáme vodorovné souřadnice bodů oddělujících hlavní koryto od břehové hrany. Po odkliknutí *Apply Data* následuje vyhodnocení dat programem. V případě, že hodnota nesouhlasí s některým se zadaných bodů, program to oznámí. Pomocí této funkce musíme zadané hodnoty v tabulkách odeslat. V opačném případě by s nimi program nekalkuloval a pracoval by pořád se starými hodnotami. Pomocí volby na posledním řádku můžeme změnit hodnoty součinitele místních ztrát (k tomu dochází při náhlém zúžení, či rozšíření profilu). V tomto případě zůstala hodnota nepozměněna.


Obr. č. 12 Ukázka příčného řezu v HEC-RAS







V programu je možno využít dalších funkcí sloužících k přesnějšímu zadání příčných profilů. Například *Options - Ineffective flow areas* nebo *Levees* umožňují zadat pasivní průtočnou zónu, která se zadává v případě, že je nižší hladina vody než úroveň pasivní průtočné plochy. Při zadávání postupujeme následovně:

otevřeme ikonu *Edit/Enter geometric data* , poté klikneme na *Edit and/or create cross sections*. Otevře se nám okno *Cross Section Data*, ve kterém zvolíme v příkazovém řádku *Options a* následně *Ineffective flow areas*. V této tabulce zvolíme *Multiple Blocks*. Do sloupečku *Start Sta* zadáváme spodní okraje zóny. Do sloupečku *End sta* horní okraje zóny a do sloupce *Elev* zadáváme staničení spodního okraje objektu. V situaci kdy hladina překročí navrženou mez, je daná zóna uvažována jako průtočná, (Křovák 2004, BRUNNER 2008).

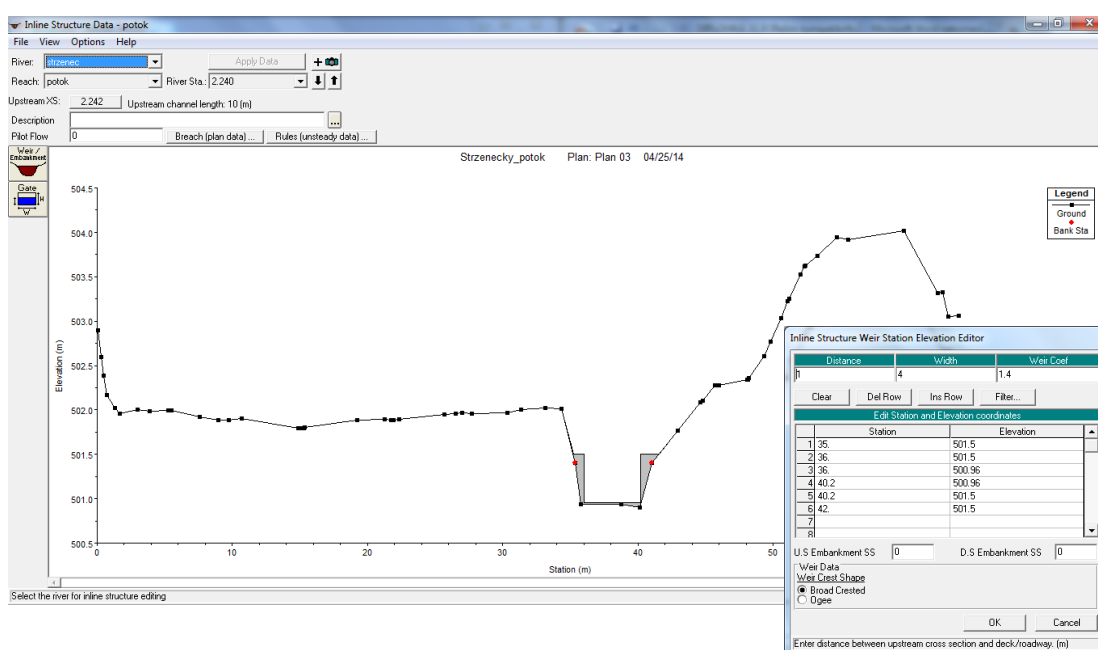
6.3.3 Návrh objektů

Program HEC-RAS je možno využít k výpočtu proudění množstvím objektů, mezi které patří jezy, mosty a propustky. Pro zadání mostu či propustky zvolíme ikonu *Brdg/Culvs*, , kterou je možno dohledat v okně *Geometric Data*. Pro vložení objektu je nutné mít dva řezy v těsné blízkosti nad a pod objektem.

Nový objekt se vkládá příkazem *Options - Add a new Bridge/Culvert*. Následně se vloží staničení daného objektu, které určí polohu objektu mezi příčnými řezy. Konstrukce určitého objektu zadáváme pomocí funkce *Deck/Roadway* . Následně se do pole *Distance* zadávají jednotlivé vzdálenosti mezi horním okrajem a horním příčným profilem, jsou to hodnota přepadu *Weir Coef* a šířka objektu *Width*. Stavební rozměry objektu určuje vodorovné staničení *Station*, horní úroveň


mostovky *High* a spodní úroveň mostovky *Low Cord*. Je zde možnost nastavení způsobu proudění mostním objektem, k tomu slouží funkce *Bridge Modelling Approach* . V této práci byla standardně všem objektům nastavena varianta *Energy (Standard Step)*. Význam této funkce spočívá v tom, že výpočet je prováděn pomocí energetické rovnice. Při návrhu skluzu bylo využito funkce *Inline Structure* , kde se následně rozklikla ikona *Weir/Embarkment* , pomocí níž se zobrazí tabulka, do které zadáme pomocí vzdálenosti ve sloupci *Station* a nadmořské výšky ve sloupci *Elevation* hodnoty daného objektu (Křovák 2004).

Obr. č. 13 Ukázka objektu v HEC-RAS (Kamenný skluz)



6.3.4 Návrh okrajových podmínek

Tyto podmínky jsou nezbytné k navržení simulace proudění. Jejich správné vymezení je závislé na vhodné volbě režimu výpočtu. V případě ustáleného proudění volíme jedinou hodnotu u obou uzávěrových profilů řešeného úseku a to průtok či výšku hladiny, nebo je možno zvolit jinou hydraulickou podmínku.

K zadání okrajových podmínek slouží ikona *Steady Flow Data*  na základním panelu.

Prvním krokem je zadání počtu simulací, řešených k daným průtokům. Tomuto příkazu slouží pole *Enter/Edit Number of Profils*. Pro posuzované území bylo zadáno šest n-letých průtoků. Tři z nich (Q_{20} , Q_{50} , Q_{100}) byly převzaty z mé bakalářské práce, kde byly odvozeny pomocí modelu DesQ-MaxQ. Následující

tři průtoky (Q_{20} , Q_{50} , Q_{100}) jsem obdržel v Českém hydrometeorologickém ústavu v Praze. Po zadání příkazu se zobrazil počet požadovaných polí. Do těchto polí se zapíše jednotlivé průtoky. V *Options/Edit Profile Names* změním názvy jednotlivých polí tak, aby odpovídaly daným průtokům. Následným krokem bylo zadání typu okrajových podmínek. Pomocí pole *Reach Boundary Conditions* byla zvolena možnost *Critical Depth* (kritická hloubka v dolním profilu). Pro každý profil lze nastavit různé typy okrajových podmínek, slouží k tomu funkce *Set boundary for one profile at a time*. Ukončení zadávání okrajových podmínek se provádí pomocí *OK*, přerušení zadávání pomocí *Cancel*. Na závěr po zadání všech okrajových podmínek se data musí uložit, k tomuto účelu slouží funkce *Apply* (Křovák 2004).

6.3.5 Výpočet ustáleného nerovnoměrného proudění

V primárním okně je nejprve zobrazen název plánu v poli *Plan*, v kolonce *Short ID* se zobrazí jeho krátký popis. V programu HEC-RAS znamená slovo *Plan* kombinaci vytvořeného souboru s geometrickými daty a daty s okrajovými podmínkami. Tak se v plánu uchovávají potřebné informace pro spuštění výpočtu nerovnoměrného proudění. Příkazovými řádky *Geometry File* a *Steady Flow File* je možné spustit různé kombinace z nabídky již vytvořených souborů. Pro podrobný popis plánu slouží okno *Plan Description*. Pomocí funkce *Flow Regime* je možno nastavení charakteru proudění. Program HEC-RAS operuje s různými typy proudění, např. říční (*Subcritical*), bystřinné (*Supercritical*) a smíšené (*Mixed*). Po vhodném výběru proudění se výpočet spouští pomocí příkazu *Compute* (Křovák 2004). Pro mou práci jsem zvolil posouzení říčního proudění.

6.3.6 Prezentace výsledků hydrologického modelu HEC-RAS

Výsledky mohou být prezentovány jednak v grafické podobě, ale také v podobě tabelární. V hlavním menu se aktivují grafické výstupy, zadávání tisku či kopírování dat do jiných programů typu Excel, MS Word a dalších se provádí pomocí příkazu *File*.

V této práci byla prezentace výsledků provedena pomocí příkazu *View*, který se nachází v hlavním menu. Výhodou je možnost otevření více grafických výstupů.

Možnosti prohlížeče *View* :


- Water Surface Profiles* - znázornění podélného profilu
- Cross section* - znázornění jednotlivých příčných řezů
- General Profile Plot* - průběh jednotlivých veličin v podélném profilu
- Rating Curves* - konsumpční křivky profilů


-X-Y-Z perspective Plots - prostorový výkres koryta

Totožně jako grafické výstupy i výstupy tabulkové aktivujeme pomocí příkazu *View* na hlavním panelu. Je zde však možnost využití obrázkových ikon pod hlavním panelem, pomocí kterých můžeme zobrazit :

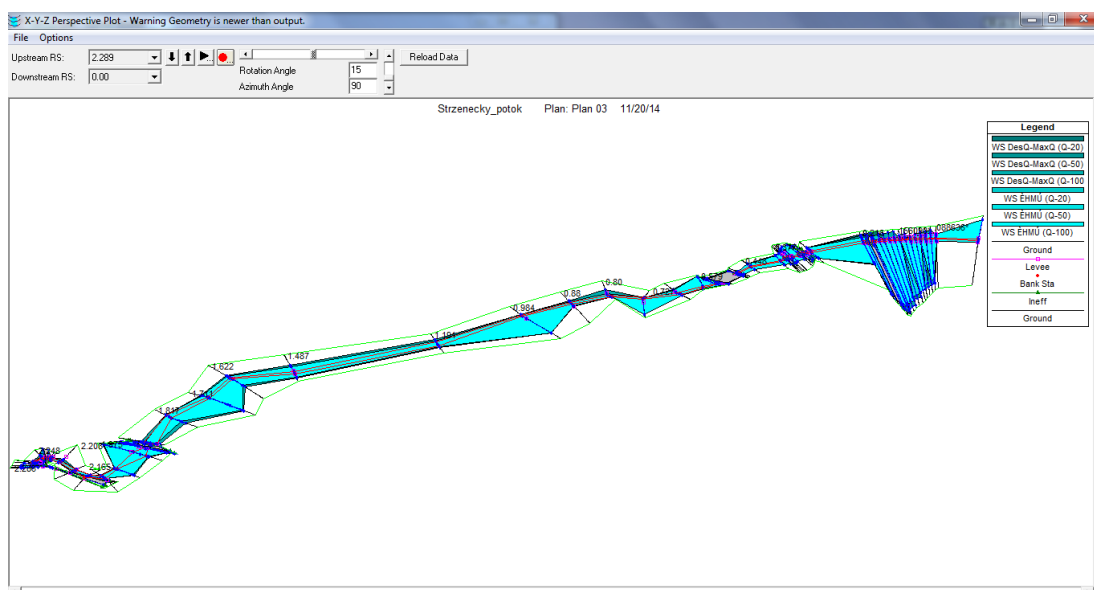
-*Detail Output at XS*  -Podrobné výsledkové tabulky pro jednotlivé profily.

-*Summary Output Tables by Profil*  - Souhrnná výsledková tabulka.

-*Summary of Errors, Warnings and Notes*  -Zpráva o chybách a výpočtech.

V programu HEC-RAS je možno simulovat modelové situace záplavového území pro jednotlivé průtoky. S využitím funkce *View 3D multiple cross section plot*  byla zahájena simulace znázorňující stoletý průtok, jehož ukázka je na obrázku č. 14. Pro lepší znázornění simulací rozlivu u jednotlivých průtoků, byla záplavová území přenesena pomocí ArcGIS na podkladovou mapu. T té byl následně vytvořen mapový výstup v měřítku 1:10 000. U dříve zmiňovaných šesti průtoků bylo zhotoveno hydrotechnické posouzení. Pro vykreslení záplavových území do podkladové mapy byly použity průtoky (Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}), které byly stanoveny pomocí matematického modelu DesQ-MaxQ a průtoky (Q_{20}, Q_{50}, Q_{100}), jež byly poskytnuty z ČHMÚ.

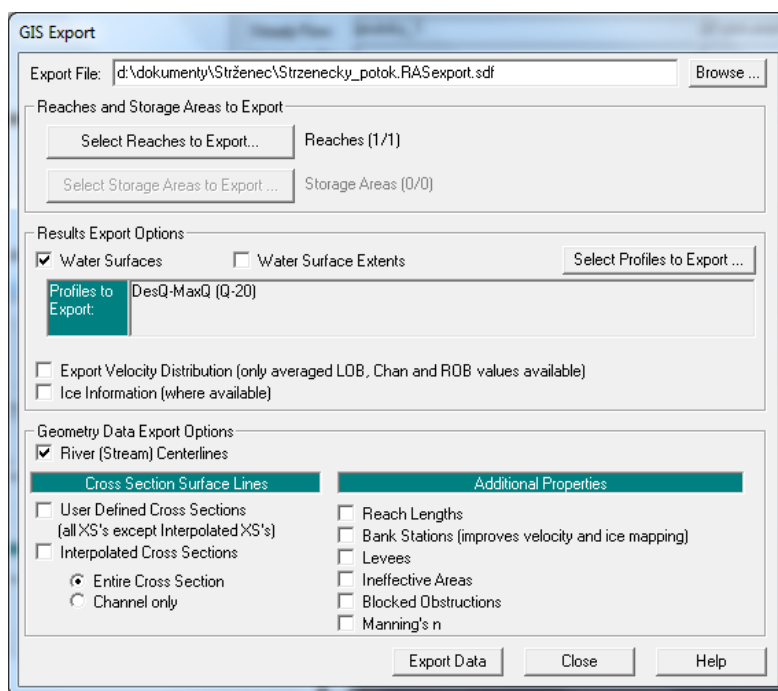
Obr. č. 14 Ukázka stoletého průtoku HEC - RAS



6.3.7 Export dat z HEC-RAS do ArcGIS

Tento krok byl nutný pro přehlednější a lépe představitelné znázornění aktivních zón záplavových území. Operace byla zahájena otevřením příkazu *File* na hlavním panelu, kde se po otevření funkce *Export GIS data* objeví tabulka (obr. č. 15)

Obr. č. 15 Tabulka pro Export GIS dat



K výběru toku slouží příkazová ikona *Select Reaches to Export* v poli *Reaches and Storage Areas to Export*. Následným krokem byl výběr průtoků, které chceme exportovat. K tomuto účelu slouží pole *Results Export Options*. Pro export byly zvoleny průtoky (Q_{20} , Q_{50} , Q_{100}) obdržené na ČHMÚ a převzaté průtoky z Bp. Pro zajištění odeslání souřadnic bodů a jejich nadmořských výšek, byla zaškrtnuta funkce *Water Surface Extents*. Po těchto krocích vznikne soubor s příponou *sdf*. Tento soubor je možno otevřít v *Excelu*, kde se otevře tabulka jako průvodce importu. V té je nutno zaškrtnout oddělovač. V následujícím okně označíme jen čárku a pokračujeme dále pomocí příkazu *další*. V zobrazeném okně zvolíme příkaz *dokončit*. Následně se data zobrazí jako blok souřadnic v *Excelu*, nad nimi je vždy znázorněno o jaký průtok (profil) se jedná.

Poté je nutné překopírovat zvolená data do nového sešitu v *Excelu* a při ukládání zvolit formát *.txt* (text oddělený tabulátory). Výhodou tohoto formátu je, že je podporován *ArcCatalogem*. Po zobrazení tabulky souřadnic označíme první

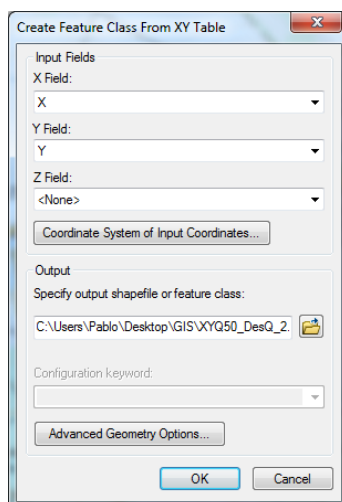
sloupec X, druhý sloupec Y a vložíme hodnoty překopírovaných souřadnic. Ukázka této tabulky s vybranými souřadnicemi obr. č. 16.

Obr. č. 16 Tabulka s vybranými souřadnicemi PF

116	PROFILE LIMITS:		
117	PROFILE ID:DesQ-MaxQ (Q-50)		
118	POLYGON:		
119	-1.233	-0.004	504.788
120	-1.411	0.138	504.788
121	-1.426	0.138	504.788
122	-1.44	0.138	504.788
123	-1.503	0.153	504.788
124	-1.499	0.158	504.788
125	-1.477	0.193	503.774
126	-1.455	0.185	503.327
127	-1.408	0.238	502.947
128	-1.386	0.238	502.008
129	-1.392	0.189	502.008
130	-1.375	0.185	501.089
131	-1.369	0.185	500.485
132	-1.336	0.174	500.23
133	-1.325	0.096	498.726
134	-1.296	0.113	498.726
135	-1.261	0.079	497.479
136	-1.285	0.084	496.251
137	-1.239	0.09	496.12
138	-1.23	0.231	495.091

Dokument s příponou .txt otevřeme v *ArcCatalogu*, následně po kliknutí pravého tlačítka zvolíme funkci *Create feature class*. Zobrazí se tabulka, kterou vyplníme dle následující ukázky na obr. č. 17. Pomocí příkazového okna *Coordinate System of input Coordinate..* musíme zvolit potřebný souřadnicový systém, který je nezbytný pro správnou funkci programu.

Obr.č. 17 Tabulka sloužící k vytvoření vrstvy z určitých souřadnic



Po vložení této vrstvy se v programu ArcGis objeví bodová vrstva s jednotlivými body. Tyto body byly následně propojeny a výsledkem byla polygonová vrstva.

6.3.8 Výsledky hydrotechnického posouzení

Pomocí programu HEC-RAS byly vytvořeny simulace, umožňující vizuální znázornění záplavových území pro jednotlivé N-leté průtoky. Tyto simulace byly následně převedeny do programu ArcGis, pomocí kterého budou vytvořeny přehlednější ukázky rozlíví toku. Tyto ukázky budou v přílohách č. 18, 19 a 20. Výsledky posouzení Strženeckého potoka znázorňují velikosti zaplavených území v okolí toku při jednotlivých N-letých průtocích. Hydrotechnické posouzení bylo prováděno pro šest různých průtoků, kdy byly posouzeny tři hodnoty z mé vlastní práce a tři hodnoty obdržené na ČHMÚ. Velikost, tvar a plochy rozlívů byly vykresleny pomocí ArcGis programem do podkladových map v měřítku 1:10 000.

7. Charakteristika povodí a vodního toku

Strženecký potok s hydrologickým pořadím 1-09-03-077 je levostranným přítokem řeky Chotýšanky, která napájí část soustavy rybníků v okolí obce Jankov. Mezi největší řadíme Královnu, Roháč a Hrad, do něhož ústí celá soustava a ze kterého vytéká již zmiňovaná řeka Chotýšanka. Rybníky slouží převážně k rybochovným účelům.

Pramen řešeného vodního toku se nachází mezi vesnicemi Jiřín a Kaliště poblíž lesa, na podmáčené louce. Zde vytéká z malého rybníka, do kterého se stékají povrchové vody z louky a ve kterém je i spodní pramen (foto č.14). Rybník je ideálním útočištěm pro obojživelníky, jelikož se v něm nenachází žádné ryby pojídající jejich plůdky. Trasa vodního toku následně vede loukou, kde se místy ztrácí v jílovotopísčitém terénu porostlém trsy vysoké trávy. Zhruba po 900m tok vyvěrá ze svahu (foto č.13) na pomezí louky a lesa. Odtud začíná meandrovat jako souvislý vodní tok lesem smíšeného charakteru. Setkáme se zde s dubem letním *Quercus robur*, olší lepkavou *Alnus glutinosa*, jasanem ztepilým *Fraxinus excelsior*, smrkem ztepilým *Picea abies*, borovicí lesní *Pinus sylvestris*. Břehy jsou v lese erozivní, často ne příliš výrazné. Dochází zde k častému vylévání toku z koryta způsobené jarním táním či vydatnými přivalovými dešti. Dno je mělké místy hlinitopísčité.

Před vtokem do rybníka Stržence, který bude charakterizován v kapitole věnované rybníkům, se do toku v podmáčeném lesním úseku v 2.74 km vlévá levostranný přítok, pramenící na rozhraní lesa s polem (foto č 26). Potok pokračuje podél lesa až do zmiňovaného soutoku (foto č. 11). V 2.68 km tedy zhruba o 60 metrů dále po proudu se vlévá další přítok nyní však pravostranný. Vytéká z hráze rybníka u hájenky, protéká lesem, kde se do něj vlévá malý levostranný přítok. Poté se začne stáčet podél hlavního toku a následně do něj zaústí. Do Strženeckého rybníka se mimo hlavního toku vlévá ještě jeden levostranný přítok v 2.45 km, který vytéká z rybníka Stéblence (foto č. 24). Tento přítok má zpevněné koryto prefabrikovanými betonovými tvárnicemi, sloužícími k zamezení eroze dna a následného zanášení rybníka při vypouštění výše položeného Stéblence. Na výtoku z rybníka protéká Strž.pot. prvním řešeným objektem. Jedná se o betonovou propustku pod silnicí Jankovská Lhota - Ouběnice v 2.28 km (foto č. 10). Asi po čtyřiceti metrech se tok ostře stáčí doprava, kde protéká betonovým skluzem v 2.40 km a pokračuje podél hráze rybníka, zhruba po padesáti metrech se tok ostře stočí doleva a pokračuje vymletým korytem v podmáčeném terénu

směrem k dalšímu objektu. Jde o betonovou propustku pod silnicí Strželec - Hlivín v 1.94 km (foto č. 8). Následně tok meandruje zemědělskými pozemky s převládajícím charakterem pastvin na levém břehu a polí na břehu pravém. Potok je zde po obou březích doprovázen poměrně vzrostlými olšemi lepkavými (*Alnus glutinosa*). V 1.81 km přitéká levostranný přítok (foto č. 7), vytékající z drenážního systému v polích nad tokem. Poté tok protéká obcí Hlivín podél nově zrekonstruované hráze místního rybníka. Za rybníkem se v 0.82 km vlévá nejdelší a nejvodnatější přítok (foto č. 5) pramenící z drenážního systému v okolí rybníka u hájenky (foto č. 18 a 19). Vodní tok následně protéká podél silnice Hlivín - Pičín, kterou v 0.51 km podtéká dlouhou kameno-betonovou propustí (foto č. 4), následně pokračuje podél stejné komunikace v poměrně hlubokém korytu. V této části jsou přes tok postaveny příjezdové mosty, zajišťující dostupnost pozemků od komunikace. Jedná se o železobetonové desky položené na kamenných zídkách, mosty se nachází v 0.372km (foto č. 28) a v 0.338 km (foto č. 29). Tok ještě protéká podél rybníka ve Vojslavicích (foto č. 2). Opět podtéká komunikaci betonovým propustkem v 0.21 km a po 210 metrech se vlévá jako levostranný přítok do řeky Chotýšanky (foto č. 1).

Celková délka vodního toku činí 4.95km. V úsecích lesního porostu jsou břehy erozní, dno šterkovité a mělké. V úsecích, kde tok protéká zemědělskou půdou jsou břehy často porostlé trávou, křovinami (líska, olše, trnka), místy vzrostlými stromy (olše lepkavá, dub letní, jasan ztepilý). Břehy jsou poměrně soudržné, jen v namáhaných místech (konkávní části břehů, místa dalšího přítoku, místa se zvýšeným vířením vody jako jsou místa za propustkami či jezy) dochází k erozi břehů a dna. Některé úseky mají opevněné dno betonovými prefabrikáty. V místech intravilánu jsou oba břehy opevněné kamennými zdmi, dno je mělké hlinitopísčité, místy se vyskytují větší kameny.

Povodí disponuje velice členitým reliéfem s rozmanitými nadmořskými výškami. Nejnižší místo povodí se nachází nedaleko uzavírajícího profilu, nachází se v nadmořské výšce 469 m.n.m. Nejvýše položené místo se nachází v jihovýchodním cípu povodí, jedná se o vrchol Džbány s nadmořskou výškou 688.m.n.m.

Zastoupení luk polí a pastvin je poměrně stejné, zaujímají přibližně 60% povrchu povodí, 1% připadá vodním plochám, les činí 27% a 12% území pokrývají vodní plochy. Nárůst zastavěných ploch bude mít vliv na množství odtékané vody z povodí.

Dle geografického hlediska lze povodí rozdělit do dvou částí. V části povodí s vyšší nadmořskou výškou, která se nachází v okolí pramene, převládají půdy složené ze středně zrnitého porfyrického melanokrálního amfibol-biotického granitu, v části s nižší nadmořskou výškou, rozkládající se v okolí uzavírajícího profilu, převládají půdy složené z leukokrálního migmatu a biotitického migmatitu s převládajícím stromatitickým typem půd. Podél celého toku a v těsné blízkosti jeho koryta převládají půdy deluviofluviální písčité až hlinité sedimenty. V místech častého vylévání toku z koryta se nachází půdy s deluviálními písčito-hlinitými až hlinitokamenitými sedimenty viz příloha č. 8.

Charakteristika rybníků

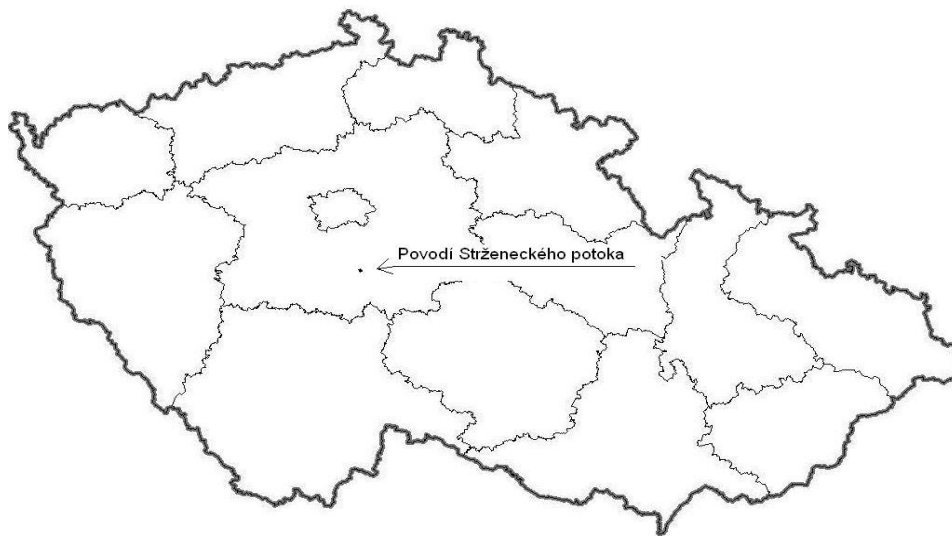
Strženecký rybník (foto č. 23) má v nejširším místě 180m vzdálené břehy, délku hráze 150m o šířce koruny hráze 8 m. Hráz zpevňují dvě řady vzrostlých dubů letních (*Quercus robur*). Na hrázi byla vybudována 4m široká silnice Strženec - Jankovská Lhota. Rybník je využíván k chovu ryb a také slouží jako hnízdiště vodního ptactva.

Rybník Stéblenec (foto č. 24) je také využíván k chovu ryb a jako hnízdiště pro vodní ptactvo. Napájí jej drenážní soustava sloužící k odvádění zvýšené hladiny podzemních vod z okolních polí, luk a pastvin (foto č. 25)

7.1 Geometrické charakteristiky

Plocha celého povodí	F = 10,573 [km ²]
Plocha pravého povodí	FP = 6,184 [km ²]
Plocha levého povodí	FL = 4,389 [km ²]
Délka údolnice hlavního toku	LU = 5,070 [km]

Obr. č. 18 Vyznačení povodí v rámci České republiky



(ZEMAN 2012)

Střední šířka povodí (B)

$$1) \quad B = \frac{F}{Lu}$$
$$B = \frac{10,573}{5,070}$$
$$B = 2,085 \text{ km}$$

Součinitel tvaru povodí (vychází ze tvaru obdélníku)

$$2) \quad \alpha = \frac{F}{Lu^2}$$
$$\alpha = \frac{10,573}{5,070^2}$$
$$\alpha = 0,411 \text{ km}^2$$

Součinitel asymetrie (a)

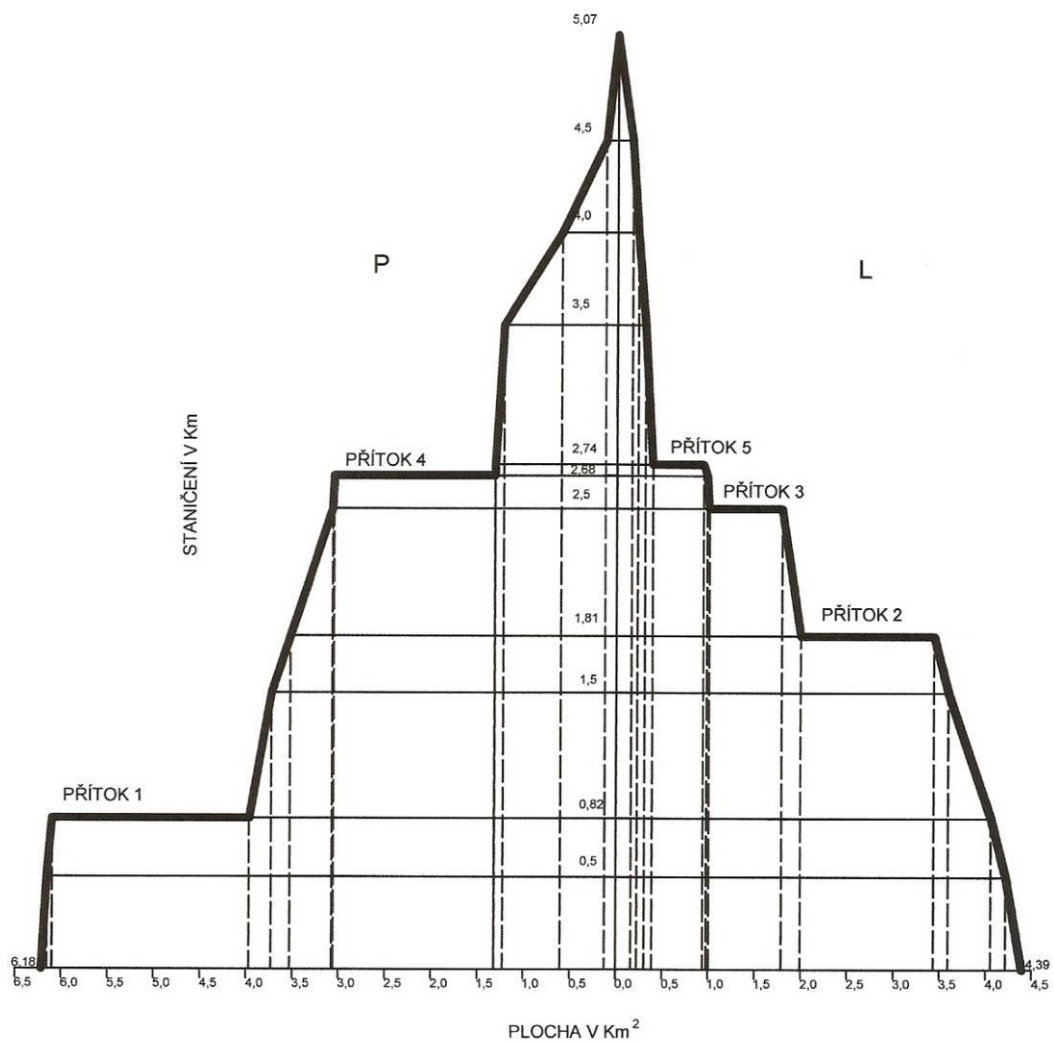
$$4) \quad a = \frac{F_p - F_l}{F}$$
$$a = \frac{6,184 - 4,389}{10,573}$$
$$a = 0,17 \text{ km}^2$$

Tab. č. 10 Velikost ploch v povodí

Staničení [km]	Plocha povodí levého břehu [km ²]	Plocha povodí pravého břehu [km ²]	Plocha povodí levostranných přítoků [km ²]	Plocha povodí pravostranných přítoků [km ²]
0.5	0.171	0.056	0.000	0.000
0.82	0.162	0.054	0.000	2.121
1.5	0.461	0.234	0.000	0.000
1.81	0.155	0.196	1.454	0.000
2.5	0.203	0.456	0.783	0.000
2.68	0.023	0.016	0.000	1.731
2.74	0.040	0.001	0.547	0.000
3.5	0.082	0.093	0.000	0.000
4.0	0.078	0.623	0.000	0.000
4.5	0.065	0.477	0.000	0.000
5.07	0.165	0.126	0.000	0.000

(ZEMAN 2012)

Obr. č. 19 Graf vyjadřuje nárůst plochy povodí



(ZEMAN 2012)

7.2 Zeměpisná poloha a orografické poměry povodí

Zeměpisná poloha

Zeměpisné souřadnice uzavírajícího profilu:

49°41'16,37" SŠ, 14°43'49,10" VD

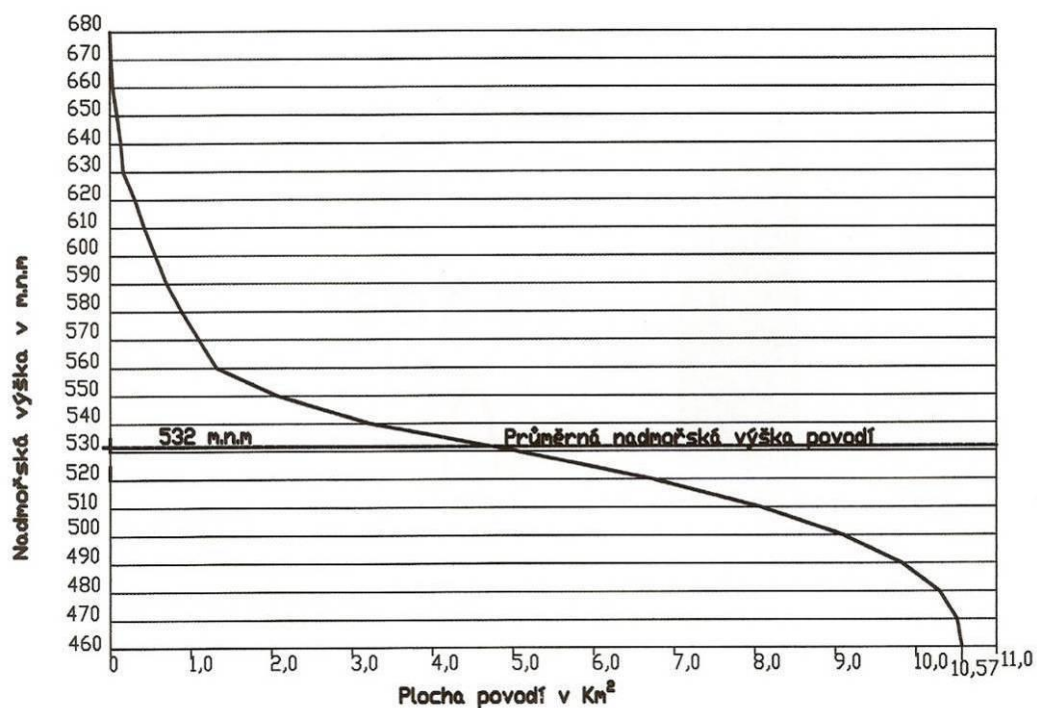
Orografické poměry

Výškové poměry povodí:

Nadmořská výška uzavírajícího profilu:	470 m.n.m
Maximální nadmořská výška povodí:	680 m.n.m
Maximální nadmořská výška údolnice:	578 m.n.m
Průměrná nadmořská výška povodí:	532 m.n.m

Hypsografická křivka

Obr. č. 20 Hypsografická křivka



(ZEMAN 2012)

Průměrná nadmořská výška povodí

$$5) \quad H = \frac{Fh}{x}$$

$$H = \frac{761.05}{10,57}$$

$$H = 72m$$

Sklonové poměry povodí

Střední sklon svahu – výpočet dle Herbsta

a) Pro povodí levého břehu

Dle tabulky pro výpočet průměrné délky všech vrstevnic I_{sil} pro levé svahy povodí.
Viz příloha č. 9

$$6.1) \quad I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \Sigma I_{sil}}{F} \cdot 100$$

$$I_{sv} = \frac{10 \cdot 21720}{10573000} \cdot 100$$

$$I_{sv} = 2,1\%$$

b) Pro povodí pravého břehu

Dle tabulky pro výpočet průměrné délky všech vrstevnic I_{sip} pro pravé svahy povodí. Viz příloha č. 10

$$6.2) \quad I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \Sigma I_{sip}}{F} \cdot 100$$

$$I_{sv} = \frac{10 \cdot 42316}{10573000} \cdot 100$$

$$I_{sv} = 4\%$$

c) Pro celé povodí toku

Dle tabulky pro výpočet průměrné délky všech vrstevnic I_{si} pro svahy celého povodí.
Viz příloha č. 11

$$6.3) \quad I_{sv} = \frac{\Delta h \cdot \Sigma l_{si}}{F} \cdot 100$$

$$I_{sv} = \frac{10 \cdot 57559}{10573000} \cdot 100$$

$$I_{sv} = 5,4\%$$

Absolutní spád povodí

$$7) \quad \Delta H = H_{\max} - H_{\min}$$

$$\Delta H = 680 - 460$$

$$\Delta H = 220 \text{ m}$$

Průměrný sklon údolnice

$$8) \quad I_u = \frac{H_{\max,u} - H_{\min,u}}{L_u} \cdot 100$$

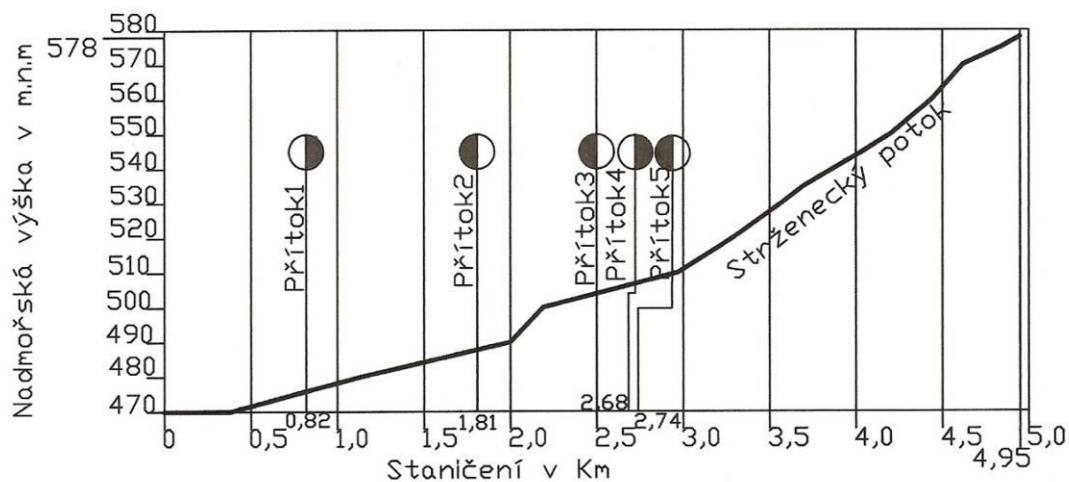
$$I_u = \frac{578 - 470}{5070} \cdot 100$$

$$I_u = 2,1\%$$

Podélný profil toku

Znázorňuje místo na toku, nadmořskou výšku a strany, ze kterých se vlévají jednotlivé přítoky. Podrobnější verze podélného profilu je znázorněna v příloze č. 17.

Obr. č. 21 Podélný profil toku



(ZEMAN 2012)

7.3 Geologické a půdní poměry

Reliéf povodí je velice členitý. V okolí pramene ve výše položených částech povodí se vyskytují půdy ze středně zrnitého porfyrického melanokráního amfibol-biotitického granitu. Zatím, co se v nižší části povodí blíže k uzavírajícímu profilu vyskytují půdy leukokráního migmatitu a biotitického migmatitu, s převládajícím stromatitickým typem.

7.4 Krajinný pokryv řešeného území

Plochu povodí pokrývají v poměrně stejném zastoupení louky, pole a pastviny, celkem zaujímají 60% celkové plochy. Les roste na 27% plochy povodí. Jedním procentem celkové plochy jsou zastoupeny vodní plochy a 12% území pokrývá zastavěná plocha. Lesní porost převládá hlavně v horní části toku. S klesající nadmořskou výškou začíná přibývat polí, luk a pastvin, která postupně nahradí lesní porost.

7.5 Říční síť v povodí

Řád toku : VI

Číslo hydrologického pořadí : /1 – 09 – 03/ - 077

Hlavní tok : Strženecký potok

Levostranné přítoky:

- a) Přítok s malým přítokem, místního významu
- b) Přítok vytékající z drenážního systému nad rybníkem Stéblencem, ústící do rybníka Stržence na hlavním toku.
- c) Přítok místního významu

Pravostranné přítoky :

- a) Přítok vytékající z rybníka u hájenky, který přibírá ještě malý levostranný přítok.
- b) Nejdelší přítok místního významu

8. Odvození hydrologických charakteristik

8.1. Empirické vzorce

8.1.1 Vzorce intenzitního typu (racionální)

Délka svahu:

$$53) \quad L_{sv} = \frac{F}{2 \cdot L_u}$$

$$L_{sv} = \frac{10,573}{2 \cdot 5,07}$$

$$L_{sv} = 1,04 \text{ km}$$

Charakter povodí:

kopcovité s trvalými pastvinami, místy zalesněné se středním sklonem svahu 2 – 10 %.

Střední rychlost proudění po svahu a v údolnici:

Odečteno z tabulky (DUB ET NĚMEC 1969)

$$V_{sv} = 0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$V_u = 0,4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$13) \quad t_{sv} = \frac{L_{su}}{3,6 \cdot V_{sv}}$$

$$t_{sv} = \frac{1,04}{3,6 \cdot 0,8}$$

$$t_{sv} = 0,36 \text{ hod} \approx 22 \text{ min}$$

$$14) \quad t_u = \frac{L_u}{3,6 \cdot V_u}$$

$$t_u = \frac{5,07}{3,6 \cdot 0,4}$$

$$t_u = 3,52 \text{ hod} = 211 \text{ min}$$

Doba koncentrace t_k

$$12) \quad t_k = t_{sv} + t_u$$

$$t_k = 0,36 + 3,52$$

$$t_k = 3,88 \text{ hod} = 233 \text{ min}$$

Náhradní intenzita přívalového deště i_N

Parametry a,b,c pro výpočet přívalového deště, dle NĚMCE.

Hodnoty naměřeny na stanici v Týnci nad Vltavou: a= 10,0; b= 3,0; c= 0,22, vzorec je pro N = 100 let

$$32) \quad i_N = \frac{(a \cdot \log t + b) \cdot N^c}{t}$$

$$i_N = \frac{(10 \cdot \log 233 + 3,0) \cdot 100^{0,22}}{233}$$

$$i_N = 0,32 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Výška výpočtového deště $H_{s,N}$

$$33) \quad H_{s,N} = t_k \cdot i_N$$

$$H_{s,n} = 233 \cdot 0,32$$

$$H_{s,n} = 74,56 \text{ mm}$$

Objemový součinitel φ

$$36) \quad \varphi = \frac{H_{s,N} - V_T - R}{H_{s,N}}$$

$$\varphi = \frac{74,56 - 39 - 10}{74,56}$$

$$\varphi = 0,35$$

Vrcholový součinitel odtoku

Součinitel tvaru hydrogramu je zhruba 0,6.

$$11) \quad \varphi_N = \frac{2 \cdot \varphi}{n_h + 1}$$

$$\varphi_N = \frac{2 \cdot 0,35}{0,6 + 1}$$

$$\varphi_N = 0,44$$

Maximální průtok Q_{100}

$$10) \quad Q_{100} = k \cdot \varphi_n \cdot i_N \cdot F$$

$$Q_{100} = 16,67 \cdot 0,44 \cdot 0,32 \cdot 10,573$$

$$Q_{100} = 24,8 m^3 \cdot s^{-1}$$

8.1.2 Vzorce oblastní (regionální)

Součinitelé vybraného povodí : $A = 4,6$, $n = 0,33$ (hodnoty pro povodí Vltavy pod Otavou).

$$16) \quad Q_N = A \cdot F^{1-n}$$

$$Q_N = 4,6 \cdot 10,573^{1-0,33}$$

$$Q_N = 22,3 m^3 \cdot s^{-1}$$

8.1.3 Vzorce objemové

Vzorec Sokolovského- 1946

Odvození parametrů vzorce:

Určení průměrné rychlosti stékání vody v povodí dle DUBA A NĚMCE (1969) pro charakter daného povodí : kopcovité s trvalými pastvinami, místy zalesněné se středním sklonem svahu 2 – 10 % je $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Doba koncentrace t_k

$$30) \quad t_k = \frac{L}{3,6 \cdot v}$$

$$t_k = \frac{5,07}{3,6 \cdot 0,8}$$

$$t_k = 1,76h = 106 \text{ min}$$

Doba trvání výpočtového deště t_d

$$31) \quad t_d = t_k (t_k + 1)^{-0,20}$$

$$t_d = 1,76(1,76 + 1)^{-0,20}$$

$$t_d = 1,44h = 86,4 \text{ min}$$

Náhradní intenzita přívalového deště i_N

Nezbytné parametry a, b, c pro výpočet přívalového deště, dle NĚMCE.

Hodnoty z měrné stanice v Týnci nad Vltavou: a = 10,0; b = 3,0; c = 0,22. Vzorec pro N = 100 let

$$32) \quad i_N = \frac{(a \cdot \log t + b) \cdot N^c}{t}$$

$$i_N = \frac{(10 \cdot \log 106 + 3,0) \cdot 100^{0,22}}{106}$$

$$i_N = 0,6 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$$

Výška výpočtového deště $H_{s,N}$

$$33) \quad H_{s,N} = t_k \cdot i_N$$
$$H_{s,n} = 106 \cdot 0,6$$
$$H_{s,n} = 63,6 \text{ mm}$$

Objemový součinitel odtoku φ

Odvozeno z mapy izolinií objemového součinitele φ pro vzorec dle Čerkašina- 1964. (Viz příloha 1.)

$$\varphi = 0,4$$

$$34) \quad Q_{100} = \frac{k \cdot H_{s,N} \cdot \varphi \cdot F}{t_k} \cdot f$$
$$Q_{100} = \frac{0,28 \cdot 63,6 \cdot 0,4 \cdot 10,573}{1,76} \cdot 0,6$$
$$Q_{100} = 25,68 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$$

Vzorec Čerkašina- 1963

Objemový součinitel odtoku φ

Odvozeno také z mapy izolinií objemového součinitele φ pro vzorec dle Čerkašina- 1964 (Viz příloha 1.)

$$\varphi = 0,4$$

Průměrná rychlost dobíhání vody v povodí v_s

Průměrná rychlost stékání vody v povodí podle DUBA A NĚMCE (1969) pro charakter povodí: kopcovitě s trvalými pastvinami, místy zalesněné se středním sklonem svahu 2 – 10 % je $0,8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Součinitel, vyjadřující vliv tvaru povodí na hodnotu Q_{100}

Odečteno z grafu v závislosti na součiniteli tvaru povodí, vyjádřeného podílem.

$$54) \quad \frac{L_u^2}{F} = 2,4 \quad \text{--- } p = 1,3$$

$$35) \quad Q_{100} = \frac{24,7 \cdot \varphi \cdot v_s^{\frac{2}{3}} \cdot F}{p \cdot L_u^{\frac{2}{3}}}$$

$$Q_{100} = \frac{24,7 \cdot 0,4 \cdot 0,8^{\frac{2}{3}} \cdot 10,573}{1,35 \cdot 07^{\frac{2}{3}}}$$

$$Q_{100} = 23,46 m^3 \cdot s^{-1}$$

8.2 Hydrologický model DesQ - MaxQ

Tabulky se vstupními parametry a výslednými hodnotami jsou v přílohách č. 13. a č. 14.

9. Výsledky

Jako podklad byly použity výsledky z bakalářské práce viz. tab. č. 11, znázorňující výsledné hodnoty N-letých průtoků z hydrologického modelu DesQ - MaxQ a hodnoty obdržené na ČHMÚ viz. tab. č. 12.

Tab. č. 11 Výstupní hodnoty n-letých průtoků z DesQ-MaxQ

n-leté průtoky z DesQ-MaxQ						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q_N	4,86	8,19	12,7	18,7	24,2	[m ³ .s ⁻¹]

(ZEMAN 2012)

Tab. č. 12 Hodnoty n-letých průtoků z ČHMÚ

n-leté průtoky obdržené na ČHMÚ						Jednotky
N	5	10	20	50	100	[roky]
Q_N	6.5	8	9,7	12,5	15,2	[m ³ .s ⁻¹]

Z výsledných hodnot převedených pomocí modelu Hec-Ras do grafické podoby a následně upravených v programu ArcGis pro lepší představu o rozlité toku, lze určit, při jakých průtocích dochází k vylití toku z koryta a jaké průtoky jsou jednotlivé objekty schopny pojmout. Při průtocích Q_{20} dle ČHMÚ nedochází k vážnějšímu rozlité, zato při průtoku Q_{20} odvozeného pomocí modelu DesQ-MaxQ je rozlité toku markantnější. Dochází k zaplavení rybníků u Hlivína a Vojslavic. Tok zasáhne i některé sklepy přilehlých nemovitostí. Většina objektů je schopna pojmout dvacetileté průtoky (Q_{20}) dle DesQ-MaxQ, tedy padesátileté průtoky (Q_{50}) dle ČHMÚ. V případě padesátiletého průtoku (Q_{50}) dle DesQ-MaxQ je, až na poslední objekt v řešeném úseku hltnost objektů nedostatečná a dochází tedy k jejich přetékání a rozlévání vody mimo koryto toku. Voda zasáhne část průmyslového areálu ve Strženci, zaplaví komunikaci a některé zahrady včetně obytných budov v Hlivíně a Vojslavicích. Logicky k největšímu rozlité dochází při stoletých průtocích (Q_{100}). Dochází k poměrně rozsáhlým rozlivům na přilehlých zemědělských pozemcích, více je zasažen i průmyslový areál ve Strženci. K největším škodám dochází ve Vojslavicích, kde voda zasáhne velké množství obytných budov, přilehlých pozemků a hlavní silnici v této lokalitě. Veškeré rozlivy v grafické podobě jsou k nahlédnutí v přílohách č. 18, 19 a 20.

10. Diskuze

V průběhu sběru dat, potřebných ke správnému výstupu z hydrologického modelu DesQ - MaxQ, jsem zaregistroval rozdílné hodnoty ploch, pokrývajících řešené povodí, oproti údajům z ČHMÚ. Především se jednalo o nárůst zpevněných neboli zastavěných ploch a pokles zalesnění. V povodí Strženeckého potoka došlo k nárůstu orné půdy na úkor luk a pastvin. Plodiny a orba na poměrně svažitém území nejsou vždy řešeny ideálním způsobem. Jako příklady bych uvedl nesprávnou orbu kolmo na vrstevnice a pěstování kukuřice bez použití agrotechnických protierozních opatření na pozemcích se svažitostí více jak 3°. Rozdílnost údajů byla také ve velikosti plochy povodí, ke kterému jsem po vlastním průzkumu přidal ještě části území. ČHMÚ je sice neuvádí, voda z nich však teče do mého toku. Tento poměrně velký rozdíl přisuzuji rozdílným metodám měření ploch a důsledku lidského faktoru (při vynášení rozvodnice jsem zvolil nejzazší možná místa a při následném měření měřil vnější okraj, zato na ČHMÚ postupovali přesně naopak). Při odečítání z CN křivek má lidský faktor také určitý vliv.

Všechny tyto faktory vedly k vyšším hodnotám jednotlivých průtoků na zvoleném toku, než ke kterým došli na ČHMÚ.

Při počítání průtoku jsem využil více metod (vzorců Intenzitních, Oblastních, Sokolovského, Čerkašina a hydrologického modelu DesQ-MaxQ), výsledky z těchto metod se od sebe příliš nelišily a všechny vykazovaly zhruba 58% nárůst průtoku při stoletých povodních.

Protože se jednalo o poměrně velký nárůst možného průtoku a nikde jsem nedohledal žádné hydrotechnické posouzení, ani pro zastaralé průtoky, rozhodl jsem se tedy pro pokračování v tématu.

Pokračoval jsem v hydrotechnickém posouzení Strženeckého potoka a stanovení záplavových území pro N-leté průtoky pomocí modelu HEC-RAS. Porovnám hodnoty obdržené z ČHMÚ s vlastními hodnotami z mé bakalářské práce. Bude se jednat o průtoky Q_{20} , Q_{50} a Q_{100} .

Při porovnání záplavových území v simulacích jednotlivých průtoků je poměrně citelný rozdíl mezi rozlitím při průtoku Q_{100} dle ČHMÚ a Q_{100} dle DesQ-MaxQ. K nejzávažnějším rozlivům dochází před objekty, které nejsou schopny pojmout nadměrné množství přitékající vody. Při detailním zaměření objektů, byla zjištěna skutečnost, že objekty se nejčastěji nachází na území obcí, což s sebou přináší velké riziko ohrožení, jak majetků obyvatel obcí tak i jejich zdraví. K poměrně velkým rozlivům dochází i v částech, kde tok protéká zemědělskými pozemky. Tady je však výhodou, že tok neohrožuje větší majetek ani životy. Je zde

však větší množství stromů, což s sebou přináší riziko, že tok podemele a odnese některý z nich. Ten se poté může v kritickém místě vzpříčit a vytvořit tak umělou hráz, která zapříčiní rozlití toku v nečekaném místě.

K erozi břehů a dna by při větších průtocích docházelo hlavně mimo intravilán (břehy a dno jsou opevněny), tedy v extravilánu, kde dno je šterko-písčité, místy kamenité. Břehy jsou převážně hlinité porostlé travou. Tyto materiály poměrně dobře odolávají erozi při běžných průtocích. Přejde-li zvýšený průtok, začne docházet k erozi a k unášení materiálu. V místech se sníženou unášecí silou se začne materiál usazovat a zmenšovat tak průtočný profil.

Velikost rozlivných ploch nemusí být úplně přesná. Do modelu bylo zadáváno poměrně velké množství vstupních parametrů, které jsem se pokoušel objektivně zadat. Jsou však jemné nyance, například mezi velikostí průtoku a typem materiálu koryta, které určují síly zpomalující proud vody. Tyto faktory jsou poměrně složité k odhadu a vyžadují určité zkušenosti zadavatele. Dále pak zadávání geometrických parametrů koryta a přilehlých inundací jsem určoval pomocí programu ArcGIS a to funkcí *Tin*. Znárodnění povrchu touto funkcí je poměrně přesné, má však určité tolerance, se kterými je nutno počítat. Posledním faktorem, který by mohl mít vliv na správné vyhodnocení kapacity objektů, je nemožnost kalibrace modelu na existující průtoky. Důvodem je absence existujících měření výšek hladin při určitých průtocích a změřených srážkových úhrnech.

11. Závěr

Práce byla koncipována jako hydrotechnické posouzení vodního toku, konkrétně úseku Strženeckého potoka s délkou 2 289 m. Při podrobné studii povodí bylo zaznamenáno několik rozdílností, které pracovníci ČHMU podcenili. Mezi ty nejdůležitější patří změna velikosti povodí, rozdílné zastoupení jednotlivých typů povrchů (zpevněný povrch, pole, pastviny, les) a způsob jejich využití. Tyto odlišnosti vstupních dat měly poměrně velký vliv na výsledné hodnoty průtoků a na následné grafické znázornění rozlití toku v jeho okolí.

Pro smysluplné hodnoty, kterých bylo dosaženo v této práci, bylo nezbytné pečlivé splnění všech stanovených cílů.

Pro správné zadávání vstupních parametrů do vzorců a programů, bylo třeba pochopit danou oblast a získat celkový přehled. Tohoto jsem docíлил podrobným průzkumem toku, objektů na něm a přilehlého okolí.

Jedná se o malý tok místního významu. Nejsou proto na něm prováděna měření ani aktualizace informací, týkajících se hydrologických vlastností povodí a vlastního toku. Data a výsledky získané při této práci by tedy mohly sloužit jako aktualizace zastaralých poznatků o tomto toku.

Přesnost výsledků v této práci by však měla být brána s jistou tolerancí. Nejsem profesionální vodohospodář a na daném toku nebyla provedena přesná měření výšek hladin a průtoků za daných srážkových úhrnů.

Určení výšek hladin při určitých průtocích a srážkových úhrnech je velice důležité pro správné nakalibrování daného modelu a tím tak i pro přesnější výstupy, které upřesní představu o skutečné ohroženosti dané oblasti.

12. Přehled literatury a použitých zdrojů

ADAMEC M., BŘEZKOVÁ L., HANZLOVÁ M., HORÁK J., UNUCKA J., 2006: *Modelování vlivu land use na srážko-odtokové vztahy s podporou GIS*. Příspěvek na konferenci Říční krajina 4. UPOL, Olomouc, 350 s.

BALVÍN P., GABRIEL P., BOUŠKA P. et HAVLÍK A., 2009: *Hydrotechnické posouzení mostních objektů na vodních tocích: Technické podmínky 204. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 94 s.*

BEVEN K. J., 2001: *Rainfall-runoff modeling. The Primer*. London, John Wiley & Sons

BECKER A. et. SERBAN P., 1990: *Hydrological models for water - resources systém design and operation*. Operational Hydrology Report No. 34, WMO, Ženeva. 80 s.

BOITEN W., 2000: *Hydrometry. A. A. Balkema, Rotterdam, Netherlands, 256 s.,*

BRUNNER W. G., 2008: *HEC-RAS River Analysis System: Hydraulic Reference Manual*. online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HEC-RAS_4.0_Reference_Manual.pdf, cit 13.8.2014

BŘEZKOVÁ L., 2006: *Předpovědní systém HYDROG. In: ČHMÚ: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR. Český hydrometeorologický ústav, Praha: C51-C52, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/c52.pdf>, cit. 6. 7. 2014.*

BRUNNER G. W., 2010: *HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual: Version 4.1. US Army Corps of Engineers, Davis, California, 417 s., online: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documents/HECRAS_4.1_Reference_Manual.pdf, cit. 21.10.2014.*

BUCHTELE J., 2002: *Okolnosti ovlivňující využití modelů a tendence v uplatňování různých přístupů*. In Patera A. et al.: *Povodně: prognózy, vodní toky a krajina*. ČVÚT, Praha, 55 s.

BUMERL M., 2003: Hydrologie. *Střední odborná škola pro ochranu a tvorbu životního prostředí Veselí nad Lužnicí, Veselí nad Lužnicí*, 56 s

CLARKE R. T., 1973: *Mathematical models in hydrology*. Irrigation and Drainage paper, No. 19, FAO Rome.

ČSN 75 1400, 1997: Hydrologické údaje povrchových vod, v *platném znění*

CUNDERLIK J. at SIMONOVIC S.P., 2004: *Calibration, verification, and sensitivity analysis of the HEC-HMS hydrologic model*. London: University of Western Ontario, 114 s.

ČÍŽEK P., 1986: Automatické centrály v hydrologii 1. Praha: Státní zemědělské nakladatelství.

DAŇHELKA J., KREJČÍ J., ŠÁLEK M., ŠERCL P., ZEŽULÁK J., 2003: *Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR*. ČZÚ a ČHMÚ, Praha, 196 s.

DALY S. F., VUYOVICH C. M., 2003: *Modeling river ice with HEC-RAS*. CGU HS Committee on River Ice Processes and the Environment: 12th Workshop on the Hydraulics of Ice Covered Rivers. 11 s.

DHI, 2003: MIKE 11 – a Modelling System for Rivers and Channels: Short Introduction Tutorial. Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark, 88 s., online: <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/geoökologie/mike-11-short-introduction-tutorial.pdf>, cit. 13.10. 2014.

DHI, 2007: MIKE SHE User Manual Volume 1: User Guide. *Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark*, 396 s., online:85 http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/WRS/MIKE_SHE_UserGuide.pdf, cit. 15.10. 2014.

DHI, 2012a: MIKE 11 – river modelling unlimited. *DHI, online:* <http://www.mikebydhi.com/sitecore/content/Microsites/MIKEbyDHI/Products/WaterResources/MIKE11.aspx>, cit. 15.10.2014.

DHI, 2012b: MIKE SHE – integrated catchment modelling. *DHI, online: <http://www.mikebydhi.com/Products/WaterResources/MIKESHE.aspx>, cit. 15.10.2014.*

DHI, 2012c: MIKE BY DHI. *online: <http://www.dhi.cz/software/river.php>, cit. 15.10.2014.*

DIETRICH J. et SCHÖNIGER M., 2008: Hydroskript - Hydrologie, Grundwassermodellierung, GIS, Klimatologie, online: <<http://www.hydroskript.de>> cit. 6.9.2014

DINGMAN L. S., 2002: *Physical hydrology*. Prentice Hall.

DRBAL K., LEVITUS V., ŠTĚPÁNKOVÁ P., ŘÍHA J., DRÁB A., SATRAPA L., VALENTA P., VALENTOVÁ J. et HORSKÝ M., 2009: Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. *Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, 86 s.*

DUB O., 1957: *Hydrológia, hydrografia, hydrometria*. SVTL, Bratislava, 488 s.

DUB O. et NĚMEC J., 1969: *Hydrologie*, SNTL, Praha, 378 s.

ENGMAN E. T., 1986: *Roughness coefficients for routing surface runoff*. J.of Irrigation and Drainage Engineering 112 s.

ENGGROB et TJERRY S. (1998) "Simulace morfologických charakteristik řeky Braided", Proc IAHR-Symp na řece a pobřežních vod v ústí řek morphodynamics, University of Genova, Odbor životního prostředí Eng., Genova, 594 s.

FELDMAN A. D. (Ed.), 2000: *Hydrologic Modeling System HEC-HMS – Technical Reference Manual*. US Army Corps of Engineers, Washington, 149 s.

GRAHAM D. N. et BUTTS M. B., 2005: Flexible, integrated watershed modelling with MIKE SHE. In Singh, V. P., Frevert, D. K. *Watershed Models*, CRC Press, Boca Raton, Florida: 272 s.

HAVLÍK A. 1, 2001: Modelování šíření povodní v povodí Divoké Orlice. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 52 s.

HAVLÍK A. et Šercl P., 2001: Testování nových matematických modelů. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: *Extrémní hydrologické jevy v povodích*. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 300 s.

HAVLÍK A., 2012: *Základy hydrologie*. ČVÚT, Praha, online: http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Vin/ke_stazeni/Hydrologie.pdf, cit. 15.4.2013.

HELKA D., 2006: Předpovědní systém AquaLog. In: *ČHMÚ: Meteorologické a hydrologické vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR*. Český hydrometeorologický ústav, Praha: C45-C50, online: <http://voda.chmi.cz/pov06/pdf/kap15.pdf>, cit. 6. 7. 2014.

HOLÝ M., 1994: *Eroze a životní prostředí*. ČVUT, Praha, 383 s.

HRÁDEK F., 1981: *Aplikace genetického vzorce intenzitního typu pro výpočet kulminačních průtoků Q_{100} na malých povodích*. Monografie, VŠZ, Praha.

HRÁDEK F., KOVÁŘ P., OČENÁŠEK V., ANTAL J., JOHANOVSKÝ Z., 1988: *Hydrologie*. VŠZ, Praha, 357 s.

HRÁDEK F. et KUŘÍK P., 2001: *Maximální odtok z povodí: Teorie svahového odtoku a hydrologický model DesQ-MAXQ*. ČZU, Praha, 37 s.

HRÁDEK F. et KUŘÍK P., 2008: *Hydrologie*. ČZU Praha, 280 s.

HRNČÍŘ V., 1997: Matematický model pro řešení protipovodňové ochrany Prahy. In *Konference vodní toky 1997*. Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Ostrava, 54 s.

HOUBEN, P. 2008. Scale linkage and contingency effects of field-scale and hillslope-scale controls of long-term soil erosion: Anthropogeomorphic sediment flux

in agricultural loess watersheds of Southern Germany. In: *Geomorphology*, 101, 191 s.

CHOW V. T., MAIDMENT D. R., MAZS L. W., 1988: *Applied hydrology*. McGraw-Hill, New York.

JANEČEK et al., 2002: *Ochrana zemědělské půdy před erozí*, ISV, Praha, 145 s.

JENČÍK J., 2002: Principy měření průtoku a množství tekutin. *Automa 2/2002: 4-6*, online: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28336, cit: 3. 9. 2014.

JENÍČEK M., 2005: Možnosti využití srážko-odtokových modelů na malých a středně velkých povodích. In Langhammer J. (ed.): *Vliv změn přírodního prostředí povodí a údolní nivy na povodňové riziko*. Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Praha: 126 s.

JENÍČEK M., 2011: Přehled srážko-odtokových modelů. *Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy v Praze*, Praha, 17 s.

JENÍČEK M., 2014 : Klasifikace hydrologických modelů, online: <http://hydro.natur.cuni.cz/jenicek/download.php?akce=dokumenty&cislo=7>
30.3.2014 (pdf Klasifikace hydrologických modelů Michal Janíček)

KEMEL M. et KOLÁŘ V., 1980: *Hydrologie. České vysoké učení technické v Praze*, Praha, 292 s.

KEMEL M., 1994: *Hydrologie. České vysoké učení technické v Praze*, Praha, 222 s.

KEMEL M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 263 s.

KOS, Z. et J. ŘÍHA, 1996, *Vodní hospodářství*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 234 s.

KOVÁŘ P., 1973: *Řešení povrchového odtoku matematickými modely systémové analýzy*. Kandidátská disertační práce na vysoké škole zemědělské na Agronomické fakultě. Školitel Doc. Ing. M. Moudrý CSc. Praha, 110 s.

KŘOVÁK F., 2001: Revitalizace toků s ohledem na extrémní průtoky. In Patera A., Váška J., Jakubíková A. [eds.]: Extrémní hydrologické jevy v povodích. Sborník příspěvků z Workshopu 2001. České vysoké učení technické v Praze a Česká vědeckotechnická vodohospodářská společnost, Praha, 182 s.

KŘOVÁK F., 2004: HEC-RAS stručný manuál: Česká verze. KTI & AquaLogic, Praha. 21 s.

KULHAVÝ, Z., KOVÁŘ, P (2002): Využití modelů hydrologické bilance pro malá povodí. VÚMOP, Praha. 123 s.

KUTÍLEK M., KURÁŽ V., CÍSLEROVÁ M., 2004: *Hydropedologie* 10, ČVUT, Praha. 268 s.

MACK M. J., 1995: *HER – Hydrologic evaluation of runoff; The Soil Conservation Service Curve Number technique as an interactive computer model*. Computers & Geosciences, Volume 21, Issue 8, 935 s.

MIGUEZ M. G. a CANEDO DE MAGALHÃES L. P., 2010: *Urban Flood Control, Simulation and Management - an Integrated Approach.*, Vol 10, 160 s.

O'CONNOR K. M., 1976: A discrete linear cascade model for hydrology. Journal of Hydrology, 29, 242 s.

PALLÓS R., ŘÍHOVÁ V., HOŘÍNKOVÁ M., UNUCKA J., ĎURICHA M. et HAPLOVÁ V., 2011: Možnosti modelování vlivu zemědělské činnosti na vodní složku v krajině s využitím GIS a modelů SWAT, HEC-RAS a MIKE 11. *Vodní hospodářství* 7/2011: 283 s.

POKORNÁ D., ZÁBRANSKÁ J., 2008: Hydrologie a hydropedologie. *Vysoká škola chemicko-technologická v Praze*, Praha, 218 s.

RIPL W., JANSSEN T., HILDMANN CH., OTT I. et al., 1996, Entwicklung eines Land-Gewässer Bewirtschaftungskonzeptes zur Senkung von Stoffverlusten an Gewässern (Stor-Projekt I und II), Technische Universität Berlin, Deutsche Forschungsanstalt für Luft und Raumfahrt, Christian-Albrechts-Universität Kiel.

ROZOWSKY I.L. (1957) "Flow of Water in bends of open channels", English Translation, Israel Progr. For Scientific Transl., Jerusalem

ŘEDINOVÁ J., PAVLÁSEK J., MÁČA P., 2009: *Hydrologie- Návody ke cvičením*. ČZU, Praha, 79 s.

SMITH M. B., KOREN V. I., WELLS E., WANG D., ZHANG Z., 2000: *Evaluation of the advantages of the continuous SAC-SMA model over an ebeny API model*. 15th Conference on Hydrology 9.1 – 4.1.2000, Long Beach, CA.

STARÝ M., 1998: *Hydrog-S ver. 2.0*. Manuál programu, 38 s.

ŠAMAJ P., VALOVI Š., BRÁZDIL R., 1985: *Denné úhrny srážok s mimoriadnou vydatnosťou v období 1901 – 1980*, Slovenský hydrometeorologický ústav, Bratislava, 245 s.

UNUCKA J., 2006: *Hydrologické a vodohospodárske aspekty revitalizace Bečvy*. Disertační práce. PřF OU Ostrava, 178 s.

VÚV TGM, 2012: Česká kalibrační stanice vodoměrných vrtulí: Hydrometrické vrtule. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v. v. i., Praha, online: <http://cksvv.vuv.cz/hydrometricke-vrtule>, cit. 15.4. 2013.

ZAPLETAL M., 2005: *Hydrologie*. Vyšší odborná škola vodního hospodářství a ekologie, Vodňany, 98 s.

ZEMAN E., 1994: *Hydroinformatika a hydrologické modely*. Habilitační práce, ČVUT, Praha 58 s.

ZEMAN P., 2012: *Hydrologická studie Strženeckého potoka, odvození charakteristik povodňových vln v nepozorovaných profilech*. Bakalářská práce, ČZU, Praha, 103 s.

Seznam obrázků

<i>Obr. č. 1 Pohyb vody a látek</i>	21
<i>Obr. č. 2 Schéma srážko-odtokového procesu</i>	22
<i>Obr. č. 3 Původní Woltmannova vrtule</i>	24
<i>Obr. č. 4 Schéma hydrometrické vrtule</i>	24
<i>Obr. č. 5 Průměrná rychlost pro stanovení doby doběhu u mělkého koncentrovaného proudění</i>	40
<i>Obr. č. 6 Klasifikace deterministických modelů</i>	47
<i>Obr. č. 7 Podrobné rozdělení deterministických modelů</i>	47
<i>Obr. č. 8 Struktura modelu Mike-She</i>	53
<i>Obr. č. 9 Koryto s písčito-hlinitým dnem a členitými trávou porostlými břehy</i>	57
<i>Obr. č. 10 Koryto s hlinito-písčítým dnem, kde se místy vyskytují spadlé větve a větší kameny. Břehy kamenité porostlé keři a vzrostlými stromy.</i>	57
<i>Obr. č. 11 Ukázka říční sítě s příčnými profily</i>	60
<i>Obr. č. 12 Ukázka příčného řezu v HEC-RAS</i>	62
<i>Obr. č. 13 Ukázka objektu v HEC-RAS (Kamenný skluz)</i>	63
<i>Obr. č. 14 Ukázka stoletého průtoku HEC - RAS</i>	65
<i>Obr. č. 15 Tabulka pro Export GIS dat</i>	66
<i>Obr. č. 16 Tabulka s vybranými souřadnicemi PF</i>	67
<i>Obr. č. 17 Tabulka sloužící k vytvoření vrstvy z určitých souřadnic</i>	67
<i>Obr. č. 18 Vyznačení povodí v rámci České republiky</i>	72
<i>Obr. č. 19 Graf vyjadřuje nárůst plochy povodí</i>	74
<i>Obr. č. 20 Hypsografická křivka</i>	75
<i>Obr. č. 21 Podélný profil toku</i>	77

Seznam tabulek

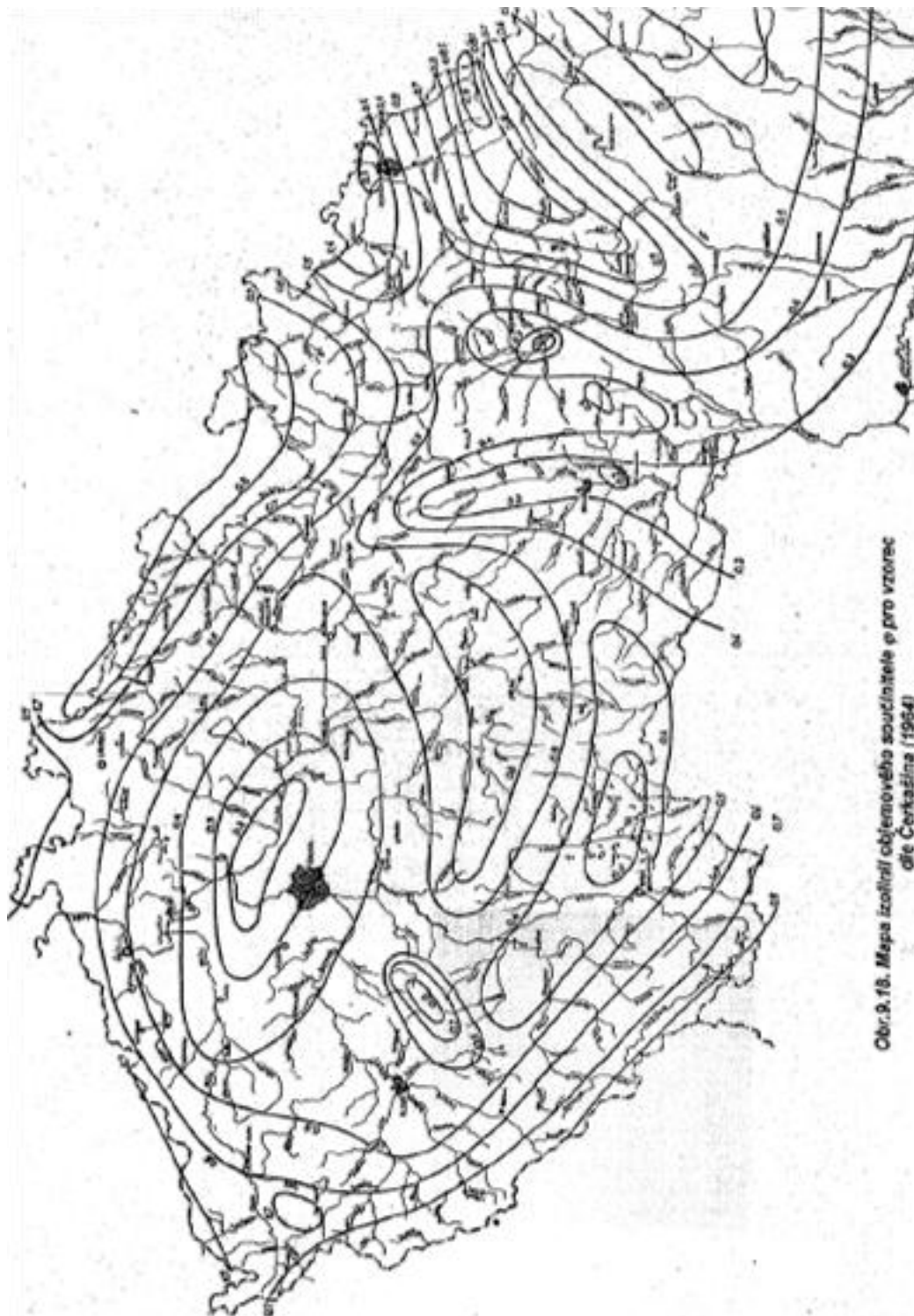
<i>Tab. č. 1 Průměrné vydatnosti deště v [$l \cdot s^{-1} \cdot ha^{-1}$] v ČR</i>	20
<i>Tab. č. 2 Charakteristika hydrologických vlastností půd</i>	38
<i>Tab. č. 3 Manningův součinitel drsnosti (n) pro plošný odtok</i>	40
<i>Tab. č. 4 Manningův součinitel drsnosti (n) pro průtok otevřeným korytem</i>	41
<i>Tab. č. 5 Opravný součinitel pro nádrže, rybníky a mokřady</i>	41
<i>Tab. č. 6 Typy hydrologických systémů (Podle WMO in Daňhelka et al. 2003)</i>	45
<i>Tab. č. 7 Hydrologické procesy a související proměnné použité při klasifikaci modelů (Dle WMO in Daňhelka et al. 2003)</i>	45
<i>Tab. č. 8 Součinitel drsnosti v závislosti na zrnitosti substrátu</i>	58
<i>Tab. č. 9 Hodnoty Manningova drsnostního součinitele n pro otevřená koryta</i>	58
<i>Tab. č. 10 Velikost ploch v povodí</i>	73
<i>Tab. č. 11 Výstupní hodnoty n-letých průtoků z DesQ-MaxQ</i>	85
<i>Tab. č. 12 Hodnoty n-letých průtoků z ČHMÚ</i>	85

Seznam příloh

- Příloha č. 1 Mapa izolinií objemového součinitele φ pro vzorec dle Čerkašina (1964)
- Příloha č. 2 Hodnoty maximálních denních úhrnů srážek pro stanice na území ČR s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů dle Šamaje, Valovče a Brázdila
- Příloha č. 3 Grafické vyjádření závislosti výšky přímého odtoku H_o na srážkovém úhrnu (H_s) v číslech odtokových křivek CN
- Příloha č. 4 Vliv nasycenosti (půdy vodou) na číslo odtokové křivky CN
IPS - index předchozího nasycení
- Příloha č. 5 Průměrná čísla odtokových křivek pro IPS II Podle využití půdy, způsobu obdělávání a vegetačního krytu
- Příloha č. 6 Nomogram, ze kterého se na základě úhrnu 24hod. deště a CN-křivek odečteme poměr I_a / H_s
- Příloha č. 7 Nomogram ze kterého pomocí doby koncentrace můžeme odečíst jednotkový kulminační průtok q_{pH} podle poměru I_a / H_s
- Příloha č. 8 Geologická mapa s přibližným vyznačením povodí s legendou
- Příloha č. 9 Krajinný pokryv
- Příloha č. 10 Sklonové poměry povodí levého břehu
- Příloha č. 11 Sklonové poměry povodí pravého břehu
- Příloha č. 12 Sklonové poměry povodí obou břehů
- Příloha č. 13 Vstupní veličiny pro výpočet n-letých průtoků
- Příloha č. 14 Výstupní hodnoty z DesQ - MaxQ
- Příloha č. 15 Ukázky objektů z Hec-Ras při průtoku Q_{100}
- Příloha č. 16 Ukázkové příčné profily z Hec-Ras při průtoku Q_{100}
- Příloha č. 17 Podélný profil vodního toku s vyznačenými přítoky
- Příloha č. 18 Záplavová území při dvacetiletých průtocích (Q_{20})
- Příloha č. 19 Záplavová území při padesátiletých průtocích (Q_{50})
- Příloha č. 20 Záplavová území při stoletých průtocích (Q_{100})
- Příloha č. 21 Mapa povodí Strženeckého potoka s označením vyfotografovaných míst, níže popsaných

Přílohy

Příloha č. 1 Mapa izolinií objemového součinitele φ pro vzorec dle Čerkašina (1964)



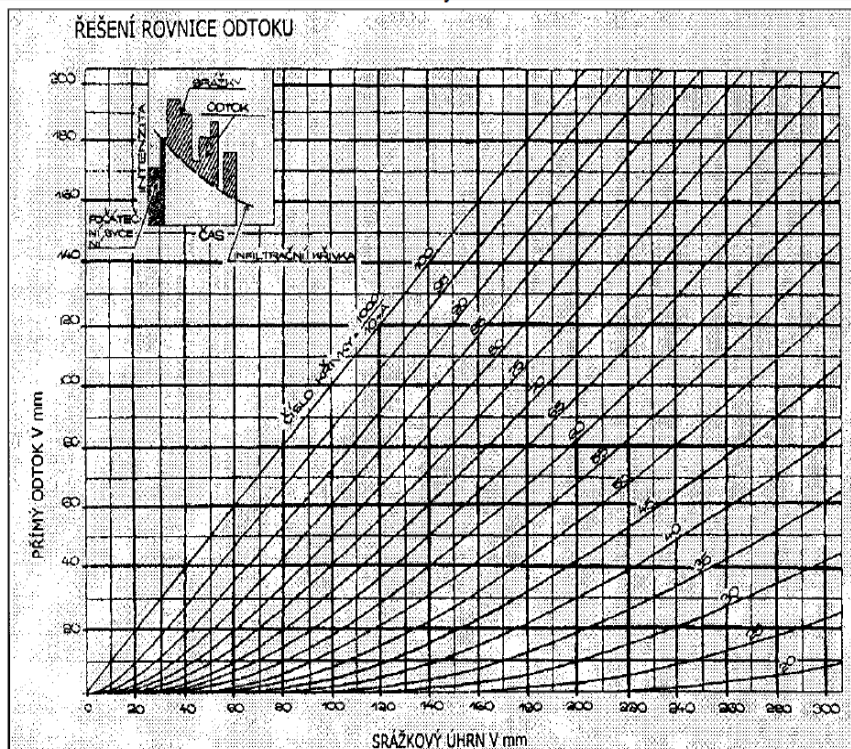
Obr. 9.18. Mapa izolinií objemového součinitele φ pro vzorec dle Čerkašina (1964)

Příloha č. 2 Hodnoty maximálních denních úhrnů srážek pro stanice na území ČR s pravděpodobností opakování za N let podle Gumbelovy statistiky extrémů dle Šamaje, Valovče a Brázdila

Stanice	Pravděpodobnost opakování za N let				
	2	10	20	50	100
Adršpach - Dolní	39,4	76,6	91,8	110,4	124,9
Albrechtice - Jezeří	36,3	56,6	64,8	75,0	82,9
Albrechtice nad Orlicí	36,9	54,7	61,9	70,8	77,8
Arnoltice	35,1	61,5	72,2	85,4	95,7
Aš	33,4	51,5	58,9	67,9	75,0
Babice nad Svitavou	39,5	68,7	80,6	95,2	106,7
Babín, vodárna	35,5	56,7	65,3	75,9	84,1
Bavorov	37,9	63,8	74,4	87,3	97,4
Bečov nad Teplou	32,1	53,7	62,5	73,3	81,8
Bedřichov, Nová Louka	72,6	120,9	140,5	164,7	183,5
Benecko	42,6	67,5	77,7	90,2	99,9
Benešov	38,6	62,0	71,6	83,3	92,4
Bernartice (okr. Písek)	32,9	55,1	64,1	75,2	83,9
Heřmanice	42,9	65,5	74,8	86,1	95,0
Beroun	35,6	54,8	62,6	72,1	79,6
Bezno	34,7	58,2	67,7	79,5	88,6
Bělá pod Bezdězem	31,9	47,8	54,2	62,2	68,4
Běloutín	39,0	60,7	69,6	80,5	89,0
Běštín	37,0	62,0	72,2	84,7	94,5
Bílá Třemešná (přehrada)	35,1	59,3	69,1	81,3	90,7
Bílina	30,4	50,7	58,9	69,1	77,0
Bílý potok	66,8	113,1	132,0	155,1	173,2
Blatná	32,8	51,1	58,8	67,7	74,9
Blatno - Bečov (přehrada) (okr. Chomutov)	36,5	60,1	69,7	81,5	90,7
Bobnice	36,4	58,0	66,8	77,7	86,1
Bohdalov (okr. Žďár n. Sázavou)	35,3	57,8	67,0	78,3	87,1
Bohdaneč (okr. Kutná Hora)	40,2	71,6	84,4	100,1	112,4

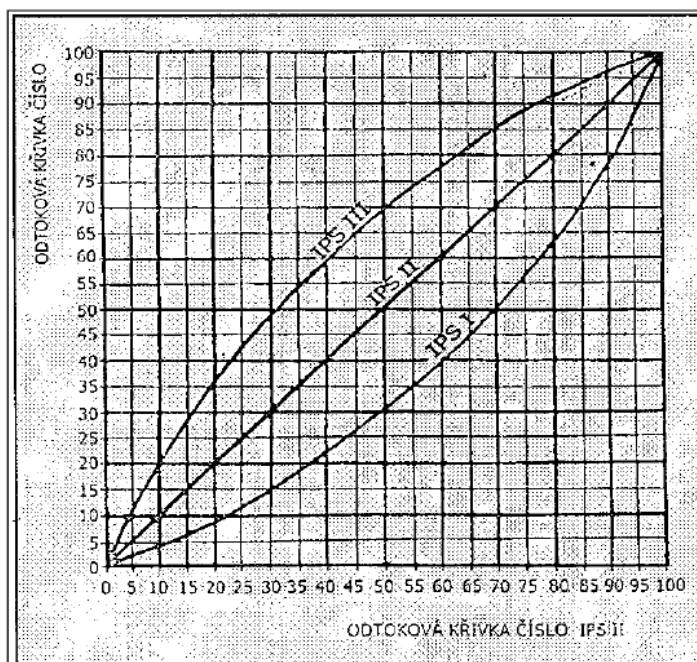
(ŠAMAJ ET AL. 1985)

Příloha č. 3 Grafické vyjádření závislosti výšky přímého odtoku H_o na srážkovém úhrnu (H_s) v číslech odtokových křivek CN



(JANEČEK ET AL. 2002)

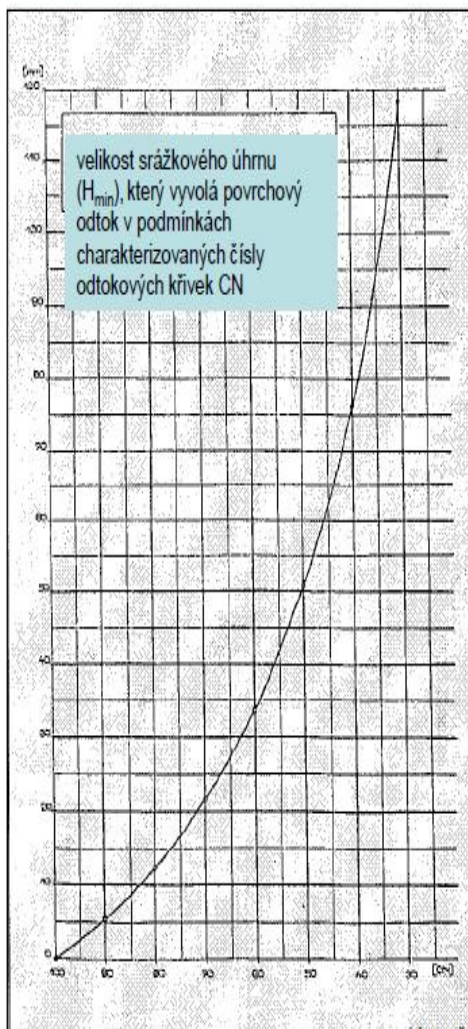
**Příloha č. 4 Vliv nasycenosti (půdy vodou) na číslo odtokové křivky CN
IPS - index předchozího nasycení**



(JANEČEK ET AL. 2002)

Příloha č. 5 Průměrná čísla odtokových křivek pro IPS II Podle využití půdy, způsobu obdělávání a vegetačního krytu

ad 3. - průměrná čísla odtokových křivek pro IPS II



(Janeček a kol., 2002)

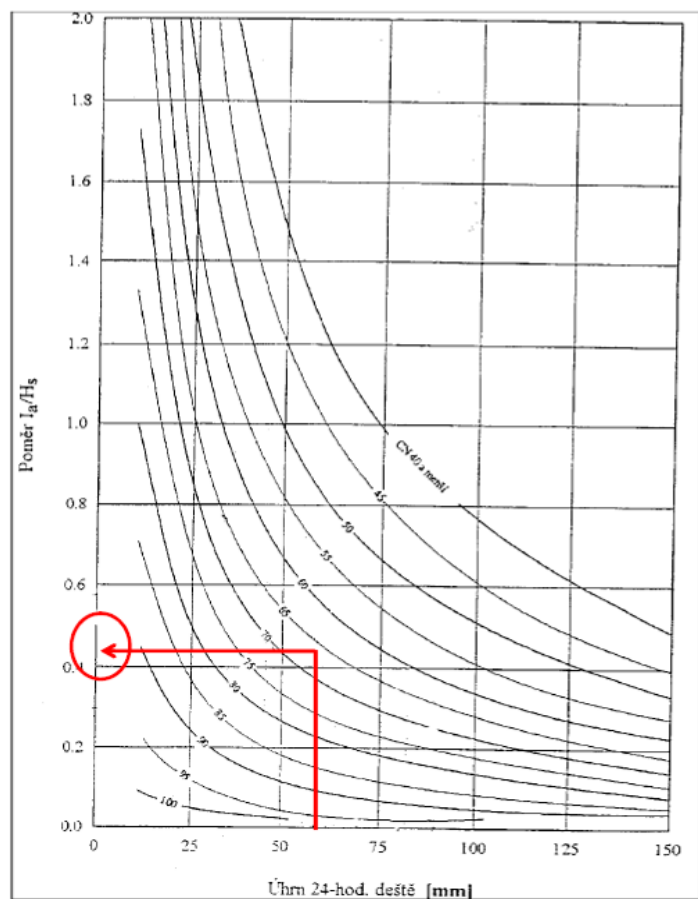
Využití půdy	Způsob obdělávání	Hydrologické podmínky	Čísla odtok. křivek - CN hydrolog. skupiny půd			
			A	B	C	D
Orní	Čerstvě zkopřeny		77	86	91	94
	Pz	Šp	76	85	90	93
	Pz	Dč	74	83	88	90
	Př	Šp	72	81	88	91
	Př	Dč	67	78	85	89
	Př + Pz	Šp	71	80	87	90
	Př + Pz	Dč	64	75	82	85
	Vř	Šp	70	79	84	88
	Vř	Dč	65	75	82	86
	Vř + Pz	Šp	69	78	83	87
Širokotrávkové plodiny (okopaniny)	Vř + Pz	Dč	64	74	81	85
	Vř + Pz	Šp	66	74	80	82
	Vř + Pz	Dč	62	71	78	81
	Vř + Pz + Pz	Šp	65	73	79	81
	Vř + Pz + Pz	Dč	61	70	77	80
	Př	Šp	65	76	84	88
	Př	Dč	63	75	83	87
	Př + Pz	Šp	64	75	83	86
	Př + Pz	Dč	60	72	80	84
	Vř	Šp	63	74	82	85
Užšítrávkové plodiny (obilniny)	Vř	Dč	61	73	81	84
	Vř + Pz	Šp	62	73	81	84
	Vř + Pz	Dč	60	72	80	83
	Vř + Pz	Šp	61	72	79	82
	Vř + Pz	Dč	59	70	78	81
	Vř + Pz + Pz	Šp	60	71	78	81
	Vř + Pz + Pz	Dč	58	69	77	81
	Př	Šp	66	77	85	89
	Př	Dč	58	72	81	85
	Vř	Šp	64	75	83	86
Víceleté pícniny, luštěniny	Vř	Dč	65	69	78	83
	Vř + Pz	Šp	63	73	80	83
	Vř + Pz	Dč	51	67	76	80
	-	-	68	79	86	89
Pastviny s pokryvem	50 - 75 %	-	49	69	79	84
	> 75 %	-	39	61	74	80
	-	-	30	58	71	78
Louky	oklizené	-	30	58	71	78
	< 50 %	-	48	67	77	83
	50 - 75 %	-	35	56	70	77
Sady se zatravněným mezířadím	> 75 %	-	30	48	65	73
	Šp	57	73	82	86	
	Sř	43	65	76	82	
Lesy	Dč	32	58	72	79	
	Šp	45	66	77	83	
	Sř	36	60	73	79	
Zemědělské dvory	Dč	30	55	70	77	
	Šp	59	74	82	86	
	Dč	59	74	82	86	
Komunikace s příkopem	dřáždéné, živé, makadamové, štěrkové, nezpevněné, hlíněné		83	89	92	93
			76	85	89	91
			72	82	87	89
	práskané plochy		98	98	98	98

(JANEČEK ET AL. 2002)

Příloha č. 6 Nomogram, ze kterého se na základě úhrnu 24hod. deště a CN-křivek odečteme poměr I_a / H_s

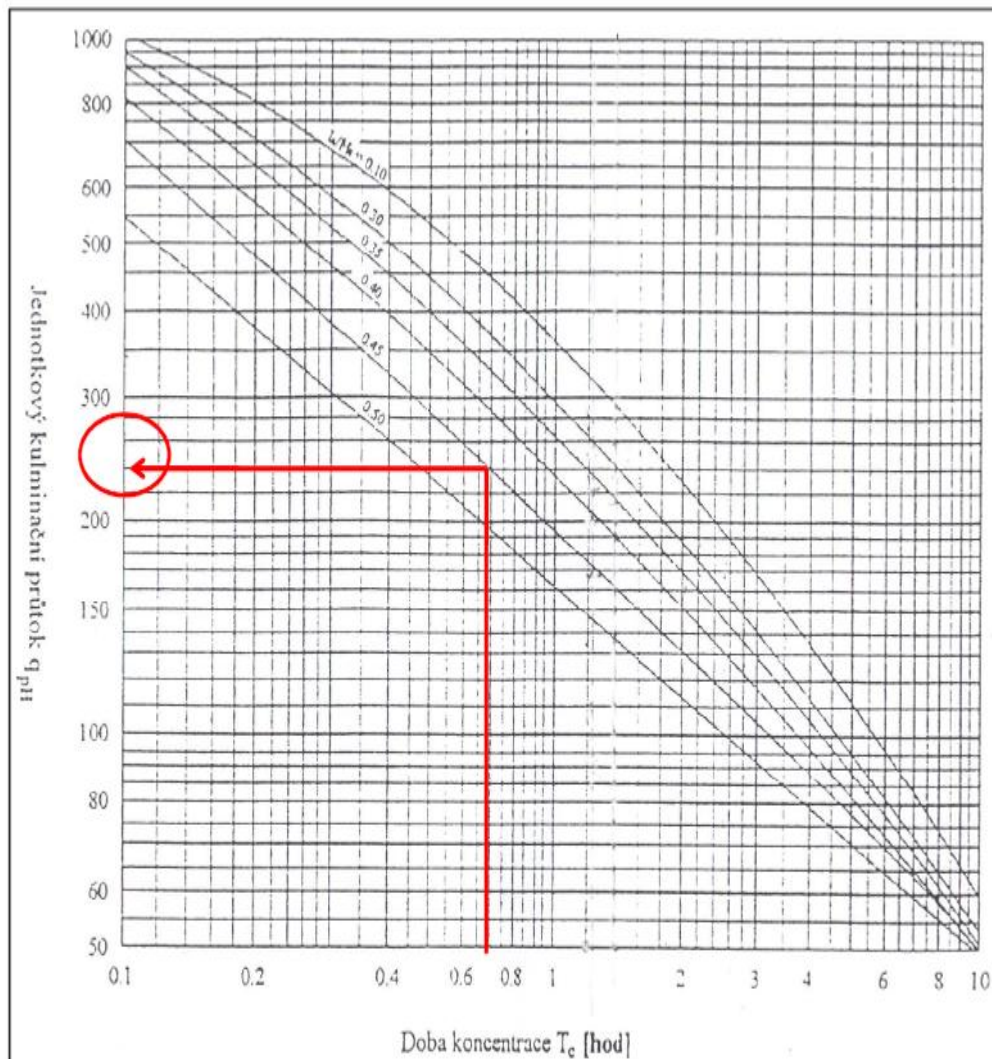
H_s - úhrn návrhového deště

I_a - počáteční akumulace



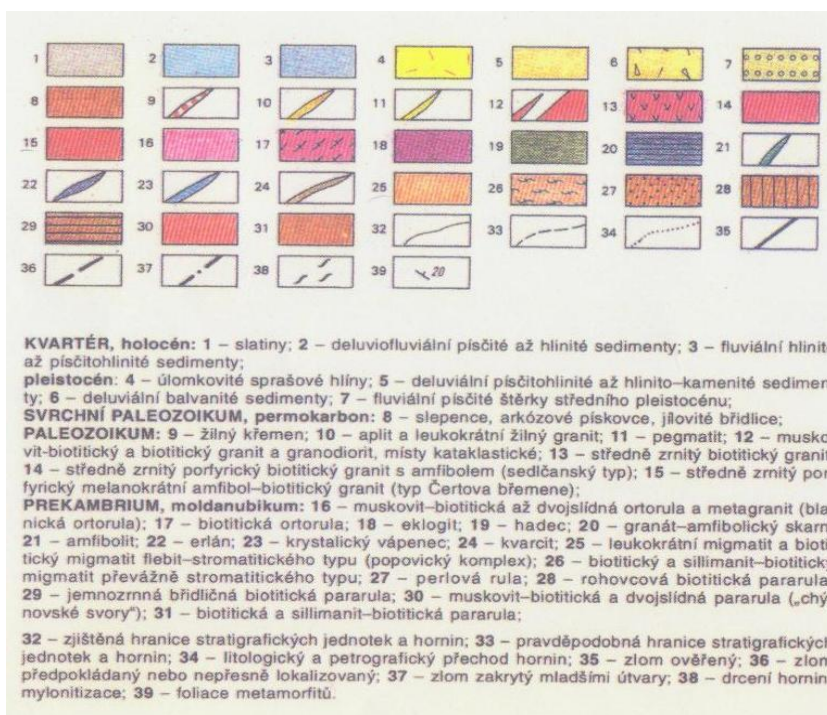
(JANEČEK ET AL. 2002)

Příloha č. 7 Nomogram ze kterého pomocí doby koncentrace můžeme odečíst jednotkový kulminační průtok q_{pH} podle poměru I_a / H_s



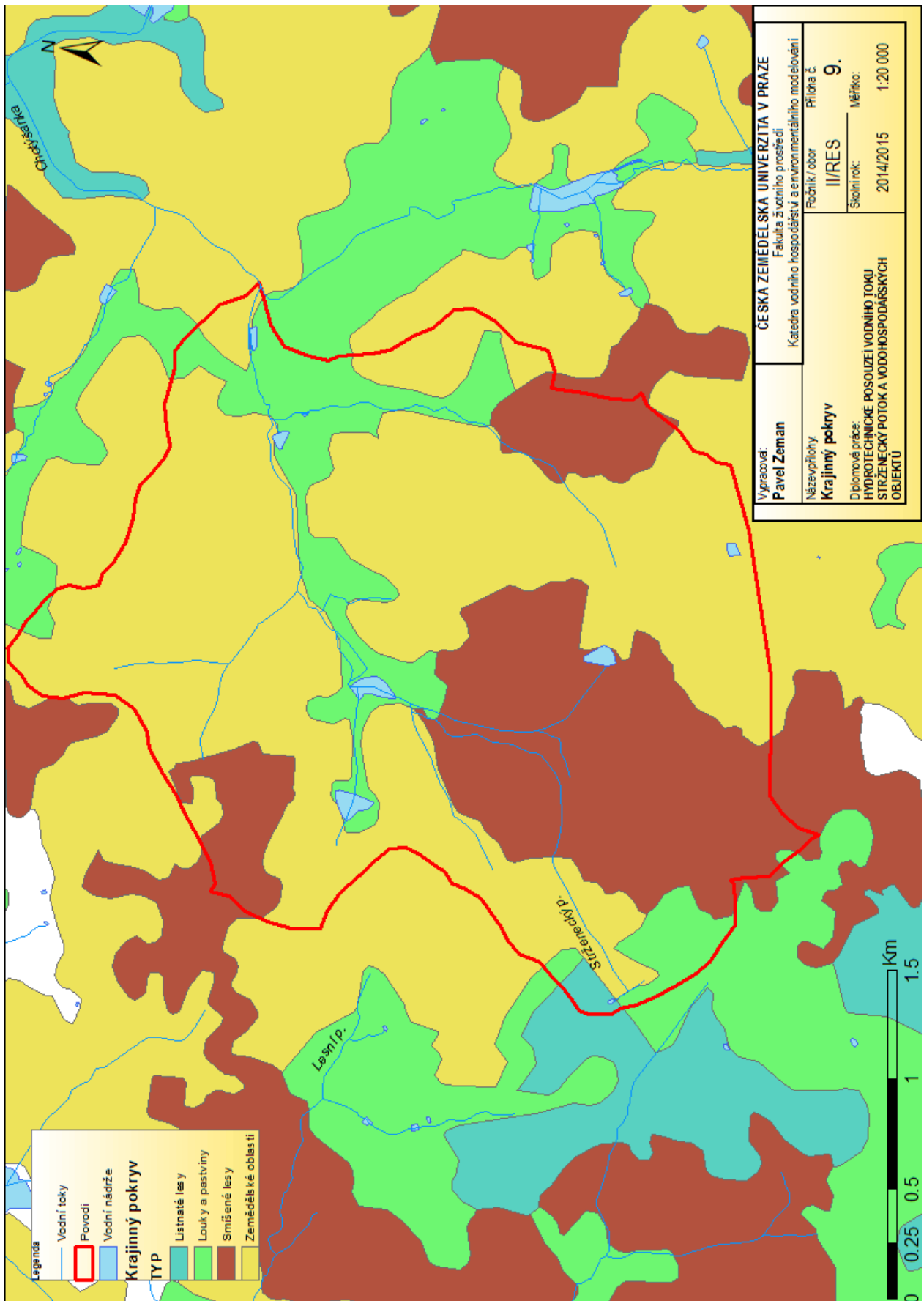
(JANEČEK ET AL. 2002)

Příloha č. 8 Geologická mapa s přibližným vyznačením povodí s legendou



(ČÚGK 1982)

Příloha č.9 Krajinny pokrýv



Příloha č. 10 Sklonové poměry povodí levého břehu

$\sum l_{si 1}$ – průměrná délka všech vrstevnic na levém břehu

Kóty vrstevnice h_i [m.n.m]	Délky vrstevnic l_i [km]	Průměrná délka vrstevnic l_{si} [km]	Zvolený interval Δh
470	0,334	0,641	0,01
480	0,947		
490	1,833	1,390	0,01
500	2,400	2,116	0,01
510	3,420	2,910	0,01
520	3,795	3,608	0,01
530	3,118	3,457	0,01
540	2,440	2,779	0,01
550	1,629	2,035	0,01
560	0,969	1,299	0,01
570	0,753	0,861	0,01
580	0,494	0,624	0,01
		$\sum l_{si 1} = 21,720$ km	

(ZEMAN 2012)

Příloha č. 11 Sklonové poměry povodí pravého břehu

Σl_{si2} – průměrná délka všech vrstevnic na pravém břehu

Kóty vrstevnice h_i [m.n.m]	Délky vrstevnic l_i [km]	Průměrná délka vrstevnic l_{si} [km]	Zvolený interval Δh
470	0,191	0,627	0,01
480	1,063		
490	1,851	1,457	0,01
500	2,715	2,283	0,01
510	3,269	2,992	0,01
520	3,864	3,567	0,01
530	4,548	4,206	0,01
540	2,650	3,599	0,01
550	3,572	3,111	0,01
560	2,489	3,031	0,01
570	1,661	4,150	0,01
580	1,744	3,405	0,01
		1,643	0,01

590	1,542		
		1,442	0,01
600	1,342		
		1,442	0,01
610	1,542		
		1,452	0,01
620	1,361		
		1,209	0,01
630	1,056		
		0,980	0,01
640	0,904		
		0,848	0,01
650	0,791		
		0,577	0,01
660	0,363		
		0,295	0,01
670	0,226		
		$\sum I_{si\ 2}) = 42,316\text{ km}$	

(ZEMAN 2012)

Příloha č. 12 Sklonové poměry povodí obou břehů

$\sum I_{si\ 3}$ – průměrná délka všech vrstevnic na pravém břehu

Kóty vrstevnice h_i [m.n.m]	Délkyvrstevn ic I_i [km]	Průměrná délka vrstevnic I_{si} [km]	Zvolený interval Δh
470	0,525	1,268	0,01
480	2,010	2,847	0,01

490	3,683		
		4,399	0,01
500	5,115		
		5,902	0,01
510	6,689		
		7,174	0,01
520	7,659		
		7,660	0,01
530	7,660		
		6,375	0,01
540	5,090		
		5,146	0,01
550	5,202		
		4,330	0,01
560	3,458		
		2,936	0,01
570	2,413		
		2,327	0,01
580	2,240		
		1,891	0,01
590	1,542		
		1,442	0,01
600	1,341		
		1,442	0,01
610	1,542		
		1,452	0,01
620	1,361		
		1,209	0,01
630	1,056		
		0,980	0,01

640	0,904		
		0,848	0,01
650	0,791		
		0,577	0,01
660	0,363		
		0,295	0,01
670	0,226	$\sum I_{si\ 3) = 57,559$	

(ZEMAN 2012)

Příloha č. 13 Vstupní veličiny pro výpočet n-letých průtoků

VSTUPNÍ VELIČINY		Povodí	Levý svah	Pravý svah	Jednotky
F	plocha povodí	10,57			[km ²]
F _s	plocha svahu		4,39	6,18	[km ²]
I _s	průměrný sklon svahu		2,1	4	[%]
□□	drsnotní charakteristika		6,04	6,56	[sec]
L _u	délka údolnice	5,07			[km]
I _u	průměrný sklon údolnice	2,1			[%]
CN _{typ}	typ odtokové křivky(1,2,3)		2	3	[...]
CN	číslo odtokové křivky		66,9	65,6	[...]
N	doba opakování	5,10,20,50,100			[roky]
H _{1d5}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=5	52,9			[mm]
H _{1d10}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=10	62			[mm]
H _{1d20}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=20	71,6			[mm]
H _{1d50}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=50	83,3			[mm]
H _{1d100}	1-denní maximální srážkový úhrn pro N=100	92,4			[mm]

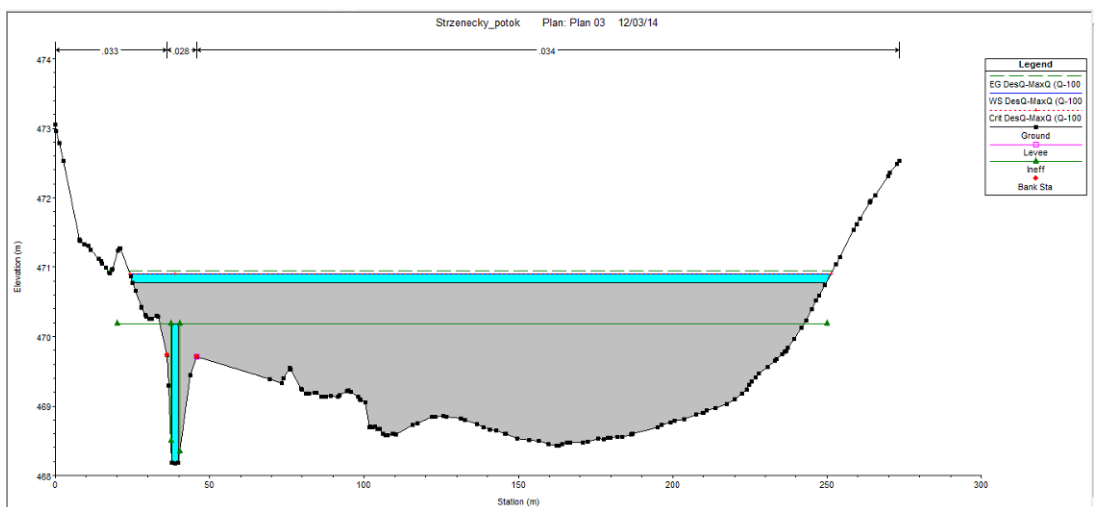
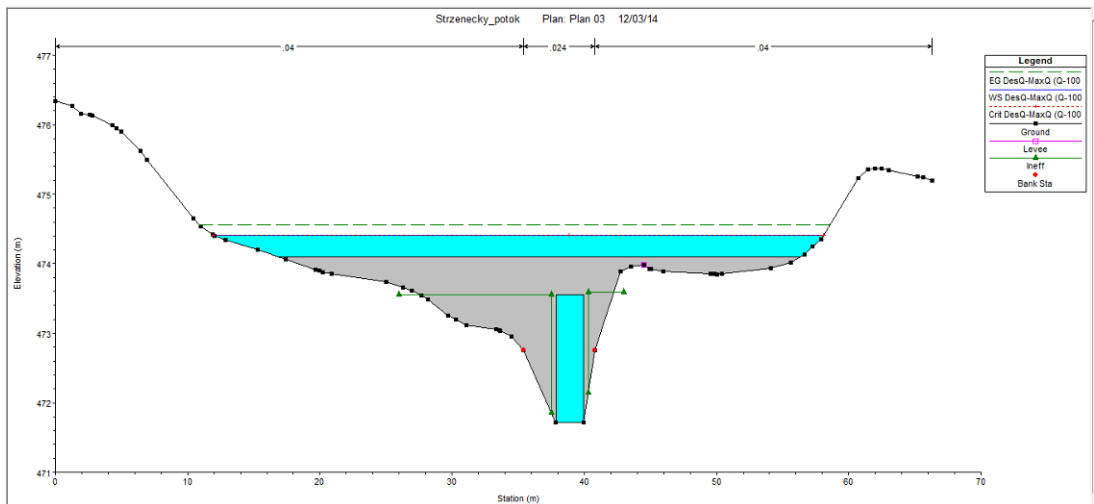
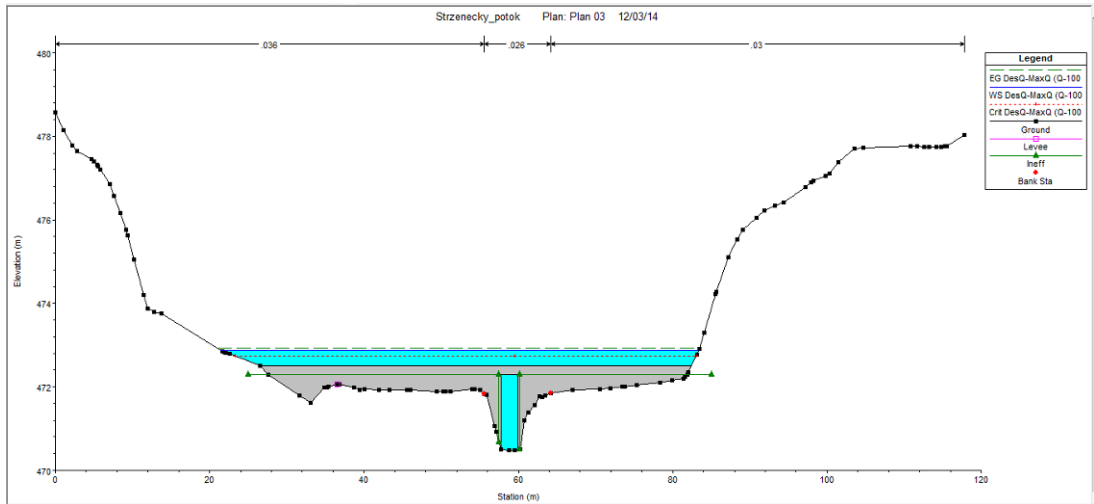
(ZEMAN 2012)

Příloha č. 14 Výstupní hodnoty z DesQ - MaxQ

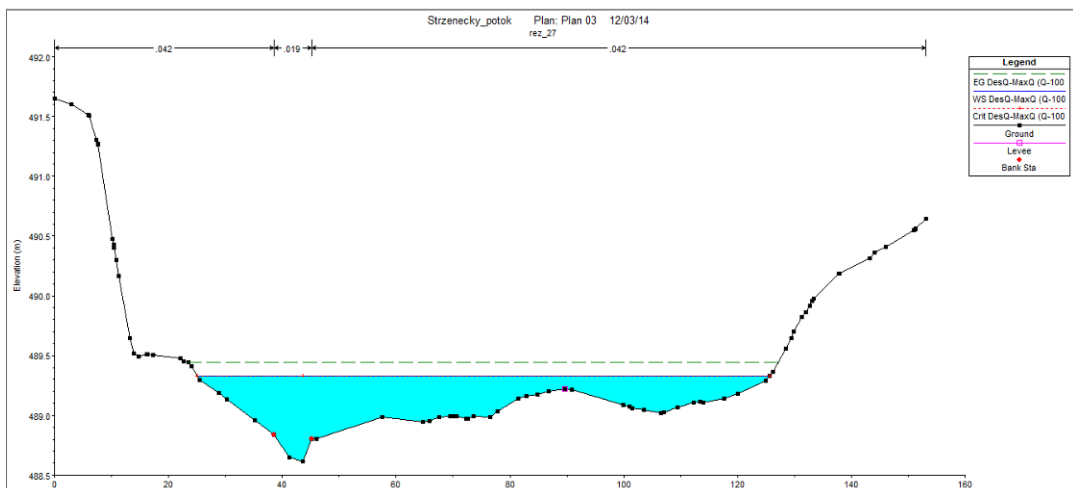
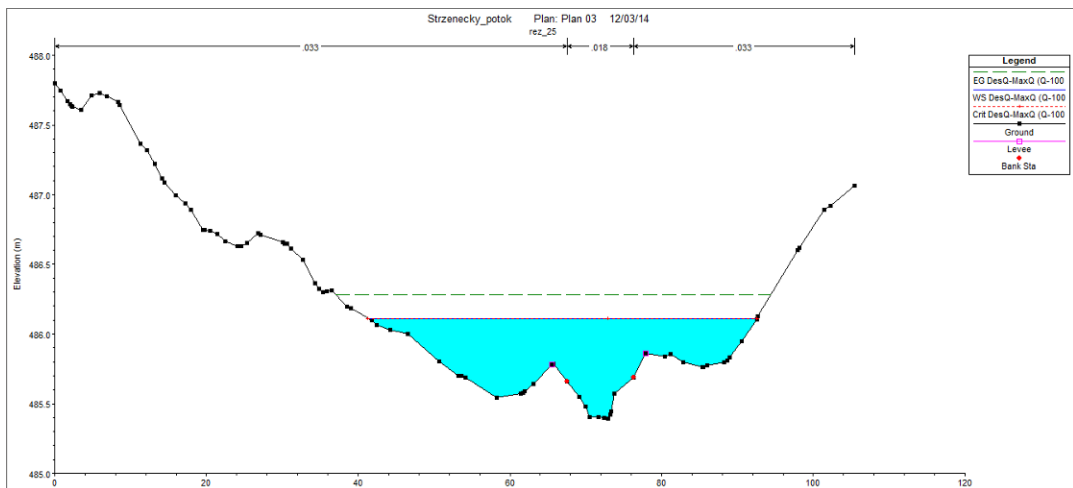
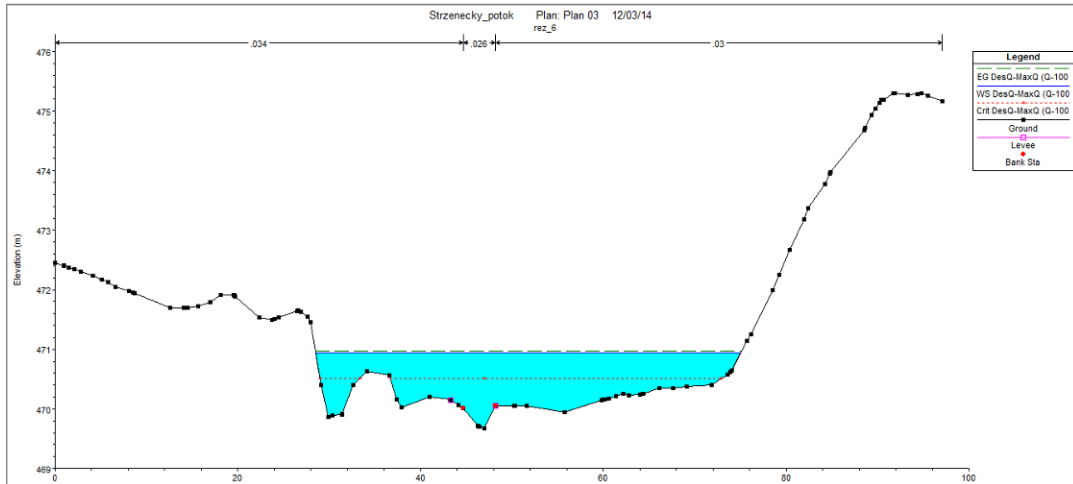
VÝSTUPNÍ VELIČINY N = 100 let		Povodí	L. svah	P. svah	Jednotky
CN _{pr}	přepočtené číslo CN - typ		66,9	83	[...]
R _p	potenciální retence povodí		125,6	52,2	[mm]
L _s	průměrná délka svahu		0,87	1,22	[km]
L _{so}	průměrná délka dráhy svahového odtoku		1,06	1,35	[km]
Kritický déšť					
t _{dk}	doba trvání deště		576	231	[min]
i _{dk}	intenzita deště		0,152	0,358	[mm.min ⁻¹]
H _{dk}	výška deště		87,4	82,7	[mm]
t _{1dk}	doba bezodtokové fáze		166	29	[min]
t _{spk}	doba trvání přítoku		410	202	[min]
i _{spk}	intenzita přítoku		0,05	0,208	[mm.min ⁻¹]
H _{spk}	výška přítoku		20,7	41,9	[mm]
Výpočtový déšť					
t _d	doba trvání deště	231			[min]
i _d	intenzita deště	0,358			[mm.min ⁻¹]
H _d	výška deště	82,7			[mm]
t ₁	doba trvání bezodtokové fáze	29	70	29	[min]
t _{sp}	doba trvání přítoku		161	202	[min]
i _{sp}	intenzita přítoku		0,112	0,208	[mm.min ⁻¹]
H _{sp}	výška přítoku		18,1	41,9	[mm]
t _{sk}	doba koncentrace		275	202	[min]
i _{sk}	intenzita odtoku v době t _{sk}		0,112	0,207	[mm.min ⁻¹]
H _{so}	výška odtoku		18,1	41,9	[mm]
max i _{so}	max. intenzita odtoku ze svahu		0,039	0,208	[mm.min ⁻¹]
Q_{max}	maximální průtok	24,2	2,83	21,4	[m³.s⁻¹]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané výpočtovým deštěm					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	339	79,4	259	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	202	161	202	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	1525	1525	519	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	1727	1686	721	[min]
Charakteristiky teoretické povodňové vlny vyvolané H_{1d100}					
W _{PVT}	objem povodňové vlny	413	103	310	[10 ³ .m ³]
t _{vh}	doba vzestupu hydrogramu	202	161	202	[min]
t _{ph}	doba poklesu hydrogramu	2200	2200	664	[min]
t _{kh}	doba trvání kulminace hydrogramu	0	0	0	[min]
t _{ch}	celková doba trvání odtoku	2402	2361	866	[min]

(ZEMAN 2012)

Příloha č. 15 Ukázky objektů z Hec-Ras při průtoku Q_{100}



Příloha č. 16 Ukázkové příčné profily z Hec-Ras při průtoku Q_{100}



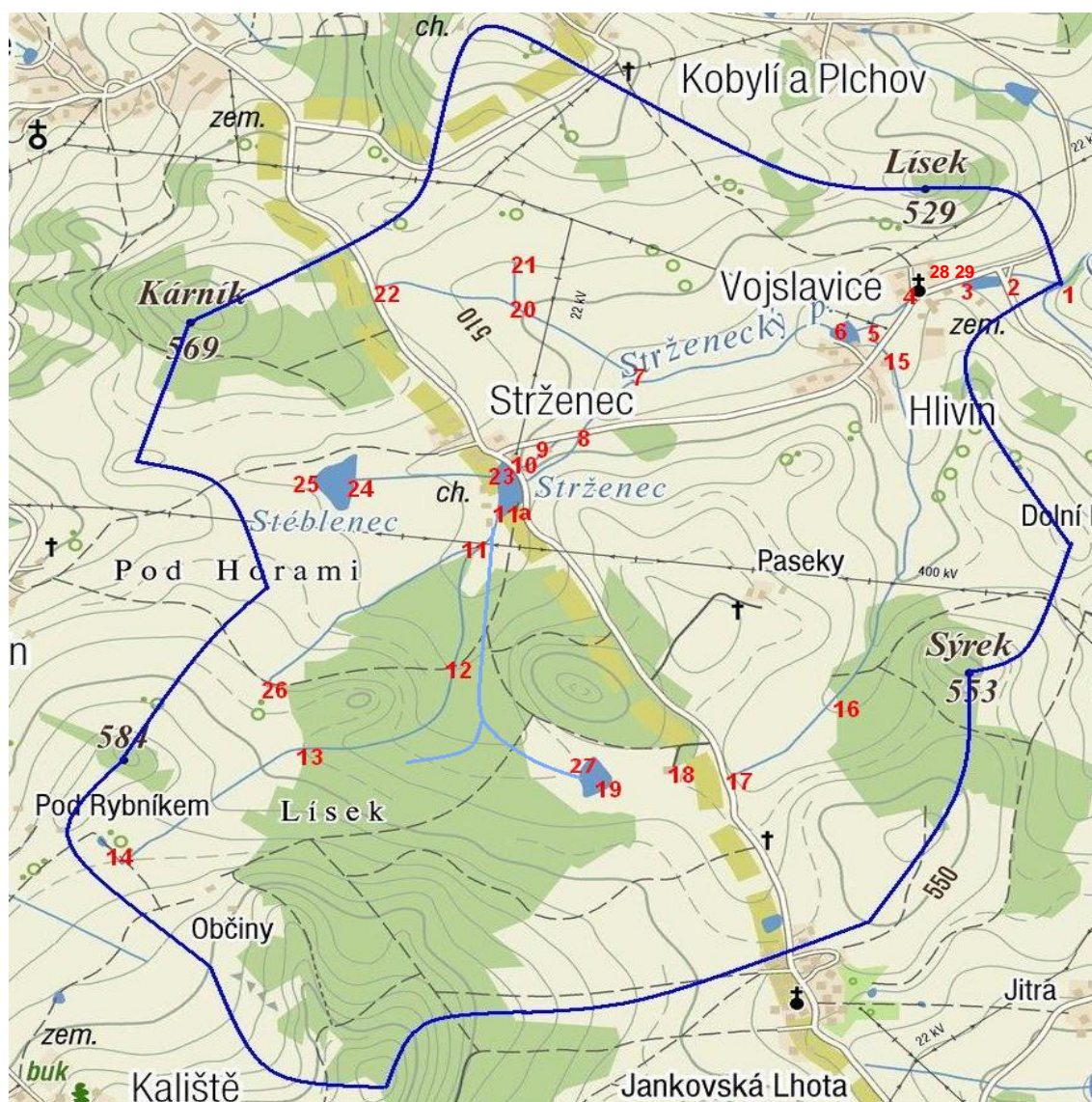
Příloha č. 17 Podélný profil vodního toku s vyznačenými přítoky

Příloha č. 18 Záplavová území při dvacetiletých průtocích (Q_{20})

Příloha č. 19 Záplavová území při padesátiletých průtocích (Q_{50})

Příloha č. 20 Záplavová území při stoletých průtocích (Q_{100})

Příloha č. 21 Mapa povodí Strženeckého potoka s označením
vyfotografovaných míst, níže popsaných



(ZEMAN 2012)

Popis jednotlivých míst :

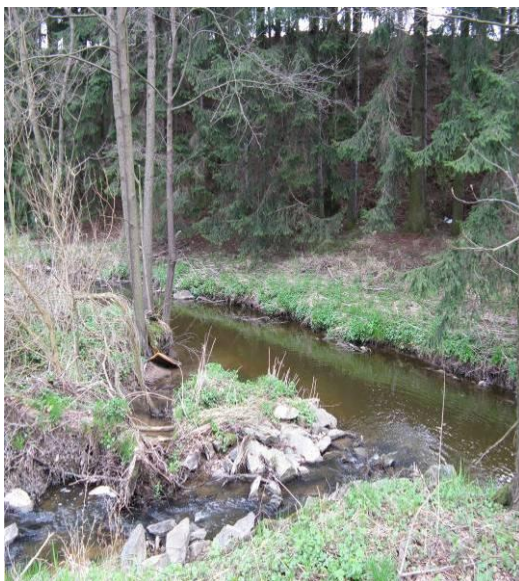


Foto č. 1

Uzavírající profil toku.
Místo, kde se Strženecký potok
vlévá do Chotýšanky.



Foto č. 2

Vpravo bezpečnostní přeliv
a požerák ústící do Strž.pot.
vlevo most přes Strž.pot.z roku 1948.



Foto č. 3

Rybník ve Vojslavicích.



Foto č. 4

Opevněné koryto v intravilánu a mostek
přes vodní tok ve Vojslavicích.



Foto č. 5
Soutok Strženeckého potoka
vpravo a jeho nejdelšího
pravého přítoku vlevo.



Foto č. 6
Pohled z hráze rybníka v Hlivíně.



Foto č. 7
Poslední levostranný přítok
vpravo s opevněným dnem.



Foto č. 8
Propustek pod silnicí Strženec
- Vojslavice. Kombinace kamene
železobetonové desky.



Foto č. 9
Náhon na turbínu vodní elektrárny s akumulací nádrží v horní části a odlehčovací přepad s lávkou vpravo.



Foto č. 10
Propust pod silnicí Strženeč- Janovská Lhota



Foto č. 11
Soutok Strženeckého potoka s prvním levostranným přítokem vpravo, v podmáčeném lesíku.



Foto č. 11a
Vtok Strženeckého potoka do rybníka Stržence, v pozadí bažinatý lesík s převládajícím porostem olše lepkavé (*Alnus glutinosa*).



Foto č. 12
Propustka pod lesní cestou
vyřešená betonovou rourou.



Foto č. 13
Místo výronu vody z podmáčené
louky na kraji lesa. Odtud ČHMÚ uvádí
začátek toku.



Foto č. 14
Malý rybník, ze kterého pramení
Strženecký potok. Zhruba o 900m
výše, než místo výronu, se kterým
počítá ČHMÚ.



Foto č. 15
Kamenná propustka s betonovým
překladem na nejdelším přítoku
pod silnicí Hlivín-Vojslavice.



Foto č. 16
Konec opevněného koryta
na kraji lesa.



Foto č. 17
Vyústění propustky pod silnicí
Strželec – Janovská Lhota.



Foto č. 18
Revizní šachta na drenážním
systému.



Foto č. 19
Spojná šachta v blízkosti rybníka
u hájenky.



Foto č. 20

Soutok dvou vedlejších přítoků
vpravo kratší, vlevo delší.
Oba mají vydlážděné dno
z betonových prefabrikátů.



Foto č. 21

Vyústění drenážního systému
v nezámrazné hloubce.



Foto č. 22

Vyústění vedlejšího přítoku
pod silnicí Ouběnice-Strželec.



Foto č. 23

Místo vtoku druhého levostranného
přítoku do Strženeckého rybníka.



Foto č. 24
Hráz rybníka Stéblence .



Foto č. 25
Přítok do rybníka Stéblence
z drenážního systému.



Foto č. 26
Místo pramene prvního
levostranného přítoku
Strženeckého potoka.



Foto č. 27
Požerák na rybníku u hájenky.



Foto č. 28
Příjezdový most na pozemek.



Foto č. 29
Příjezdový železobetonový most.
(ZEMAN 2012)