

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Učitelství geografie pro střední školy – Učitelství matematiky



Bc. Michal Kadeřábek

SRÁŽKO-ODTOKOVÉ VZTAHY V POVODÍ KLABAVY
RAINFALL-RUNOFF RELATIONS IN THE KLABAVA CATCHMENT

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Miroslav Šobr, Ph.D.

PRAHA 2018

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Řevnicích dne 19. 4. 2018

.....

podpis

Poděkování

Za mnohé cenné rady, poskytnutí dat a pečlivé vedení celé práce děkuji vedoucímu této práce RNDr. Miroslavu Šobrovi, Ph.D. Další díky patří pracovníkům ČHMÚ za poskytnutá data, díky kterým mohla tato práce vzniknout.

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá srážkovými a odtokovými poměry v povodí řeky Klabavy. Práce hledá v srážkoodtokovém procesu nehomogenity, které mohly způsobit za dobu pozorování průtoků (1950-2014) změny vyvolané antropogenními nebo klimatickými změnami. V rešeršní části je popsán srážkoodtokový proces a poměry v povodí Klabavy. V aplikační části jsou využity jednoduché i podvojně součtové čáry a statistické testy pro testování absolutní homogenity, relativní homogenity a trendu (Mann-Whitney-Pettit, Alexandersson, Mann-Kendall) v měsíčních, ročních a sezónních průměrných a minimálních odtokových a průměrných srážkových řadách. Testy jsou provedeny převážně ve volně stažitelném softwaru AnClim, určeném pro tyto účely, Mann-Kendallův test v MULTMK/PARTMK, který je volně stažitelný jako makro programu MS Excel. Dále je provedena základní diskuse o povodních na Klabavě a jejich sezonalitě. Testy homogenity neodhalily příliš mnoho nehomogenit, většina detekovaných nehomogenit byla zjištěna u řad minimálních průtoků. Srážky za pozorované období vykazují spíše rostoucí trend, zatímco u průtoků trend detekován nebyl. Zjištěné výsledky jsou v závěru porovnávány s podobnými pracemi, které na toto téma vznikly pro jiná povodí v rámci ČR.

Klíčová slova: Klabava, srážkoodtokové vztahy, trendy odtoku, povodeň, sezonalita

Abstract

This thesis deals with rainfall and water runoff regime in the catchment area of river Klabava. The aim of this thesis is to find changes in the rainfall-runoff regime during the period of observations (1950-2014) and if so, were these changes caused by climate changes or human activities. The research part includes description of rainfall-runoff process and Klabava catchment area description. In the applied part there is an analysis of precipitation – runoff regime for long-term time series of average and minimal annual, monthly and seasonal discharges and annual, monthly and seasonal precipitations using single and double mass curves and statistical tests testing absolute homogeneity, relative homogeneity and trend (by Mann-Whitney-Pettit, Alexandersson, Mann-Kendall tests). The tests were performed by freely available software AnClim designed for these purposes. Mann-Kendall test was performed by MULTMK/PARTMK available as a MS Excel macro for free. Plus, there is basic discussion of floods in Klabava river basin and flood seasonality. The homogeneity tests haven't found many changes at all, most of the detected changes concern the minimal runoff time series. The precipitation annual amount was detected with a raising trend, while the runoff time series seem to have no trend at all. Achieved results were discussed and compared with similar studies in the Czech Republic.

Key words: Klabava River, rainfall-runoff relations, runoff trends, flood, seasonality

Obsah

Seznam zkratk	7
Seznam tabulek, grafů, obrázků	8
1. Úvod a cíle	10
2. Data a metodika	12
2.1. Data	12
2.2. Metoda doplnění srážkových dat	13
2.3. Určení srážkové výšky na povodí	14
2.4. Metody určení změn v časových řadách	15
2.4.1. Časové řady a jejich homogenita	16
2.4.2. Absolutní homogenita	16
2.4.3. Relativní homogenita	17
2.4.4. Trend	19
3. Srážko-odtokový proces	20
3.1. Srážky	21
3.2. Intercepce	22
3.3. Evapotranspirace	23
3.4. Infiltrace	25
3.5. Podzemní a podpovrchová voda	26
3.6. Odtok	27
3.6.1. Základní odtok	28
3.6.2. Přímý odtok	28
3.6.2.1. Povrchový odtok	29
3.7. Antropogenní úpravy a jejich vliv na odtok	33
3.7.1. Historie úprav vodních toků	33
3.7.2. Vliv upravených vodních toků na odtok	34
3.7.3. Meliorace	35
3.7.4. Revitalizace	35
3.7.5. Vodní nádrže	36
3.7.6. Krajinný pokryv	37
3.7.6.1. Vliv lesa	38
3.8. Povodně	39
4. Fyzickogeografická charakteristika povodí Klabavy	42

4.1. Geologická charakteristika.....	42
4.2. Geomorfologie.....	43
4.3. Půdní poměry.....	46
4.4. Krajinný pokryv.....	48
4.5. Klima.....	53
4.6. Srážky.....	54
4.6.1. Rozložení srážek během roku.....	55
4.6.2. Změna sezónního rozložení za dobu 1961-2014.....	57
4.6.3. Změna roční výše srážek za dobu 1961-2014.....	58
4.7. Hydrografie.....	59
4.8. Vodní plochy.....	64
4.9. Ekologický stav vodních toků.....	65
5. Výsledky.....	66
5.1. Odtokové poměry.....	66
5.1.1. Charakteristiky ročních průtoků.....	67
5.1.2. Měsíční a sezónní průtoky.....	69
5.1.3. Charakteristiky denních průtoků.....	73
5.2. Změny ve srážkoodtokovém trendu.....	77
5.2.1. Absolutní homogenita.....	77
5.2.2. Relativní homogenita.....	82
5.2.3. Určení trendu.....	85
5.3. Povodňové průtoky na Klabavě od roku 1981.....	87
5.3.1. Sezonalita a povětrnostní situace povodní na Klabavě.....	88
5.3.2. Vybrané povodňové epizody od roku 1981.....	91
6. Diskuse.....	97
6.1. Vstupní data.....	97
6.2. Použitá metodika.....	98
6.3. Zjištěné výsledky.....	100
7. Závěr.....	103
8. Přílohy.....	104

Seznam zkratk

ARCČR 500	Digitální vektorová geografická databáze České republiky v měřítku 1 : 500 000
CORINE	Coordination of Information an the Environment - Koordinace informací o životním prostředí
ČGS	Česká geologická společnost
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČR	Česká republika
ČSN	Česká technická norma
DIBAVOD	Digitální báze vodohospodářských dat
HEIS – VÚV	Hydroekologický informační systém Výzkumného ústavu vodohospodářského T. G. Masaryka
CHKO	Chráněná krajinná oblast
ISVS	Informační systém veřejné správy
m n.m.	Metr nad mořem
MK-S	Mann - Kendall statistic
MS	Microsoft
MULTMK/PARTMK	Multivariate Mann - Kendall / Partial Mann - Kendall
MŽP ČR	Ministerstvo životního prostředí České republiky
VÚMOP	Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy
WMS	Web Map Service - webová mapová služba
ZABAGED	Digitální vektorová geografická databáze České republiky

Seznam tabulek

Tab. 2.1 Doplnované stanice pro analýzu srážek.....	14
Tab. 4.1 – Koeficient ekologické stability.....	49
Tab. 4.2 – Změny v LandUse v povodí Klabavy.....	52
Tab. 4.3 – Přehled klimatických oblastí v povodí Klabavy.....	54
Tab. 4.4 - Základní hydrografické údaje	61
Tab. 4.5 - Charakteristiky tvaru povodí a uspořádání říční sítě	61
Tab. 5.1 – Míry vodnosti.....	68
Tab. 5.2 – Mimořádně vodné a mimořádně málo vodné roky.....	69
Tab. 5.3 - M-denní průtoky pro stanici Nová Huť za období 1950-2014 v m ³ /s.....	76
Tab. 5.4 – Výsledku Mann-Whitney-Pettitova testu absolutní homogenity.....	80
Tab. 5.5 – Výsledky Alexanderssonova testu relativní homogenity.....	83
Tab. 5.6 – Výsledky Mann-Kendallova testu pro detekci trendu.....	86

Seznam grafů

Graf 4.1 – Měsíční úhrny srážek.....	55
Graf 4.2 – Rozložení srážek během roku podle ročních období.....	56
Graf 4.3 – Vývoj sezónních srážek v povodí Klabavy za období 1961-2014.....	57
Graf 4.4 – Vývoj rozložení srážek v povodí Klabavy dle ročních období za dobu 1961-2014.....	57
Graf 4.5 – Vývoj podílu měsíčních srážek v povodí Klabavy na ročním odtoku za dobu 1961-2014.....	57
Graf 4.6 – Vývoj ročních srážek v povodí Klabavy.....	58
Graf 4.7 – Kruhový graf dílčích povodí v povodí Klabavy.....	62
Graf 4.8 – Rozvinutý podélný profil Klabavy.....	63
Graf 4.9 – Hypsografická křivka Klabavy.....	63
Graf 5.1 – Průměrné roční průtoky.....	67
Graf 5.2 – Průměrné měsíční průtoky za období 1950-2014.....	70
Graf 5.3 - Průtoky dle ročních období a měsíců za období 1950-2014.....	70
Graf 5.4 – Podíl sezónního rozdělení odtoku.....	71
Graf 5.5 – Vývoj podílu měsíců na ročním odtoku za období 1950-2014	72
Graf 5.6 – Vývoj podílu chladného a teplého půlroku na ročním odtoku.....	73
Graf 5.7 - Denní průtoky za období 1950-2014.....	74
Graf 5.8 - Denní průtoky v mimořádně málo vodném hydrologickém roce 1964.....	74
Graf 5.9 – Denní průtoky v mimořádně vodném hydrologickém roce 1965.....	75
Graf 5.10 – Denní průtoky v průměrně vodném hydrologickém roce 1969.....	75
Graf 5.11 – Čára překročení.....	76
Graf 5.12 - Kumulativní řada denních průtoků za hydrologické roky 1950–2014	77
Graf 5.13 - Jednoduché součtové řady – kumulativní řady ročních srážek a průtoků.....	78
Graf 5.14 – Jednoduchá součtová řada ročních minimálních a průměrných průtoků.....	78
Graf 5.15 – Jednoduchá součtová čára vybraných minimálních měsíčních průtoků.....	81
Graf 5.16 – Jednoduchá součtová čára vybraných sezónních řad.	81
Graf 5.17 – Podvojná součtová čára za období 1961-2014.....	82

Graf 5.18 – Podvojná součtová čára vybraných měsíčních a sezónních průtoků.....	84
Graf 5.19 – Podvojná součtová čára vybraných měsíčních minimálních průtoků.....	85
Graf 5.20 Povodňové průtoky na Klabavě v období 1981-2014.....	87
Graf 5.21 – Povodňové situace podle měsíce výskytu a extremity.....	88
Graf 5.22 – Povodňové situace podle povětrnostní situace a extremity.....	89
Graf 5.23 - povodňová epizoda 30.7-18.8.2002.....	92
Graf 5.24 - povodňová epizoda 12.12.2002-7.1.2003.....	93
Graf 5.25 – denní průtoky před povodněmi 2006.....	94
Graf 5.26 - povodňová epizoda 9.5.-7.6.2006.....	94
Graf 5.27 – porovnání průběhu povodně 2006 v profilech Nová Huť a Hrádek.....	95
Graf 5.28 - povodňová epizoda 1.5.-24.6.2013.....	96

Seznam obrázků

Obr. 2.1 – Srážkoměrné a vodoměrné stanice v povodí Klabavy.....	13
Obr. 3.1 - Srážkoodtokový proces dle normy ČSN 750110.....	20
Obr. 3.2 – Srážkoodtokový proces podle Bevena.....	21
Obr. 3.3 – Intercepční ztráty v závislosti na intenzitě deště.....	23
Obr. 3.4 – Modely odtoku.....	32
Obr. 4.1 - Mapa geologického podloží.....	43
Obr. 4.2 - Mapa výškových poměrů v povodí Klabavy.....	45
Obr. 4.3 – Sklonitost reliéfu v povodí Klabavy.....	46
Obr. 4.4 - Mapa půdních typů v povodí Klabavy.....	48
Obr. 4.5 – 4.8 – LandUse v povodí Klabavy v letech 1990, 2000, 2006, 2012.....	50-51
Obr. 4.9 – Přehled odvodněných území v povodí Klabavy.....	53
Obr. 4.10 Hydrografie Klabavy.....	60
Obr. 5.1 – Povětrnostní situace B.....	89
Obr. 5.2 – Povětrnostní situace C.....	90
Obr. 5.3 – Povětrnostní situace NEc.....	90
Obr. 5.4 - Povětrnostní situace Wc.....	91

1. ÚVOD A CÍLE PRÁCE

V krajině dochází k nezměrnému množství rozličných procesů, z nichž mnohé mají pro lidské společenství podstatný význam. Na první pohled nepříliš významný, ale při bližším poznání s velkými dopady, probíhá v krajině srážkoodtokový proces. Hlavním vstupním faktorem ovlivňujícím srážkoodtokový proces jsou klimatické srážky, u nichž nás zajímá především jejich celkové množství, prostorová a časová distribuce. U těchto přírodních procesů lze za dobu pozorování vysledovat mnohé změny, které je následně nutné diskutovat. Nejenže srážkoodtokový proces ovlivňuje společnost, ale má se za to, že i společnost především vlivem svého podílu na změně klimatu a vlivem svých zásahů na vodních tocích a v krajině promlouvá do změn ve srážkoodtokovém režimu. Tyto změny mnohdy zpětně negativně ovlivňují lidskou společnost a z toho důvodu je tomuto tématu věnována patřičná pozornost. Mezi hlavní způsoby, jak může společnost ovlivnit proces odtoku, patří překládání říčních koryt, výstavba přehrad na tocích, úpravy říčních koryt, odvodňování, změna ve využití půdy v povodí.

Klabava je pravostranným přítokem Berounky, který má ve své pramenné části poměrně přirozený charakter, neboť pramení v dřívějším vojenském újezdu, od roku 2014 Chráněné krajinné oblasti Brdy. Po opuštění CHKO je naopak koryto Klabavy v některých svých pasážích velmi významně ovlivněno a kupříkladu na území Rokycan má koryto velmi málo společného s přirozeným stavem. Vlivem častých povodňových epizod na řece a nedostatečné protipovodňové ochrany pak při extrémních srážkových epizodách přichází odtoková odezva silně ovlivňující socioekonomickou sféru v blízkosti vodního toku.

Už samotná etymologie slova Klabava odkazuje na časté problémy s vodnatostí toku. Kořen slova vznikl pravděpodobně od slov „klabat“, „klubat“, což znamená osekávat, rozbíjet na kusy. Další příbuzný výraz „klobotina“ zase znamená naplavenina. Koncovka „-ava“ odkazuje na tradiční označení vody, podobně jako v názvech dalších českých řek (Sázava, Otava, Vltava, Morava...) (Dvořák 2014).

Hlavním cílem této práce je analýza srážkoodtokového procesu v povodí Klabavy. V rešeršní části jsou zkoumány různé metody, které využili autoři zkoumající podobnou problematiku na jiných tocích. Dále je provedena fyzickogeografická charakteristika území

s akcentem na ty aspekty, které promlouvají do formování odtoku vody z území a podrobnější rozbor jednotlivých fází srážkoodtokového procesu.

Tato práce dále doplňuje jiná povodí, na kterých již podobný průzkum probíhal. Například v rámci Přírodovědecké fakulty provedl výzkum v oblasti Šumavy na více rozličných povodích Fiala (2014), jehož práce navazovala mimo jiné na mnohou práci vykonanou Klimentem a Matouškovou (2005, 2007, 2011), území Stropnice studovala ve své diplomové práci Volková (2010), na povodí Rolavy v Krušných horách prováděl výzkum Ledvinka (2006, 2008), povodím Opavy se zabýval Královec (2009). Na samotné Klabavě proběhl výzkum v roce 2007 firmou Hydroprojekt, která však pracovala jen s daty odtoku, bez zahrnutí srážek a zvažování možných trendů a využití výzkumné metodiky.

V menší míře navazuje tato práce i na předchozí bakalářskou, která se však více zabývala povodněmi a možnou výstavbou přehradní nádrže nebo soustavy poldrů ke zmenšení vlivů povodňových epizod.

Analýza si klade za cíl detekovat potenciální momenty, ve kterých došlo za dobu měření k možné změně v odtokovém procesu a u těchto momentů určit případnou souvislost se změnou ve výši srážek, případně s antropogenně vzniklými změnami v povodí Klabavy. Možné změny a výsledky je dále zamýšleno porovnat s výsledky ve výše zmíněných studiích.

Kromě srážkoodtokových trendů se práce v menší míře dále zabývá vybranými povodňovými událostmi na Klabavě. Z dostupných dat bude provedena základní diskuse o sezonalitě povodní a jejich porovnání s dlouhodobými odtokovými poměry. U vybraných epizod budou diskutovány jejich příčinné srážky a průběh.

2. DATA A METODIKA

2.1 Data

Data ke zpracování diplomové práce byla poskytnuta ČHMÚ, a to jak srážková, tak průtoková. Data o průtocích měla charakter průměrných denních průtoků a byla dostupná ze dvou stanic. Delší řadu nabízí stanice v profilu Nová Huť, která zaznamenává průtoky od roku 1949 a je tak hlavním zdrojem dat o vývoji průtoků na Klabavě. Jedná se o Novou Huť poblíž obce Dýšina. Na Klabavě se můžeme setkat ještě s jedním sídlem zvaným Nová Huť, a to poblíž Hrádku u Rokycan, ovšem v tomto textu, není-li uvedeno explicitně jinak, je chápána vždy Nová Huť ve smyslu té u Dýšiny. Tato stanice se nachází na dolním toku, nedaleko Chrástu u Plzně a soutoku s Beroučkou a pod ní již nezaústňuje žádný významný přítok. Proto výstupy z této stanice lze chápat jako souhrnné za celé povodí.

Druhou stanicí je stanice Hrádek u Rokycan, která však měří až od roku 2001 a proto byly její údaje ve většině analýz zanedbány. Tato stanice se naopak nachází spíše v horní části toku, nedaleko od CHKO Brdy, kde Klabava pramení a má odtud několik přítoků.

Vzhledem k tomu, že data denních průměrů jsou pro provedení analýzy nevhodná, bylo nutné je nejprve v programu MS Excel upravit a vytvořit z nich měsíční a roční průměry.

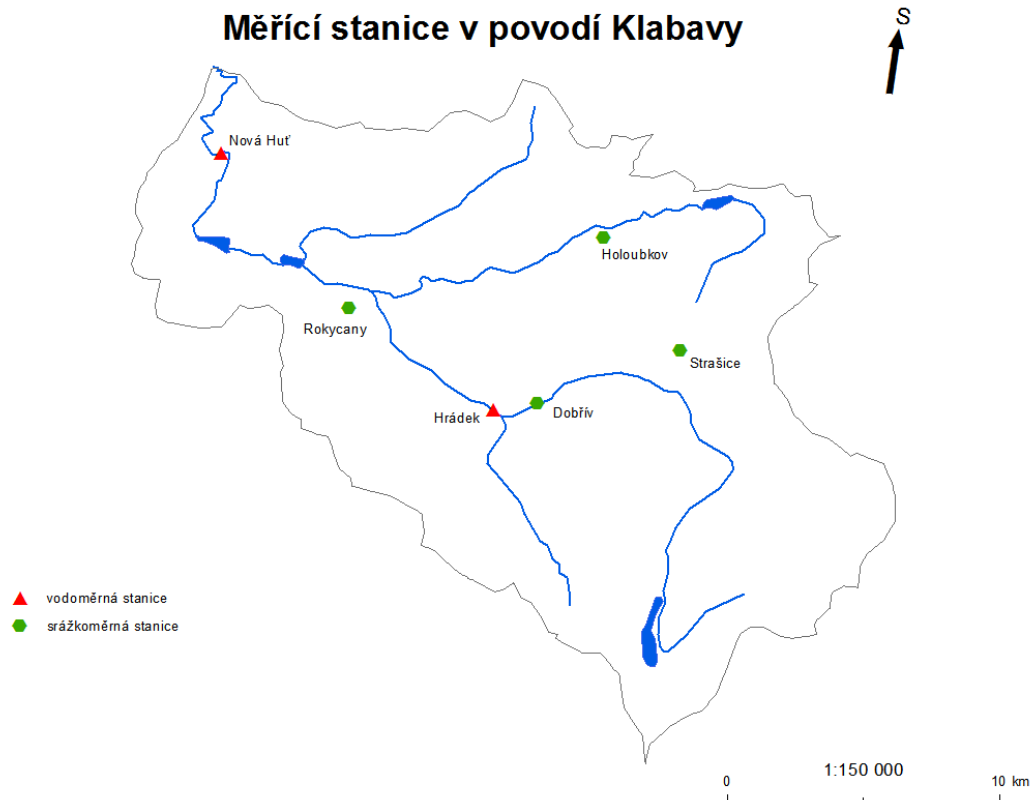
Denní průměrné průtoky navíc nevyhovují analýze sezonality povodní i s ohledem na skutečnou kulminační hodnotu, proto byl opět odeslán požadavek na ČHMÚ o data kulminačních průtoků těch dní, kdy denní průměrná hodnota průtoků dosahovala alespoň jednoleté vody. Na dotaz však byla poskytnuta jen data za období 1981-2014 z důvodu, že z doby mezi lety 1949-1981 nejsou data digitalizována a zkontrolována. V tomto období tak je možné vycházet jen z denních průměrných průtoků.

Data o srážkách zahrnovala celkové denní úhrny a k dispozici byly údaje ze čtyř stanic. Jedná se o stanice Dobřív (měřeno od roku 1941), Strašice (měřeno od roku 1964), Holoubkov (měřeno od roku 1961) a Rokycany (měřeno od roku 2006). Velkým nedostatkem u těchto dat je jejich nekompletnost, jelikož u nejdelsí řady z Dobřívě chybí v datech záznamy z celých osmdesátých let, ostatní stanice měřily kontinuálně od počátku svého měření.

Též u dat o srážkách bylo nutné z denních úhrnů vytvořit nejprve měsíční a roční celkové úhrny, se kterými bylo možné dále lépe pracovat.

V kapitole o hydrografických a odtokových poměrech (kapitola 4 a 5.1) bylo využito dostupných mapových dat především z databáze DIVAVOD a ARCČR 500. Data krajinného pokryvu byla převzata z databáze CORINE.

Obr. 2.1 – Srážkoměrné a vodoměrné stanice v povodí Klabavy



Zpracováno v ArcGIS

2.2 Metoda doplnění srážkových dat

Pro další analýzy srážkové situace na celém povodí je nezbytné mít data ze stejně dlouhých úseků, a tedy vypořádat se s nekompletními řadami. Používanou metodou vypořádání se s nekompletními řadami je jejich zanedbání. K tomuto kroku bylo přistoupeno v případě stanice Rokycany, jejíž řada je příliš krátká na to, aby mohla být relevantně doplněna. U ostatních stanic bylo nutné přistoupit k doplnění dat ze srážkových měření tak, aby do analýzy srážkoodtokových trendů mohly vstupovat kompletní řady. Na stanici Dobřív sice probíhá měření již od roku 1941, nicméně se nepodařilo doplnit data pro zbylé dvě stanice i pro toto období (z důvodu nedostatečné korelace pro některé měsíce), proto byla data doplněna až od roku 1961, pro něž byly k dispozici na doplnění již dvě referenční řady. Během průběhu doplňování byla pro některé měsíce vyloučena jedna ze stanic a doplňování

probíhalo na základě jedné referenční řady. Obdobně jako v pracích Ledvinky (2008), Klimenta a Matouškové (2009) či Volkové (2010) byla zvolena k doplňování vícenásobná lineární regrese; princip této metody popsala například Heřmanová (1991).

Tab. 2.1 Doplňované stanice pro analýzu srážek

Stanice	Hm k dispozici	Doplňovaná data
Dobřív	1941-1979, 1990-2014	1980-1989
Strašice	1964-2014	1961-1963
Holoubkov	1961-2014	-
Rokycany	2006-2014	-

Zdroj: ČHMÚ

Doplňování dat proběhlo v prostředí programu SPSS Statistics 19. Byly vytvořeny řady za každý měsíc pro každou stanici. Doplňování probíhalo zvlášť pro každou stanici a každý měsíc. Do lineární regrese vstupovala jako závisle proměnná doplňovaná stanice a nezávisle proměnné všechny ostatní stanice, pro které byla dostupná data. Algoritmus Stepwise doporučil vyřadit některé řady z důvodu nedostatečné korelace, proto nemohla být doplněna data za období 1949-1961, jelikož pro toto období byla k dispozici pouze jedna stanice měřící úhrny srážek, která nevykazovala v některých měsíčních řadách dostatečnou korelaci.

2.3 Určení srážkové výšky na ploše povodí

Metod pro určení srážkové výšky na ploše povodí z bodových měření se v různých pracích využívá více. Nejjednodušší je pouhé vypočítání aritmetického průměru z daných stanic. Další možností je použití Thiessenových polygonů. Jejich princip spočívá ve vytvoření trojúhelníkové sítě, kde strany trojúhelníku spojují jednotlivé stanice. Středem stran jsou následně vedeny kolmice, které vytvoří síť mnohoúhelníků. Velikost plochy mnohoúhelníku patřícího k dané stanici tvoří její váhu vstupující k vypočítání váženého průměru. (Kemel 2000)

Nejčastěji se však využívá metody tvorby izohyet, tedy spojnic míst se stejnou výškou srážek. Možností, jak izohyety vytvořit je více a v programu ArcGIS 10.4.1 nabízí nástroj

Spatial Analyst šest interpolačních metod (Spline, Topo to raster, IDW, Kriging, Natural neighbor, Trend).

Ledvinka (2008) ve své práci použil metodu Spline, Volková (2010) zkoušela metodu IDW a Topo to raster, nakonec však upřednostnila IDW, tuto metodu zmiňuje i Beven (2012). Královec (2009) podobně jako Fiala (2014) využili k určení srážkové výšky na ploše území metodu orografické interpolace vyvinutou pracovníkem ČHMÚ Petrem Šerclem jako extenzi programu Arcview. Tato metoda nejlépe vystihuje fakt, že s rostoucí nadmořskou výškou narůstá množství srážek.

Na území povodí Klabavy bylo vyzkoušeno několik metod interpolace v programu ArcGIS. Zvažována byla především metoda Topo to raster. Sice byla původně vyvinuta za cílem vytvoření hydrologicky korektního digitálního modelu reliéfu, ale tuto metodu vyzkoušel Šercl (2008) a zhodnotil, že může být vhodná i k určení srážkové výšky na území. Ze všech metod se nejvíce podobá té, kterou by zkušený odborník nakreslil od ruky. Na území Klabavy se však ukázala jako nepoužitelná z důvodu toho, že do interpolace v programu musí vstupovat alespoň pět stanic a pro účely této práce byla k dispozici využitelná měření pouze ze tří stanic. Ostatní metody vyzkoušené v prostředí ArcGIS (IDW, Spline, Kriging, Natural neighbor, Trend) zase měly problém s odhadem srážek v periferních oblastech povodí, neboť tři stanice, ze kterých jsou dostupná data se nacházejí poměrně blízko u sebe (obr. 2.1) a pro vzdálenější místa (nejen pramenná oblast Brd, ale hlavně okolí ústí do Berounky, Chrást u Plzně, Dýšina, Klabava) je prakticky nemožné srážky odhadovat. Ve všech případech vznikl grafický výstup omezený pouze na okolí stanic měření a ostatní oblasti zůstaly prázdné.

Důsledkem toho bylo k odhadu výšky srážek na povodí přistoupeno k pouhému průměrování. Tento způsob sice je obvykle doporučován pouze pro rovinné území (Kemel 2010), ale v případě této práce byl zvolen i z důvodu, že Thiessenovy polygony by jako výrazně dominantní stanici pro celé území povodí zvolily stanici v Dobřívě. Beven (2012) zdůrazňuje, že veškeré interpolační metody jsou jen velmi přibližné a rozložení srážek se mění při každé srážkové události. Proto obzvlášť k výsledkům běžného průměrování hodnot měření jednotlivých stanic bylo dále přistupováno s velkou obezřetností.

2.4 Metody určení změn ve srážkoodtokovém trendu

2.4.1 Časové řady a jejich homogenita

K získání poznatků o dlouhodobém vývoji změn je v geovědách využíváno časových řad. Časová řada bývá definována jako datový soubor diskrétních veličin, tedy nabývající konečného počtu hodnot. V hydrologii a klimatologii se časových řad využíváno velmi hojně ke zjišťování již zmíněných dlouhodobých změn způsobených klimatickými změnami či přímým antropogenním vlivem. Přímě v časových řadách jsou pak sledovány především odchylky (změny), které je možné dělit na cyklické a necyklické. K necyklickým změnám se řadí trend lineární i nelineární, kde nelineární trend je charakteristický absencí relativních maxim a minim v průběhu řady. Naopak cyklické změny vykazují relativní maxima a minima, které se v časových intervalech více či méně pravidelně vyskytují. Jsou-li periody a amplitudy konstantní, jedná se o periodické změny. (Královec 2009)

U časových řad tak je přístupováno k testování jejich homogenity. Testy homogenity se dělí na absolutní a relativní. U testů absolutní homogenity se pracuje s jedinou řadou, zatímco testy relativní homogenity pracují se dvěma řadami, u nichž je zkoumána diference nebo podíl odpovídajících si dvojic hodnot. Testy homogenity dat předchází samotnému určení trendu vývoje v časových řadách.

2.4.2 Absolutní homogenita

V této práci byl k odhalení absolutní homogenity využit Mann-Whitney-Pettit test, občas též označován jako Pettitův test. Tento test kromě určení homogenity určuje též rok, kdy k předpokládané změně došlo a využili jej například Ledvinka (2008), Královec (2009), Volková (2010) nebo Fiala (2014). Tento test je založen na posuzování střední hodnoty, u které hledá signifikantní změnu. Vzhledem k tomu, že počítá s pořadím prvků, je méně citlivý na odlehle hodnoty. Test pracuje s dvojicí výběrů z jednoho souboru. Testovací statistikou je K , definované jako:

$$K = \max_{i \leq k \leq l} \left| \sum_{i=l}^k \sum_{j=k+l}^n \operatorname{sgn}(d_i - d_j) \right|$$

Takto nalezené maximum je následně považováno za pravděpodobný bod změny. Nulová hypotéza v tomto testu předpokládá, že se bod změny v souboru nenachází. Rozhodnutí, jestli hypotézu zamítnout se provádí na pravděpodobnosti p . V případě, že hodnota p vyjde menší než hladina významnosti testu, nulovou hypotézu zamítáme a předpokládáme, že v souboru se nachází signifikantní bod změny. Tedy v takovém případě je řada rozdělena na dvě části.

Mezi další testy absolutní homogenity patří například SNHT test využívaný pro výšku sněhové pokrývky nebo teplotní řady. Pro testování absolutní homogenity srážek bývá také doporučován test metodou von Neumanna. Tento test využili například Fiala (2014), Královec (2009), Kaňok (1997). Princip tohoto testu spočívá v hodnocení rozdílu mezi po sobě následujícími hodnotami. Tato metoda však neříká nic o bodu zlomu, který mohl nastat v časové řadě.

Vizualizační metodou absolutní homogenity bývá jednoduchá součtová čára. Jedná se o základní metodu zjištění tendencí srážek a odtoku. Při konstrukci jednoduché součtové čáry se v chronologickém pořadí sčítají hodnoty (průtoky), které se následně vynesou do grafu. Pokud po vnesení do grafu je grafické znázornění přibližně tvaru přímky, jedná se o rovnoměrné přírůstky. Pokud se v součtové čáře vyskytnou zlomy, je nutné tyto zlomy podrobit podrobnější analýze (srážky, antropogenní ovlivnění). (Kaňok 1997)

2.4.3 Relativní homogenita

Testů relativní homogenity se v poslední době v geovědách využívá častěji. V jejich principu se jedná o to, že je zkoumaná řada porovnávána s jinou řadou, u které je zajištěna její homogenita. Velmi hojně bývá využíván Alexanderssonův test homogenity pro jednoduchý zlom. Tento test vychází z tvorby diferencí či poměrů mezi členy testované a referenční řady. Takto vzniklá řada kvocientů (q_i) je následně standardizována do podoby:

$$z_i = \frac{q_i - \bar{q}}{s_q},$$

kde \bar{q} je hodnota aritmetického průměru kvocientů a s_q je směrodatná odchylka stejného souboru. Tato vzniklá standardizovaná řada je následně podrobena zkoumání jejího rozdělení.

Nulová hypotéza H_0 předpokládá, že z_i je prvkem $N(0,1)$ pro každé $i=1 \dots n$. Alternativní hypotéza H_1 předpokládá, že z_i je prvkem $N(\mu_1,1), i = 1, \dots, a$ nebo $N(\mu_2,1), i = 1, \dots, a+1, \dots, n$.

N označuje normální rozdělení a a rok zlomu.

Testovací statistika v tomto případě vychází z testu absolutní homogenity SNHT a její podoba tedy je následující:

$$T = \max_{1 \leq a \leq n-1} \{a\bar{z}_1^2 + (n-a)\bar{z}_2^2\},$$

kde \bar{z}_1 a \bar{z}_2 jsou aritmetické průměry řad z_i před a po změně, a je rok předpokládané změny. Pokud vypočtená hodnota testovacího kritéria T je vyšší než určená kritická hodnota, může být testovaná řada hodnocena jako nehomogenní. Tento test se hodí na testování řad s jednoduchým zlomem.

Jako doplňková vizualizační metoda k relativní homogenitě bývá využívána podvojná součtová čára. Tato metoda bývá nejčastěji používána k určení počátku antropogenního ovlivnění. Konstrukce podvojně součtové řady spočívá ve využití dvou řad. Řada A je řadou, u které zjišťujeme, jestli je antropogenně ovlivněna (v našem případě průtoková data). Za řadu B volíme řadu, u které víme, že antropogenně ovlivněna není a je tedy homogenní (v našem případě byla zvolena srážková data). Dalšími možnostmi pro řadu B jsou:

- Řada stejných hodnot
- Řada průtokových charakteristik jiné stanice v povodí
- Řada průtokových charakteristik jiné stanice na tomtéž toku
- Řada jiných průtokových hodnot, nebo charakteristik u téže stanice

Samotné sestavení podvojně součtové řady vyžaduje vytvoření postupných součtů obou řad.

Souřadnice bodů grafu v kartézské soustavě získáme jako odpovídající si hodnoty řady A a řady B. Těmito body je následně nutné proložit křivku, u které je opět potřeba sledovat její zlomy. V případě, že čára obsahuje zlomy, můžeme řadu A považovat za narušenou. Zlomy je nutné analyzovat a najít jejich příčinu. V případě práce s ročními průměrnými průtoky jsou jedinými pravděpodobnými příčinami zvýšení srážek, nebo antropogenní ovlivnění.

Pro kvalitní a věrohodné výsledky podvojně součtové řady je potřeba mít dobře zvolenou řadu B. Z toho důvodu je vhodné za řadu B volit takovou, aby měla co nejtěsnější korelační vztah s řadou A. (Kaňok 1997)

2.4.4 Trend

Nejčastější metodou k určení trendu ve vývoji v časových řadách dobře slouží Mann-Kendallův test. Tento test použili například Kliment, Matoušková (2009), Volková (2010), Fiala (2014), Ledvinka (2008). Testovací statistika se vypočítává takto:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i),$$

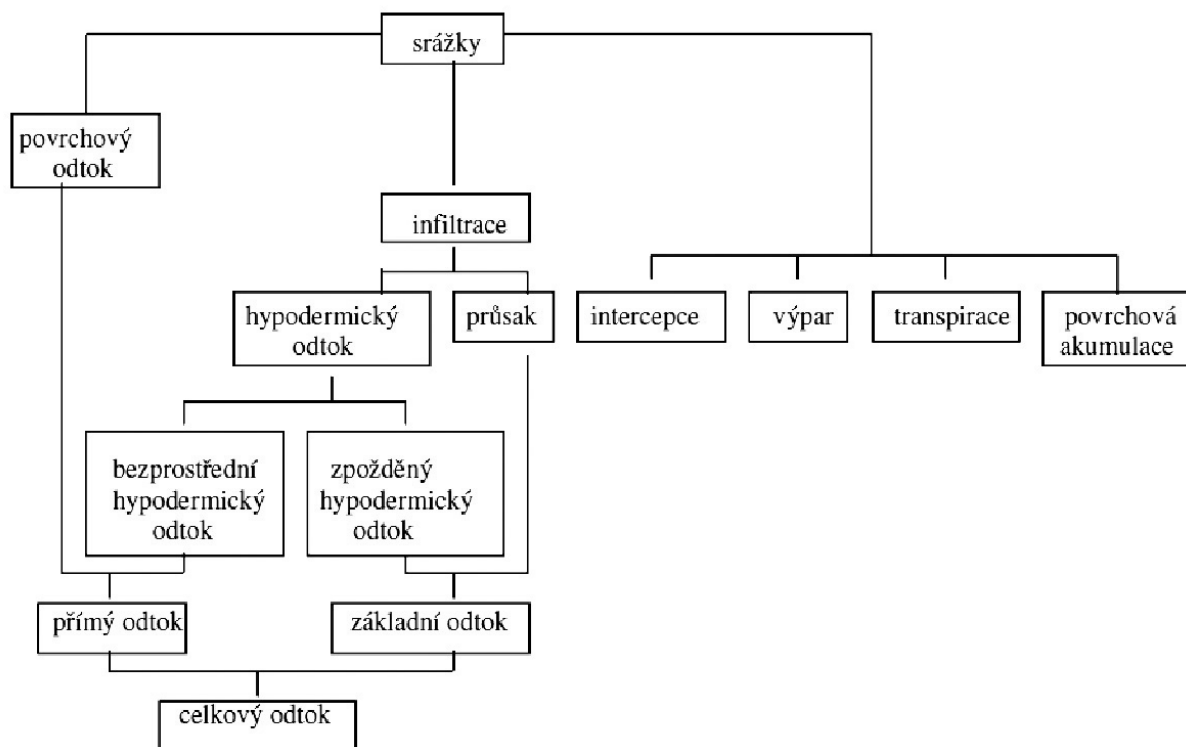
kde x_i a x_j jsou po sobě jdoucí členy řady, n je délka řady. Pro detekci trendu jsou u Mann-Kendallovu testu využívány dva parametry. První z nich, MK-statistics, který určuje směr a velikost trendu a tím druhým je p-hodnota vyjadřující míru signifikace (sílu testu). Čím je p-hodnota blíže nule, tím větší je významnost testu. Tento test zvládne pracovat i s dlouhými řadami a řadami, které jsou nestejně dlouhé.

Samotná realizace tohoto testu proběhla jako využití makra v MS Excel. Jako toto makro slouží program MULTMK/PARTMK vyvinutý na univerzitě v Linköpingu Andersem Grimwalem a Claudií Libiseller. Tento program je společně s manuálem volně stažitelný na internetu.

3. SRÁŽKODTOKOVÝ PROCES

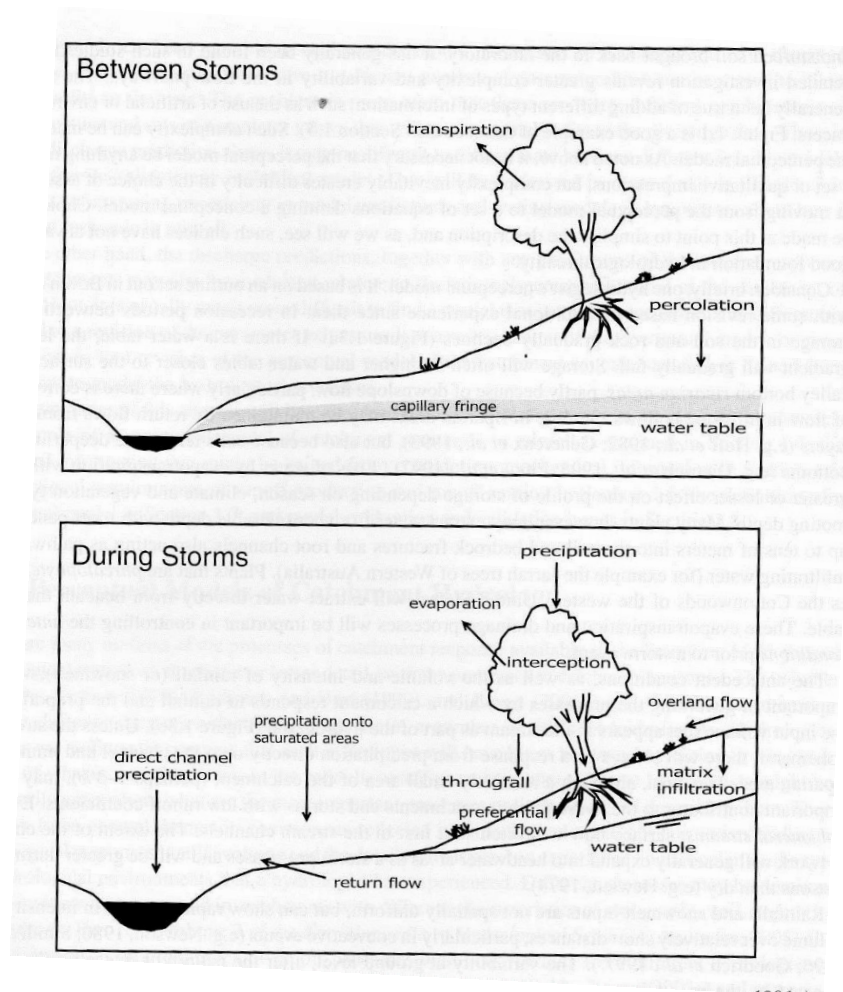
Srážkoodtokový proces je složitým procesem s mnoha dílčími aspekty, které je nutné v jeho případě uvažovat. Již úvodní obrázky dokládají, že srážkoodtokový proces je mnohem komplikovanější než například hydrologická rovnice, která počítá velmi zjednodušeně jen se srážkami, výparem a odtokem. Následující kapitoly v podstatě kopírují schéma srážkoodtokového procesu. Jednotlivé složky procesu jsou však natolik vzájemně ovlivněné, že i témata jednotlivých kapitol se dost silně prolínají.

Obr. 3.1 - Srážkoodtokový proces dle normy ČSN 750110



Zdroj: Fiala (2014)

Obr. 3.2 – Srážkoodtokový proces podle Bevena



Zdroj: Beven (2012)

3.1 Srážky

Srážky, jakožto hlavní vstup do srážkoodtokového procesu lze chápat nejen ve smyslu vypadávajících srážek, ale i ve smyslu srážek usazených. Teprve jejich součtem vzniká jako celkový úhrn srážek. Usazené srážky se vytváří z mlhy, případně kondenzací na porostech nebo zemském povrchu. Množství usazených srážek na rozdíl od srážek padajících je velmi těžko měřitelné. Fišák et al. (2014) se pokusili určit podíl usazených srážek na celkové úhrnu na stanici v Praze – Suchdole pomocí Duvdevaniho rosměru a speciálního automatického zařízení. Z více než ročního pozorování vzešla celková hodnota přibližně 30 mm usazených srážek, potvrzená oběma přístroji. Vliv usazených srážek je dále zkoumán v kapitole o vlivu lesa na odtok.

3.2 Intercepce

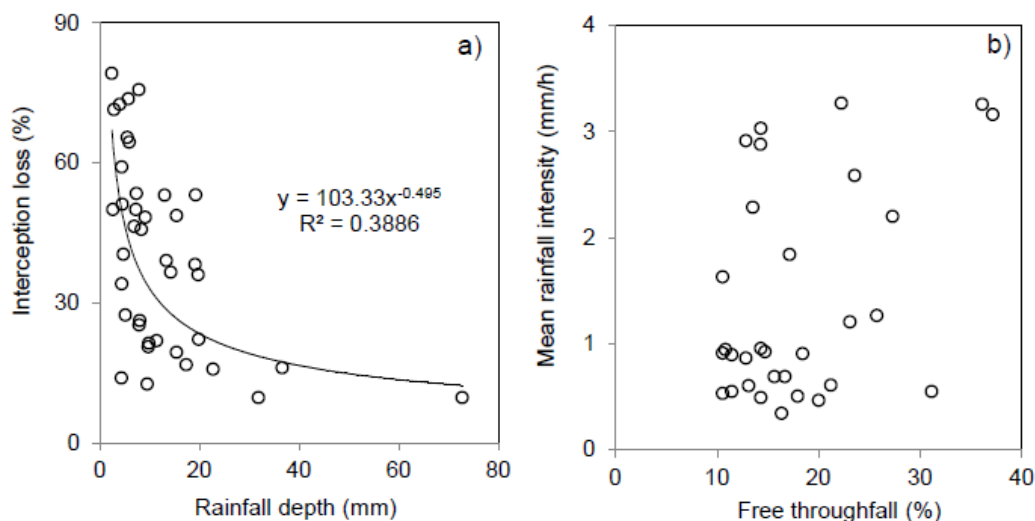
Intercepce je myšlena zadržování dešťových i sněhových srážek před tím, než dopadnou na zemský povrch. Z hlediska působení srážek ve vegetaci můžeme hovořit o třech možnostech:

1. srážky jsou zachyceny ve vegetaci a v průběhu deště či po jeho skončení se zpětně vypaří do atmosféry
2. srážky, které se zachytí ve vegetaci a po větvích i kmenech stečou k zemskému povrchu
3. srážky, které skrz vegetaci propadnou přímo k zemskému povrchu

O účinných srážkách mluvíme jako o těch, které se skrz vegetaci dostanou k povrchu a podílí se dále na odtokovém procesu, tedy srážky z bodu 2. a 3. (Černý et al. 2014). Beven (2012) zmiňuje též jako důležitý fakt, že mnohé stromy pomocí stoku po kmeni (podle něj v poměru i více než 10 % z příčných srážek) vytváří významné akumulace vody, které svou koncentrací převyšují příčné srážky. Jako velmi podstatný tento stok po kmeni zmiňuje i Kantor a Šach. (2003), a uvádí u buku stok po kmeni až 1500 litrů vody během srážky o síle 50 mm a pouze 30-50 litrů v případě té samé srážky u smrku.

Intercepce závisí přirozeně na druhu a hustotě vegetace. Pro případ jehličnatého (obzvláště pak smrkového) lesa prováděl Černý et al. (2014) výzkum na Šumavě, kde během léta a podzimu let 2012 a 2013 pozorovali srážkové epizody, u kterých měřili množství srážek propadlých skrz smrkovou vegetaci. Přiložené grafy ukazují jejich výsledky. Z jejich výsledků je patrné, že kromě povrchu, který celkově vegetace zaujímá vztaheno k jednotce povrchu země a je měřen v LAI (leaf area index, v případě této studie dosahoval hodnot zhruba 5-6 m²/m²) jsou intercepce a intercepční ztráty závislé především na objemu srážky a její intenzitě. Se vzrůstající intenzitou deště a vzrůstajícím objemem deště role intercepce klesá.

Obr. 3.3 – Intercepční ztráty v závislosti na intenzitě deště



Zdroj: Černý et al. 2014

Kantor a Šach (2007) zkoumali vliv mladého smrkového a bukového lesa na intercepci v oblasti Orlických hor a výsledkem jejich pozorování bylo, že u srážkově průměrného roku 2005 činily ztráty vody výparem v celém letním období v jehličnatém lese 21 % srážek a v bukovém lese 15,7 %. V následujícím roce, který byl srážkově bohatší, však intercepční ztráty činily u smrku jen 7,9 % a u buku 5,5 %, což je vysvětlováno mimo jiné u významným vlivem horizontálních (usazených) srážek. Vzhledem k tomu, že role horizontálních srážek roste se vzrůstající nadmořskou výškou, lze se domnívat, že například v pramenné oblasti Klabavy jejich vliv též bude zaznamenatelný.

3.3 Evapotranspirace

Evapotranspirace je proces, při kterém dochází k přenosu vody z půdy, volné hladiny, i vody zadržené intercepcí do atmosféry. Společně s výše vyčtenými zdroji je do procesu započítávána též voda, která se účastní v těle rostliny fyziologických procesů a je dále přenášena do ovzduší. Jak je patrné, skládá se tento proces ze dvou navzájem velmi propojených procesů.

Zprvým fyzikální výpar (evaporace) je proces změny skupenství vody z kapalného na plynné, případně z pevného na plynné a probíhá z volné hladiny, půdy nebo vegetace (vlivem intercepce).

Zadruhé transpirace, která sice funguje na principu vypařování, ale do ovzduší se zde dostává voda, která prošla rostlinami a její evaporace probíhá pomocí průduchů rostliny (Kemel 2000).

Evapotranspirace významně vstupuje do hydrologické bilanční rovnice jako jedna ze ztrátových složek bilance vody v povodí. Zároveň svým působením ochlazuje zemský povrch, a tak ovlivňuje nejnižší vrstvu ovzduší.

Mezi činitele ovlivňující proces evapotranspirace patří vedle meteorologických (respektive z dlouhodobého hlediska klimatických) i vegetační poměry a množství dostupné vody. Šereš (2011) ve své práci zmiňuje následující faktory:

- 1) Sluneční radiace – základní zdroj dodávající energii pro výpar. Mezi její hlavní ovlivňující činitele patří intenzita záření, charakteristika atmosféry a charakteristika vypařujících povrchů. Povrch ovlivňuje radiaci především albedem, s jehož rostoucí charakteristikou se radiace snižuje. Její změny jsou podmíněny změnami roční doby a tím délkou radiace i výškou Slunce na obloze, případně množstvím oblačnosti, obsahem vodní páry v atmosféře, teplotou vzduchu a teplotou vypařujícího povrchu. Zároveň v závislosti na změně roční doby nelze opomenout změny ve vegetačním pokryvu
- 2) Teplota – se zvyšující se teplotou je aktivnímu povrchu předáváno dostatek energie. Proto za slunného a teplého počasí dochází k vyšší evaporaci. Tento vztah však je platný jen potud, dokud je v půdě dostatek vody, při poklesu půdní vlhkosti pod 15 % již je vliv teploty na vypařování zanedbatelný.
- 3) Vlhkost vzduchu – vysoké hodnoty vlhkosti zamezují vypařování z důvodu, že vlhký vzduch se obtížně dosycuje vodní parou. Například ve vlhkých tropických oblastech tak není možné dosahovat i přes vysokou teplotu vzduchu vysokých hodnot evaporace.
- 4) Skupenské teplo vypařování – vyjadřuje energii nutnou pro přeměnu skupenství
- 5) Rychlost větru – Vodní pára je do okolního vzduchu lépe přenášena, pokud je vzduch v pohybu, který umožňuje odnos vodou nasyceného vzduchu pryč od aktivního povrchu, pokud je nahrazen nenasyceným (Macounová 2009). Při rychlostech větru přes 2 m/s je však již změna rychlosti větru pro evapotranspiraci zanedbatelná.
- 6) Atmosférický tlak
- 7) Vlastnosti vypařujícího povrchu – ovlivňují především svou drsností proudění vzduchu a zásobování aktivního povrchu vodou. Dále ve vegetačním období dochází k významným změnám v rozložení půdní vlhkosti i zásobování vodou.

Transpirací a evapotranspirací se zabývali dále například Pokorný et al. (2005). Jejich výsledky napovídají, že transpirace velmi závisí na intenzitě dopadající fotosynteticky aktivní radiace. Rozdílnou transpiraci dále vykazují osluněné a zastíněné porosty.

3.4 Infiltrace

Voda nezachycená intercepcí (ze srážek či tání sněhu), která se tedy dostane na zemský povrch, se začne vsakovat, až na výjimky zcela nepropustných podloží jako je zcela zmrzlá půda, pevné a kompaktní horniny a některé antropogenní povrchy (Beven 2012). Rychlost a objem infiltrace je značně závislý na intenzitě deště a infiltrační kapacitě půdy. Při překročení infiltrační kapacity nastává povrchový odtok.

Vlastnosti půd bývají z tohoto hlediska dost rozličné i na malém území a jejich infiltrační schopnosti se tak mohou značně lišit. U lesních půd dochází k povrchovému odtoku jen velmi zřídka.

Čermák (1966) jako dobře propustné uvádí písčité hlíny, písky a šterky. Mezi málo propustné řadí celistvé horniny a jíly. U ostatních půd záleží na množství jílových a písčitých frakcí. I písčité půdy se mohou stát nepropustnými, pokud jsou zaplněny jejich póry vodou, obzvlášť zamrzou-li.

Matoušek (2010) uvádí jako zásadní pro rychlost infiltrace počáteční půdní vlhkost. Infiltrace do půdy je pomalejší v prostředí nasyceném vodou než v prostředí nenasyceném. S množstvím infiltrované vody tak rychlost infiltrace klesá. Příkladem takového jevu může být událost z prakticky celého území České republiky v létě roku 2015, kdy po dlouho trvajícím suchu přišla velice významná srážková epizoda a na některých částech ČR spadlo za tři dny až 100 mm srážek, a to na relativně velkém území. Takováto událost by patrně znamenala za normálních okolností i velmi bouřlivou hydrologickou odezvu, která však nenastala. Z pozdějších měření vyšlo najevo, že podíl odtoku vůči srážkám se pohyboval mezi dvěma a šesti procenty. Naprostá většina vody se tak vsákla a množství odteklé vody odpovídá zhruba množství zastavených ploch. Touto epizodou byl též vyvrácen předpoklad, že při dlouhotrvajícím suchu dochází ke vzniku nepropustné slupky na povrchu půd. (ČHMÚ 2015)

Jsou-li zaplněny v hornině všechny póry vodou, jedná se o plnou vodní kapacitu. Po odstranění gravitační vody ze vzorku (zůstává ještě kapilární voda a hygroskopická, která zůstává i v zemině vysušené na vzduchu) hovoříme o retenční vodní kapacitě. Obě tyto

veličiny jsou vyjadřovány v procentech a rozdíl mezi nimi je označován jako vodní vydatnost zeminy a značí množství vody, které je možné ze zeminy uvolnit. (Kemel, Kolář 1980)

Matoušek (2010) dále ve své publikaci vyzdvihuje právě rozdíl mezi retenční vodní kapacitou půdy a infiltrační schopností. Příkladem může být povodí Svitávky, kde jsou půdy s takřka stejnou retenční vodní kapacitou, ale zásadně rozdílnou infiltrační schopností. Na odtokových charakteristikách je pak citelně znát vlna z povrchového odtoku na půdách s nízkou infiltrační schopností, ze kterých povrchový odtok nastává dříve, než dojde k jejich nasycení vodou. (Matoušek 2010)

Ne vždy je možné považovat mapová data za zcela spolehlivá. Kupříkladu v povodí Úhlavy a Zelenského potoka v místech, kde je uváděna retenční vodní kapacita 80 mm došlo k nasycení půdy vodou již při srážkovém úhrnu kolem 40 mm. (Matoušek 2010)

3.5 Podzemní a podpovrchová voda

Pomineme-li juvenilní vodu, můžeme tvrdit, že veškerá voda se pod zemský povrch dostane jako součást celkového oběhu vody v přírodě ze zemského povrchu, tedy díky infiltraci. Veškerá voda pod zemským povrchem je označována za podzemní vodu (Netopil 1970). Možnosti, jak se voda dostane z povrchu do podzemní vrstvy jsou dvě. Buďto ve formě vodní páry vyplní póry půdy, zvětraliny, dutiny a pukliny, kde následně kondenzuje, nebo vsakováním srážkové vody a po povrchu odtékající vody.

Pro výskyt vody v hornině je nutné, aby hornina obsahovala dostatečné množství volného prostoru. Tento prostor se v pevných horninách nazývá pukliny, v sedimentárních horninách, zvětralínách a půdách se nazývá průliny. Zóna, ve které jsou průliny zaplněny částečně vodou a částečně vzduchem se nazývá pásmo provzdušnění (zóna aerace). Tato zóna zahrnuje oblast od zemského povrchu dolů. Pod pásmem provzdušnění se nachází zóna nasycení (zóna saturace), která má všechny póry vyplněny vodou. (Netopil 1970)

V pásmu provzdušnění, které je ovlivněné změnami počasí během roku, i například kořeny rostlin se odehrává mnoho procesů, majících za důsledek nestálost této vrstvy. Vedle vodní páry obsažené ve vzduchu vyplňující póry nevyplněné vodou, se stále v zóně provzdušnění vykytuje hygroskopická voda vytvářející se na povrchu částic půdy. Tato voda je silně vázána molekulárními silami a její obsah může být u jemnozrnných hlín 15-18 %, u hrubozrnných i méně než 5 %. Avšak tato voda není dosažitelná pro rostliny. Při zvyšování vlhkosti půdy roste i hygroskopičnost půdy a při dosažení tzv. maximální hygroskopičnosti se na zrnkách vytváří silnější vrstva vody označovaná již za obalovou. Tato voda je již vázána

menšími molekulárními silami, ale gravitační síla ještě není schopna uvést ji do pohybu. Pokud však dále roste vlhkost půdy a tím i množství obalové vody, vzniká z ní voda gravitační, která molekulárními silami není vázaná a již může prosakovat půdou i horninami a doplňovat tak zásoby vody v zóně saturace. (Kemel, Kolář 1980)

Kapilární voda vyplňuje póry v půdách i pukliny v horninách. Zavěšená kapilární voda se nachází v mělké vrstvě, podepřená kapilární voda je spojena hydrologicky se zónou saturace. Z výše popsaného je zjevné, že na podpovrchovém odtoku se kapilární voda, na rozdíl od gravitační vody, nepodílí. (Matoušek 2010)

Procesy spojené s výskytem podzemní vody (například i její pohyb) jsou značně závislé na pórovitosti prostředí. Se zvyšující se pórovitostí se zvyšuje i prostor, který je pro vodu v hornině k dispozici. Pro pohyb vody je stěžejní velikost dutin. Ve malých dutinách je pohyb podmiňován z velké části kapilárními silami, ve velkých dutinách gravitačními silami. (Kemel, Kolář 1980)

Pórovitost je vyjadřována v procentech a například u písku může dosahovat hodnot 25-35 %, u půdy 40-55 %. Vzhledem k tomu, že některé póry jsou pro vodu nedostupné (zaplněné vzduchem, uzavřené obalovou vodou), bývá volná pórovitost nižší než celková.

Pohyb podzemní vody je ovlivněn propustností hornin, která udává schopnost propouštět vodu. Přirozeně je závislá na pórovitosti, a to nejen na množství volných pórů, ale též jejich spojení (Dub 1957). Mezi propustné horniny se řadí štěrk, písek. Jako polopropustné bývají označovány hlinité písky, spraše, rašelina, pískovce, slepence. Nепropustné jsou celistvé horniny, např. žula, porfýr, znělec, čedič.

3.6 Odtok

Jak bylo zmíněno výše, jen zřídka dochází k přímému povrchovému odtoku. Velká část srážek po dopadu na zemský povrch prosakuje do podpovrchového pásma, případně až do zóny podzemní vody a odtokového procesu se účastní jako jejich součást. Krásný et al. (1982) tedy hovoří o třech částech tvořících celkový odtok vody z území:

- 1) **Povrchový odtok** – voda odtéká přímo po povrchu
- 2) **Hypodermický odtok** – odtok ze zóny provzdušnění, bez kontaktu s hladinou nasycení podzemní vody
- 3) **Základní odtok** – odtok ze zóny nasycení

3.6.1 Základní odtok

Základní odtok jako součást celkového odtoku z povodí probíhá ze zóny nasycení. Metoda určení velikosti podzemního odtoku je zpracována například v publikaci Krásný et al. (1982). Jeho určení je otázkou především nepřímých metod a vychází z rozdělení odtoku na podzemní (základní) a přímý odtok (zahrnující povrchový a hypodermický). Základní odtok bývá v odtokových poměrech uplatňován především v obdobích nižších průtoků, kdy působí jako vyrovnávací faktor, neboť v těchto obdobích bývá složka přímého odtoku o poznání nižší. Krásný et al. (1982) využívá k určení velikosti základního odtoku mimo jiné metody genetického rozčlenění hydrogramu a metodu minimálních měsíčních průtoků, která byla v jeho publikaci určena jako přednostní. Trávníčková a Kožín (2014) používali ke stanovení základního odtoku na malých vodních tocích v České republice metodu klouzavých minimálních průtoků, která využívá řady předešlých 30 dnů, z nichž počítá klouzavá minima. Následně proběhne separace základního odtoku, pro nějž se vypočte čára překročení a průměr.

Vliv základního odtoku však nehraje roli jen v období s nízkými průtoky. Rozbor geochemických charakteristik vody ukázal, že často po srážkových epizodách vodotečí odtéká voda nikoliv z aktuální srážkové epizody, ale „stará“ voda uložená v zóně saturace, případně i v zóně aerace. Překvapivé je, že i v některých případech rychlé odtokové odezvy na srážky bylo zjevné, že odtok tvoří „stará“ voda, která byla v pórech nahrazena novou srážkovou vodou. Z toho je však zřejmé, že musí docházet k podzemnímu odtoku, který však reaguje velmi rychle, ačkoliv běžně jsou rychlosti proudění vody pod povrchem považovány za nižší než povrchové. (Beven 2012) Ve skutečnosti je novou srážkovou vodou vyvolána v zóně nasycení vlna (jakožto šíření poruchy vyvolané přírůstkem vody vlivem deště), díky jejíž rychlosti může do vodoteče odtéct rychleji než aktuální srážková voda.

Podobný efekt je možné sledovat i v zóně provzdušnění, ale zde je proces komplikovanější vlivem větší mobility vody. (Beven 2012)

3.6.2 Přímý odtok

Hypodermický odtok společně s povrchovým odtokem tvoří přímý odtok. Rozčlenění přímého odtoku na hypodermický a povrchový je obtížným úkolem především z toho důvodu, že podíl jednotlivých složek je velmi proměnlivý. Činitelů působících na formování přímého odtoku je totiž mnoho a jejich působení je komplikované. (Kříž 1983)

Určení povrchového odtoku však nabývá významu například v případě zemědělského výzkumu, neboť povrchový odtok významně přispívá k erozi půdy a rychlosti odtoku vody z území. Jednou z možných nepřímých metod k určení složek přímého odtoku je metoda čísel odtokových křivek (CN metoda). Tato metoda vznikla v USA za účelem výzkumu ochrany půdy a její použití je omezeno na zemědělská území do rozlohy 10 km². Čím vyšší hodnoty CN vycházejí, tím pravděpodobnější je výskyt povrchového odtoku. Vstupem do tohoto modelu je dešťová srážka, u které je předpokládáno rovnoměrné rozložení na plochu povodí. Hodnoty výšky odtoku jsou následně závislé na hydrologických vlastnostech půd, vegetačním pokryvu, velikosti nepropustných ploch, intercepci a povrchové retenci. Do metody vstupují úvodní ztráty intercepcí, infiltrací a povrchovou retencí, které byly experimentálně vyčísleny jako 20 % celkové potenciální retence. Janeček (2002) uvádí následující vzorec pro výpočet přímého odtoku:

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

kde:

- H_o je přímý odtok (mm)
- H_s je úhrn návrhového deště (mm)
- A je potenciální retence (mm) vyjádřená pomocí čísel odtokových křivek (CN): $A = 25,4 (1000/CN - 10)$

Hodnoty čísel CN jsou určeny podle hydrologických vlastností půd, vlhkosti půdy (dle indexu předchozích srážek) a využití půdy. (Janeček 2002)

Častou metodou používanou k určení přímého odtoku na základě srážek je metoda SCS – CN, využívající charakteristiky půdy a využití krajiny. Tato metoda je však vhodná především pro malá (cca do 50 km²) a homogenní povodí. (Karabová 2014)

3.6.2.1 Povrchový odtok

Povrchový odtok probíhá nejprve jako plošný odtok, který se následně při větším množství vody soustředí v malých rýhách až končí v otevřeném korytě. Mezi činitele ovlivňující vznik a charakter povrchového odtoku řadí Čermák (1966) sklon povrchu, drsnost povrchu, vegetační kryt, propustnost půdy, teplotu vzduchu.

Čím vyšší je sklon území, tím větší bude i odtok. Vyšší drsnost povrchu, tedy narušení hladkého povrchu má za následek větší množství prostorů, které voda může vyplnit a teprve po jejich zaplnění dochází k plošnému povrchovému odtoku. (Čermák 1966)

K povrchovému odtoku, jak již bylo naznačeno dříve a bude více rozebráno dále, dochází ve dvou případech. Jednak se jedná o nasycení půd vodou, kdy již nemají žádnou volnou vodní kapacitu pro pohlcení další vody. Druhou možností je překročení infiltračních schopností půdy, kdy půda nemusí být nasycena vodou, a přesto dochází k povrchovému odtoku. (Matoušek 2010)

Z mnoha pozorování (například Matoušek 2010) je zřejmé, že povrchový odtok se projevuje v tocích především velmi rychlou odtokovou odezvou.

Přesná hydrologická odezva na významnější srážky je předmětem spekulací a existuje hned několik modelů, které se snaží vysvětlit, co přesně se na svazích v povodí děje v souvislosti s hypodermickým a povrchovým odtokem. Prvním takovým modelem je Hortonovský model uvedený americkým hydrologem Hortonem ve třicátých letech minulého století. Principem tohoto modelu je v průběhu srážkové epizody překročení infiltračních schopností půdy. V takovém případě dochází k tzv. *infiltration excess overland flow* čili povrchovému odtoku na celé ploše území. Je třeba podotknout, že přesažení infiltrační schopnosti půdy nemusí znamenat nasycení celého půdního profilu vodou, ale jen momentální neschopnost pojmout další vodu.

Pro Hortona je takový povrchový odtok určující pro celkový odtok z území. Jako stěžejní faktory do tohoto modelu vstupují infiltrační schopnosti půdy, avšak Horton považoval za mnohem důležitější vlastnosti povrchu a do jeho modelu vstupují významně sezónní proměny jako je vliv pěstování, částice blokující makropóry a nepravidelnosti v povrchu. (Beven 2012)

Hortonovský model však nezohledňuje roli podpovrchového odtoku, a tak je jeho použití značně omezené a uplatnění nachází především v aridních oblastech bez vegetace, případně oblasti silně ovlivněné člověkem. Pro ostatní území byly vytvořeny jiné modely.

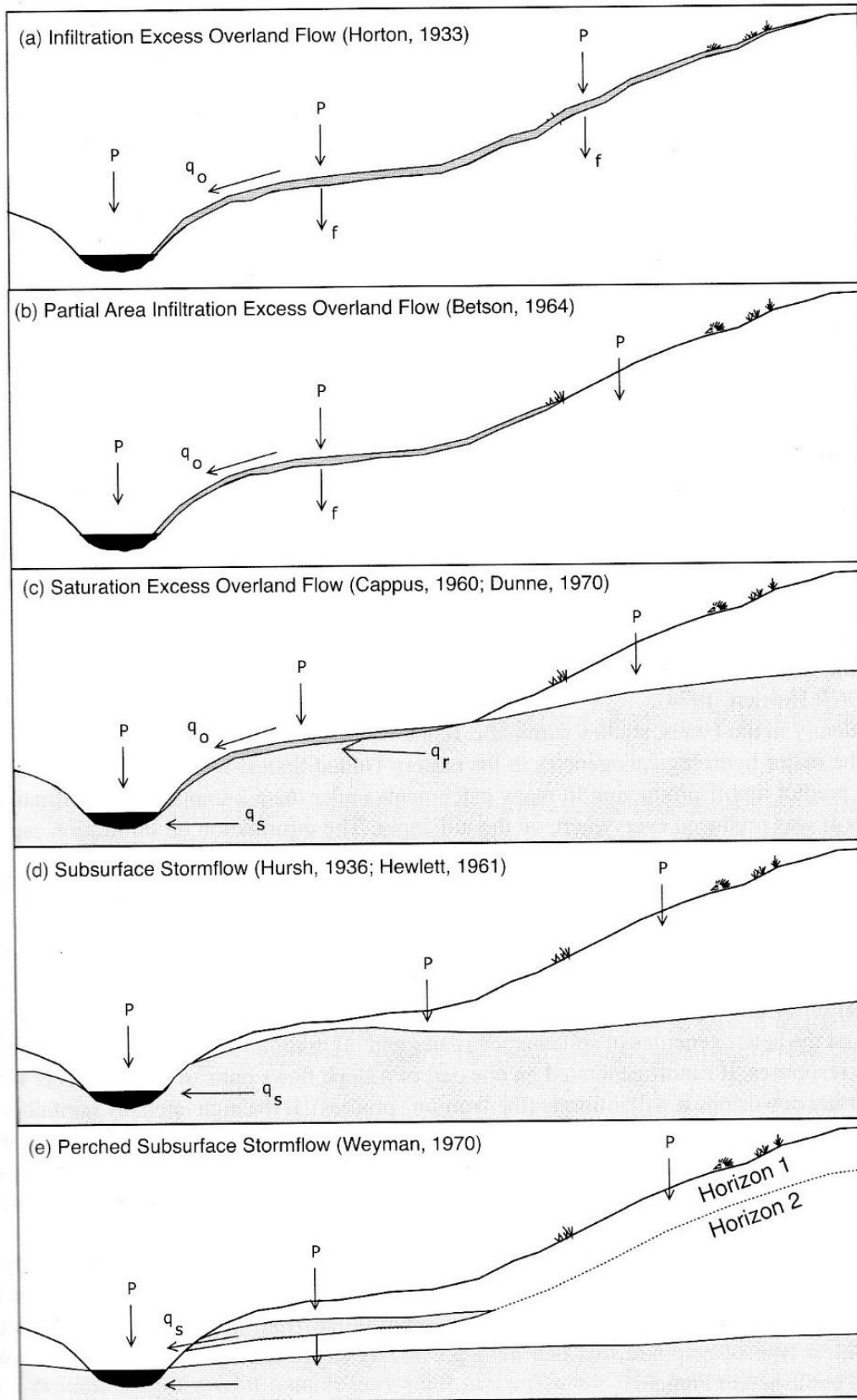
Ve stejné době jako Horton pracoval také v USA Hursh v oblasti půd s velkou infiltrační schopností a byl tak doveden k přesvědčení, že odtoková odezva v tocích musí být silně ovlivněna podpovrchovým odtokem. Na jeho poznatky v šedesátých letech navázal *Hewlett*. Tento model s uvažováním velkého vlivu hypodermického odtoku je uplatňován především v oblastech s vlhkým klimatem a výraznější vegetací. Pro naše území je typický například pro lesní prostředí.

Partial area model je založen na myšlence, že infiltrační schopnosti půdy jsou na území, ze kterého probíhá odtok různé a v údolí, kde je vlhkost půdy nejvyšší, dochází k povrchovému odtoku nejdříve. Jako zobecnění tohoto modelu se nyní uvažuje, že i když vlivem překročení možností infiltrace půdy voda v některých místech území odtéká po povrchu, jakmile dosáhne místa s vyšší infiltrační kapacitou, vsákne se. Při krátkých epizodách je tak možné, že se po povrchu odtékající voda vsákne dříve, než dosáhne vodoteče. (Beven 2012)

Další možností vzniku povrchového odtoku je model, pracující s nasycením půdy zespoda (*saturation excess*). Takovýto povrchový odtok může nastat i na půdách s velkou infiltrační kapacitou, kdy však je půda nasycena vodou zespoda.

Obecně lze říct, že v jednom povodí se mohou projevat všechny výše zmíněné modely ať už jde o rozdíly v čase nebo místě vlivem rozdílných předchozích podmínek, vlastností půd nebo intenzitou deště. (Beven 2012)

Obr. 3.4 – Modely odtoku



Zdroj: Beven (2012)

3.7 Antropogenní úpravy a jejich vliv na odtok

Přirozeně dominantní vliv na charakter odtoku má zdroj vodnosti toku na daném území čili déšť, sníh, zásoby podzemní vody a ledovce. V našich podmínkách se uplatňují především dešťové a sněhové srážky (Kemel, Kolář 1980). Z hlediska dlouhodobých změn ve srážkoodtokovém trendu se uplatňuje variabilita ve vstupech, tedy srážkách. Nicméně odtokový proces je též významně ovlivněn lidskou činností. Jedná se například o úpravu říční sítě, změnu charakteru koryt, zemědělské meliorace (především odvodnění), změnu krajinného pokryvu.

3.7.1 Historie úprav vodních toků

Úpravy vodních toků probíhají v našem prostředí již několik staletí a jejich cíle jsou různorodé, a stejně tak jejich vliv na odtokové procesy bývá proměnlivý. Mezi hlavní cíle úprav toků patří ochrana před povodněmi, efektivnější využití území pro zemědělství, urbanizaci či industrializaci (Langhammer 2007). První historické úpravy měly za cíl pravděpodobně využití vodní síly v mlýnech a hamrech, pilách, k plavení dřeva či k napájení rybníků. Takové úpravy již prokazatelně probíhaly za dob Karla IV. (Němec ed. 2006). Ačkoliv tyto zásahy neměly zdaleka tak velký vliv jako pozdější úpravy, v mnoha místech došlo ke snížení geodiverzity odstraňováním nejhorších překážek v proudění (Just 2005).

První velké úpravy probíhaly na konci 19. století v souvislosti s budováním protipovodňové ochrany urbanizovaného území i zemědělské půdy. Tyto zásahy reagovaly z velké části na katastrofální povodně z 90. let 19. století. Principem těchto opatření bylo zkapacitnění koryt pro rychlé a bezpečné provedení vody územím (Langhammer 2007). Kromě úprav větších toků docházelo i k úpravám drobných vodních toků, které byly přeměňovány na odvodňovací strouhy, upravené toky a kanály. Tyto úpravy pokračovaly i v následujícím století (Just 2005).

Přestože meliorační zákon spatřil světlo světa již v roce 1884, největší úpravy vodních toků probíhaly právě ve 20. století. V první polovině 20. století probíhaly změny především v souvislosti s využíváním zemědělské půdy, šlo o napřimování menších toků a stavbu protipovodňových hrází u větších toků v údolní nivě. V 50. letech v souvislosti se socialistickým hospodářstvím došlo k významnému odvodňování zemědělsky méně vhodných pozemků pro účely pěstování plodin. Stejně tak docházelo i ke změnám ve vodních tocích z důvodu důlní činnosti. Kromě ukázkového příkladu Bíliny (Langhammer 2007) rozhodně

I lze zmínit i Klabavu a změny v jejím toku v souvislosti s činností lomu v Ejpovicích. V 50. letech došlo pomocí hydromeliorací k odvodnění více než dvou třetin rozlohy mokřadů. Tento fakt značí, že tím kromě samotných mokřadů též zásadně ubylo míst akumulace vody. (Němec 2006)

V 90. letech začalo docházet k širší diskusi o vhodnosti úprav a v mnohých případech dochází i k revitalizaci dříve silně ovlivněných toků. V dnešní době je na území ČR upraveno 28,4 % vodních toků (Němec ed. 2006).

3.7.2 Vliv ovlivněných vodních toků na odtok

Výše zmíněné úpravy se projevují v několika aspektech. Zaprvé se jedná o napřímení toku. Při takovýchto úpravách dochází k zániku přirozených meandrů a větších zákrut, případně i bočních říčních ramen. Cílem je vymezit řece jen malý úsek z říční nivy tak, aby zbytek mohl být využíván člověkem. Například na Labi v úseku Jaroměř – Mělník došlo ke zkrácení toku o 12 % původní délky, řeka Morava na území ČR byla zkrácena o 20 % původní délky (Němec ed. 2006). Současně se zkrácením vodních toků dochází ke zrychlení proudění vody v korytě a též ke zkrácení doby potřebné pro vodu k postupu do níže položených míst. Tento fakt je zmiňován často v souvislosti s povodněmi a kratším časem na ochranu před jejich škodlivým vlivem (Langhammer 2007).

Dále při úpravách toků dochází ke změně koryta toku. Jedná se o časté změny dna a břehů toku snižující hydraulické tření a tím zvyšující rychlost proudění vody. Materiály využívanými ke zpevnování koryta mohou být například kameny, štěrk, dřevěná kulatina i beton. Z hydrologického i ekologického hlediska je nejvíce negativním zásahem zpevnění pomocí betonu či vyzdívkou v extrémním případě zatrubnění toku (Langhammer 2007). Hlavním účelem těchto úprav často bývá rychlé provedení vody územím v korytě, které je hluboké, přímé, opevněné a hladké. Všechny tyto aspekty kromě rychlého odvedení vody dále zamezují přirozené ekologické funkci vodního koryta (Just 2010).

Just (2005) uvádí z hydrologických důsledků úprav toků zejména zvýraznění extrémů. Zhoršení průběhu povodní je způsobeno zejména rychlejším a přímějším odtokem vody z krajiny i korytem. V obdobích sucha zase negativně ovlivňuje odtok snížení zásob podzemní vody v říčních nivách (kvůli odvodnění půd a zahloubení koryt) a zhoršení podmínek doplňování mělké podzemní vody v nivách (opět v důsledku zahloubení koryt). Jako další důsledky jsou zmiňovány především ekologické aspekty úpravy toků, kdy vodní tok není schopen poskytovat přirozené prostředí pro vodní faunu a floru. (Just 2005)

3.7.3 Meliorace

Ačkoliv primárním cílem meliorací je zvýšení zemědělské produkce, jejich důsledkem je i vliv na odtokové poměry v krajině. Součástí meliorací bylo především za minulého režimu odvodnění zamokřených půd. Tyto zásahy mají své pozitivní i negativní hydrologické důsledky. Mezi pozitivní patří uvolnění retenčního prostoru pórů pro vzduch (namísto vody), takže při vysokých srážkách může voda tyto póry zaplnit, je tedy zvýšena infiltrace a tím zpomalen odtok (Novák 2004). Mezi negativní však patří snížení retenční schopnosti půdy, díky drenáži je velká část vody z území odvedena. Dále dochází k urychlenému odtoku vody potrubními odpady nebo otevřenými příkopy a odvodnění snižuje infiltraci do geologického podloží (Novák 2004). Podzemní drenáží je v Česku postiženo 25,5 % krajiny (Kliment, Matoušková 2009).

Z hlediska kvantifikace vlivů meliorace na odtok uvádí Švihla (1992 in: Kulhavý, Fučík, Tlapáková 2013) tyto důsledky:

- 90-ti až 365-ti denní průtoky jsou po odvodnění vyšší než před ním
- 20-ti až 90-ti denní průtoky jsou po odvodnění nižší než před ním
- Vyšší než dvacetidenní průtoky není možné srovnávat pro komplikovanost jejich hydrologických příčin

Kulhavý, Fučík, Tlapáková (2013) dále uvádí, že v důsledku odvodňovacích prací jsou často zasaženy i pozemky, které samy o sobě nebyly odvodněny, ale je z nich voda drenážemi stahována. Podíl drenáží je patrný především při nižších stavech, kdy jejich podíl na celkovém odtoku z území může být velmi význačný. Při obdobích sucha odvodnění zvýrazňuje jeho negativní projevy. Zato při extrémních povodňových stavech je podíl drenážních vod na celkovém odtoku velmi nízký jednak z důvodu malé průtočnosti drenážních potrubí a také vlivem toho, že při odvodnění vznikl prostor v půdních pórech před srážkou. V krajině negativně působí otevřené drenážní systémy, jejichž vliv je podobný jako vliv jiných umělých vodotečí. Odvodnění pozitivně působí omezením povrchového odtoku, který způsobuje erozi, avšak v případě poruchy v drenáži často dochází k lokálnímu zamokření a tvorbě povrchového odtoku (Kulhavý, Fučík, Tlapáková 2013).

3.7.4 Revitalizace

V poslední době je kladen velký důraz na revitalizace, tedy přírodě blízké úpravy ovlivněných vodních toků. Hlavním cílem revitalizací je retence vody v krajině a snížení povodňových škod způsobených nejen velkou vodou, ale i erozí způsobenou vodním tokem –

k takovým škodám dochází často v místech střídání upravených a neupravených míst na toku. V místech s nevhodnými úpravami totiž tok zvýší rychlost svého proudění a níže působí větší škody (Langhammer 2007). Konkrétní realizace revitalizací spočívá mnohdy ve snížení průtočného profilu toku pomocí vracení původního charakteru korytu, vyzdvihování zahloubených koryt, tvorbě zákrut v napřímeném toku a ponechání údolní nivy rozlivu řeky (Matoušková 2007). Revitalizace není možné realizovat v plné míře v celé délce toku, například v intravilánech je nemožné nechat řece přirozený rozliv, který je důsledkem vyzdvihování zahloubeného toku, avšak revitalizace výše na toku mohou poskytnout městům více času na tvorbu technických opatření, případně i snížit extremitu povodně.

Z hydrologických důsledků revitalizačních prací v korytě vodního toku jsou signifikantní podle Justa (2005):

1. Zvětšení omočeného, aktivního povrchu koryta – tento aspekt je důležitý především z ekologického hlediska, dochází díky němu k lepšímu čištění vody a biologickému oživení
2. Posílení stability koryta – díky nižší kapacitě je revitalizované koryto vystavováno nižším rychlostem proudění vody a není nutné ho tolik opevňovat.
3. Prodloužení doby proběhu korytem – výsledkem prodloužení koryta, zmenšením jeho sklonu a zvýšením jeho drsnosti dochází k podstatnému snížení doby průtoku v revitalizovaném úseku.
4. Zvětšení zásob vody v korytě a v nivě – nivní pozemky nejsou odvodňovány, dochází ke zvýšení hladin podzemní vody
5. Zmírnění následků povodní – tento efekt se uplatňuje zejména u povodní s menší dobou opakování, u extrémních povodní vyplní většinou voda celou údolní nivu a vliv revitalizace je minimální.

3.7.5 Vodní nádrže

Vodní nádrže podstatně ovlivňují nejen charakter údolí, ale přirozeně i odtokové charakteristiky toku, na kterém jsou vybudovány. Role, které vodní nádrže hrají jsou různé. Kender (2004) uvádí následující funkce přehrad v České republice: hydroenergetická, plavební, rekreační, vodárenská a protipovodňová. Většina přehrad však kombinuje různé způsoby využití, ačkoliv kombinování různých funkcí je náročným údělem, neboť jejich požadavky jsou často protichůdné (Němec ed. 2006). Především protipovodňová funkce je v rozporu s ostatními, neboť jejím požadavkem je co největší prostor pro zachycení případné povodňové vlny, zatímco ostatní účely většinou požadují přehradu naplněnou vodou.

Přehrady dále způsobují zmenšení rozdílu teploty vody v toku, zvýšení vlhkosti v okolí díla, zlepšení kvality vod pod přehradou, změnu hladiny podzemní vody pod i nad vodním dílem, přerušeni pohybu splavenin a přerušeni pohybu vodních živočichů (Němec ed. 2006). Během povodňových situací přehrady nejprve snižují jejich škodlivé účinky, avšak po naplnění své retenční kapacity naopak přispívají ke zvýšení extremity vlivem absence vsaku a rychlejšího postupu vlny (Kender 2004).

Velký důraz na protipovodňovou ochranu je přisuzován poldrům suchým a polosuchým. Jedná se o nádrže, kde maximum kapacity je vyčleněno na zachycení povodňové vlny. Většinu času jsou tedy poldry prázdné, případně zadržují jen minimum vody a plní se jen při povodních. Kromě funkce protipovodňové mohou mít i ekologickou, jelikož jejich prostor může být využit pro tůň, mokřady a vlhkomilnou vegetaci zvyšující ekologickou stabilitu krajiny (Kender 2004).

3.7.6 Krajinný pokryv

Vliv na odtok vody z území má z velké části i využití půdy. Vegetace se podílí na intercepci, evapotranspiraci a stejně tak ovlivňuje i vlastnosti půd. Z hlediska využití půd dochází nejen v české krajině k velkým změnám a mnohé výzkumy se zaměřují právě na vliv využití půdy na odtokové charakteristiky v dlouhodobém hledisku i během extrémních událostí.

Hlavčová et al. (2006) zkoumala pomocí matematických modelů změnu odtokových poměrů při simulaci různých změn krajinného pokryvu v povodí řeky Ipel' na Slovensku. V povodí nejvíce plochy zaujímá orná půda následovaná listnatými lesy. Při scénáři, který simuloval přírodní stav, tedy prakticky celé povodí zalesněné vyšlo najevo, že celkový odtok by se snížil o 23 %, přičemž největší snížení v tomto scénáři zaznamenal povrchový odtok – o přibližně 60 %. Druhý scénář, který stojí za zmínku je ten, při kterém bylo simulováno nahrazení aktuálního lesa travním porostem. V tomto případě naopak došlo k nárůstu celkového odtoku o 10 %, přičemž významnou měrou se na navýšení podílel podpovrchový (12 %) i základní (10 %) odtok. Povrchový byl navýšen v tomto případě o 7 %. Zjevně tedy oproti lesu dochází z travních porostů k vyššímu odtoku. Scénář simulující přeměnu orné půdy na travní porosty znamenal snížení celkového odtoku pouze o 0,5 %, avšak vcelku význačný pokles povrchového odtoku o téměř 9 %. (Hlavčová et al. 2006)

Podobný výzkum provedl Tachecí et al. (2014) u povodí na Českomoravské vrchovině. Na povodí, které je pokryto prakticky jen ornou půdou a je postihnuto drenáží

simulovali zatravnění celého povodí trvalými travinami. Jejich výsledkem bylo snížení celkové roční odtokové výšky o 17 %.

3.7.6.1 Vliv lesa

Z mnohých výzkumů vychází najevo, že právě lesy mají oproti ostatním krajinám velkou schopnost ovlivňovat odtokové charakteristiky. Jejich vliv se uplatňuje u velké části celého srážkoodtokového procesu.

V případě srážek je vliv lesa patrný tím, že od výšky přibližně 600 m n. m. se na stromech vytváří usazené srážky. Jejich podíl se v delším úseku může pohybovat i kolem hodnot 15 % navíc v dospělém lese oproti stavu bezlesí. Jejich vliv je též patrný v zimě, kdy se na stromech tvoří námraza (Kantor et al. 2003).

Velice podstatnou roli hraje les u intercepce. Z důvodu usazených srážek opět hraje podle Kantora et al. (2003) velkou roli hranice 600 m n. m., neboť nad ní bývají srážky propadávající korunami stromů dosyceny usazenými srážkami a na zemský povrch jich tak dopadá větší množství. Nicméně bez působení usazených srážek se dle velké řady výzkumů prokazuje, že smrkový les je schopen z dlouhodobého hlediska zadržet (a případně nechat zpět vypařit) 25–41 % srážek. U bukového porostu jsou tyto hodnoty nižší a pohybují se v hodnotách 8–22 % intercepčních ztrát. (Kantor et al. 2003)

V infiltračních charakteristikách lesní půdy významně předčí zemědělské půdy. Díky většímu obsahu gravitačních pórů dochází k velmi snadnému průsaku spadlé vody do půdy. Tyto gravitační póry též tvoří preferenční cesty, kterými se následně voda v půdě pohybuje. K tomuto pohybu dochází v zóně provzdušnění a jak již bylo zmíněno dříve, jedná se o hypodermický odtok. A právě hypodermický odtok je u lesních půd stěžejní složkou odtoku, jelikož povrchový odtok se u lesních půd vyskytuje často jen při extrémních srážkových událostech (Kantor et al. 2003). Kantor a Šach (2003) uvádí schopnost lesních půd zadržet běžně 40–60 mm srážek, maximálně až 100 mm.

Vícha et al. (2014) uvádí u lesních povodí v Moravskoslezských Beskydech u přivalových dešťů se srážkovými úhrny kolem 70 mm tvorbu povrchového odtoku i u lesních půd soustředěvaného do povrchových rýh. Vícha (2014) dále uvádí, že retenční možnosti lesa jsou závislé na retenčních vlastnostech lesních půd, která se pohybuje v mezích 40–60 mm, v některých případech až 80–125 mm. Tyto hodnoty jsou tedy 5 - 9krát vyšší než u zemědělských půd, ale při extrémních úhrnech dochází i u lesních půd k odtoku vody celým půdním profilem i povrchovým odtokem. U nižších úhrnů však lesní půdy převádí povrchový odtok na podpovrchový.

V případě evapotranspirace v lese dochází k výparu z povrchu půdy a transpiraci dřevin a přízemní vegetace. Voda zachycená v hrabance se vypařuje v těsné závislosti na meteorologických podmínkách, především slunečním zářením, teplotou a rychlostí větru. Všechny tyto faktory mají v lesních podmínkách méně příznivé parametry pro vypařování v porovnání s podmínkami mimo lesní porost. Za 6 vegetačních měsíců tvořil výpar z lesní půdy při výzkumu v Orlických horách 59 mm ve smrkovém porostu a 72 mm v bukovém porostu (Kantor et al. 2003). Hodnoty výparu z nízké vegetační pokrývky v dospělém lese společně s výparem z půdy tvoří v našich podmínkách 40–90 mm za rok (Kantor, Šach 2003). Hodnoty transpirace dřevin jsou veličinou, která se těžko určuje, a navíc je v čase velmi proměnlivá. V letech s podprůměrnými srážkami klesá transpirace o 10-35 %. Kantor et al. (2003) dále uvádí přibližnou hodnotu transpirace smrkových i bukových porostů v našich podmínkách v okolí hodnot 200-250 mm za rok.

Z celkového pohledu dochází v lese při výrazných srážkách k velké míře retence a akumulace vody. Díky tomu dochází ke zpomalení, prodloužení a zmenšení odtoku a také omezení eroze. Z hlediska modelu uplatňovaného v lesních povodích nejlépe odpovídá výše zmíněný *partial area model*, jinak též označovaný jako *partial source areas*, čili postupné rozšiřování plochy, ze které dochází k odtoku vlivem zaplnění její retenční kapacity. (Kantor et al. 2003)

Kříž (2014) sledoval odtok v letním období (květen–říjen) v oblasti Moravskoslezských Beskyd na příkladě dvou malých povodí, z nichž jedno je zalesněné a druhé nezalesněné. Rozdíly ve srážkách u těchto dvou povodí byly minimální, avšak rozdíl v odtoku byl význačný. V průměru oteklo ze zalesněného povodí o 70 % méně vody než z povodí nezalesněného, dle autora především vlivem evapotranspirace. Z výsledků je však patrné, že největší rozdíly byly v období s nižšími srážkami, a tedy i průtoky. Dále zalesněné povodí vykazovalo častěji velmi nízký, až žádný odtok.

3.8 Povodně

Z hlediska srážkoodtokového procesu znamenají povodně extrémní situaci. Ne všechny povodně na našem území musí být způsobeny srážkami, nicméně většina povodní na našem území má svůj původ právě ve srážkách.

Co to tedy ty povodně jsou? *Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)* udává tuto definici: „Povodněmi se rozumí přechodné výrazné zvýšení hladiny vodních toků nebo jiných povrchových vod, při kterém voda již zaplavuje území

mimo koryto vodního toku a může způsobit škody. Povodní je i stav, kdy voda může způsobit škody tím, že z určitého území nemůže dočasně přirozeným způsobem odtékat nebo její odtok je nedostatečný, případně dochází k zaplavení území při soustředěném odtoku srážkových vod. Povodeň může být způsobena přírodními jevy, zejména táním, dešťovými srážkami nebo chodem ledů (přirozená povodeň), nebo jinými vlivy, zejména poruchou vodního díla, která může vést až k jeho havárii (protržení) nebo nouzovým řešením kritické situace na vodním díle (zvláštní povodeň).“ Již tato definice odkazuje na interpretaci povodní jakožto jevu ohrožujícího lidský majetek. Jinými slovy kromě vazby na přirozené vylití vody z koryta je silně patrná i vazba na možné škody. To je fakt mnohdy diskutovaný i u debat, jestli v posledních letech přibývá povodňových událostí, nebo se jen zvyšuje hodnota majetku ohroženého povodněmi.

Setkat se na našem území můžeme s více typy povodní. Nejčastěji jsou typy děleny podle příčiny vzniku povodně. Je přirozené, že v různých ročních obdobích lze očekávat jiné typy povodní. Zimní typ povodní bývá způsoben náhlými vpády teplého vzduchu a s nimi spojeným táním sněhové pokrývky, mnohdy ještě přizhivené kapalnými srážkami a silným větrem urychlujícím tání sněhu. Dalším aspektem zvyšujícím možnou závažnost povodně je hloubka promrznutí půdy. Je-li totiž promrzlá, zabraňuje vsaku vody a v kombinaci s nízkými teplotami a nemožností výrazného výparu zbývá vodě jako možnost jen odtok hydrologickou sítí. Závažnost takovéto povodně mohou zvýšit ledové zácpy, které se vytvoří v místech se sníženým průtočným profilem a voda nad takovou zácpou rychle stoupá a hrozí způsobit protržení zácpy a vyvolání jednorázové výrazné povodňové vlny. (Němec ed. 2014)

Obdobný průběh mívají jarní povodně způsobené táním sněhu. Letní povodně můžeme obecně rozdělit na dva typy. První z nich bývá způsoben přívalovými srážkami z konvektivní oblačnosti, mnohdy doprovázen dalšími jevy jako je silný vítr, bouřky nebo kroupy. Tento typ srážek většinou nebývá prostorově rozsáhlý, ale v postižených oblastech napáchá rozsáhlé škody, jelikož úhrny bývají často extrémní. Stejně tak extrémní bývá i hydrologická odezva. Potíž bývá s předpovědí takovýchto událostí, jelikož je prakticky nemožné poznat přesné místo, kde přívalové srážky udeří. (Brázdil et al. 2005)

Druhým typem letních povodní bývají povodně vzniklé z regionálních srážek. Jedná se o plošně rozsáhlé tlakové níže přinášející do střední Evropy silné a dlouhotrvající srážky. Tyto srážky zpravidla postihnou rozsáhlé území a způsobí rozsáhlé záplavy. Typickým příkladem takových povodní je povodeň z roku 2002 v Čechách.

I v případě letních povodní je třeba počítat se vstupními podmínkami. Tou nejdůležitější bývá předchozí nasycenost povodí vodou. V případě, že se voda nemá kam vsakovat, dochází okamžitě k povrchovému odtoku vody, což již bylo zmíněno v kapitole 3.6.

Zvláštním případem povodní jsou povodně vzniklé z jiných důvodů než přirozených vlivů. Tímto termínem označujeme povodně vzniklé nejčastěji poruchou až provalením vodního díla. Z území ČR jsou takové případy známy, například z roku 1916 na Desné v Jizerských horách. Němec ed. (2014) uvádí dále možnost vzniku povodně při úmyslném rychlém odpouštění vody z vodního díla kvůli řešení krizové situace, podobně hovoří i zákon 254/2001 Sb. zmíněný výše.

4. FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA POVODÍ KLABAVY

4.1 Geologická charakteristika

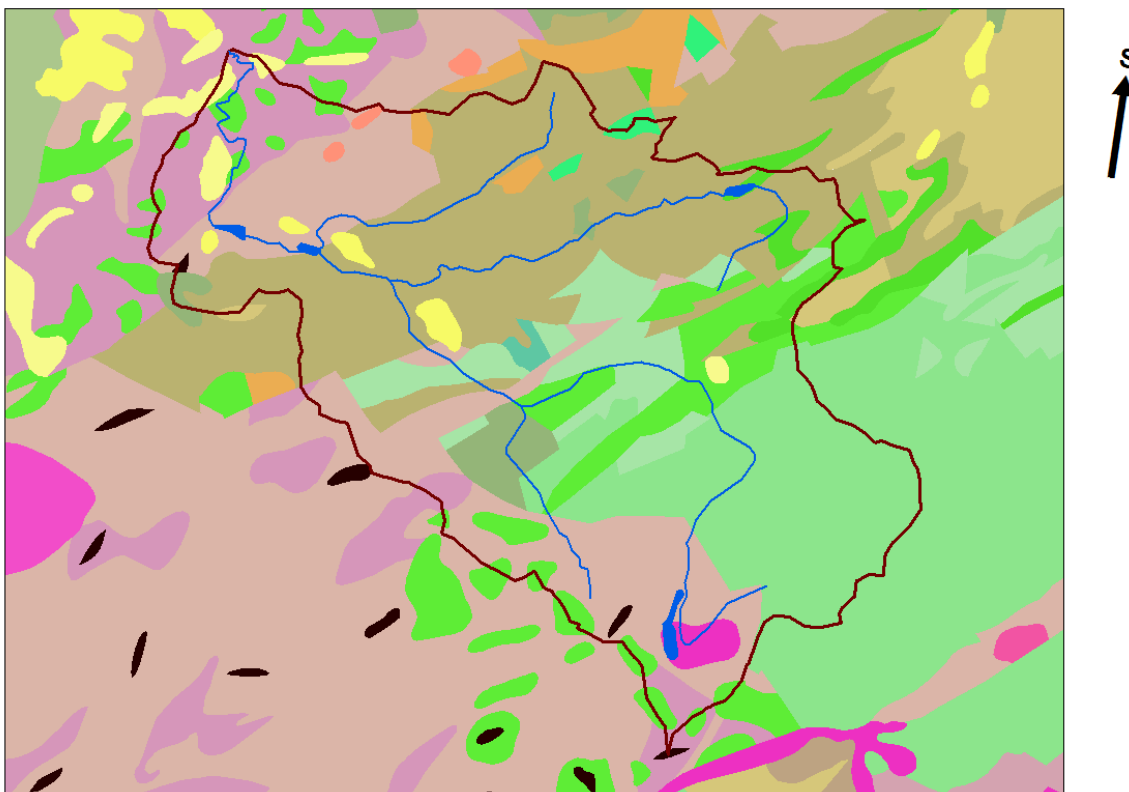
Z hlediska geologického členění náleží povodí Klabavy k oblasti bohemikum, přesněji Barrandienská oblast kambrického stáří (v oblasti Brd), ordovického stáří (v okolí Rokycan) a proterozoického stáří (dolní tok). Hlavním sedimentačním prostorem Barrandienu byla během kambria příbramsko-jinecká oblast, a to především v oblasti Brd z kraje Rokycan směrem na Příbram a Dobříš. Sedimentace probíhala v příbramsko-jinecké pánvi v depresi mezi pásmy kadomského horstva a byla tvořena materiálem přinášeným vodními toky z pevniny a vytvořila souvrství v mocnosti až několika tisíc metrů (díky absenci vegetace a stálému poklesu pánve probíhala sedimentace rychle). V Brdech byla v kambrických souvrstvích nalezena nejstarší česká fauna (Chlupáč 2011). Kambrické výchozy lze kromě Brd nalézt v lokalitě Medový Újezd. (ČGS 2009)

Období ordovika se vyznačuje další mořskou sedimentací, hojně mezi Prahou a Plzní (v některých částech až do středního devonu) a zastupuje v povodí Klabavy klabavské souvrství tvořené až 300 m mocnými šedozeleými břidlicemi s příměsemi. S touto vrstvou je možné se snadno setkat díky lomu Ejpovice, kde došlo díky těžbě železné rudy k odkrytí skalnatého pobřeží ordovického moře (Chlupáč 2011). Kromě tvarů mořského pobřeží je možné v této oblasti známé jako Ejpovické útesy setkat s pozůstatky organismů paleozoika (ČGS 2009). Ložiska železné rudy byla u Ejpovic až 20 m mocná a vznikla v souvislosti s vulkanickou činností komárovského komplexu. Celý komplex těchto rudních ložisek bývá označován jako klabavsko-osecký obzor (Chlupáč 2011). S odkrytými ordovickými vrstvami se můžeme dále setkat v lokalitě Pod starým hradem (katastr Ejpovic). Jedná se o šedozelelé, jílovité břidlice klabavského souvrství. V lokalitě se nachází železné rudy, které byly i těženy, dále tu lze narazit na tufy s množstvím úlomků schránek ramenonožce. Další lokalitou je Vosek s křemennými konkracemi většinou pocházejícími z šáreckého souvrství. Další konkrace se nachází v lokalitě U hřbitova na katastru Rokycan. S odkrytými šedozeleými břidlicemi se můžeme setkat v lokalitě Kašparův vrch v katastru Volduch, na Rokycanské stráni (šárecké i klabavské souvrství s mnoha zkamenělinami), v lokalitě Zavírka (přírozený výchoz jílovitých břidlic klabavského souvrství) v katastru Svojkovic, u Štěpánského rybníka na

Holoubkovském potoce (klabavské souvrství). Díky těžbě jsou též odhaleny křemence ordovického stáří v lokalitě Rumpál v povodí Voldušského potoka. (ČGS 2009)

Během terciéru docházelo na jih od našeho území k výrazné alpské orogenezi, která byla na našem území reprezentována obdobím saxonského neklidu za vzniku mnoha zlomů a příkopových propadlin. Miocén byl obdobím, kdy též docházelo k ustálení říční sítě přibližně v dnešní podobě. Původní tok odvodňující Střední Čechy totiž proudil opačným směrem, než dnes teče Berounka a vléval se do jezer v oblasti podkrušnohoří. (Chlupáč 2011)

Obr. 4.1 - Mapa geologického podloží



Zdroj dat: Cenia, zpracováno v ArcGIS

Pozn.: Legenda k mapě se nachází v přílohách z důvodu své rozsáhlosti.

4.2 Geomorfologická charakteristika

Sledované území povodí Klabavy náleží do poberounské subprovincie. Podrobnější geomorfologické dělení je však velmi pestré, jelikož povodí Klabavy náleží k celkem pěti celkům. Pramenná oblast povodí spadá do Brdské oblasti, přesněji do celku Brdská vrchovina. Tato oblast je jedinou hornatinou uvnitř České kotliny (Demek, Mackovčín 2006) s dosahovanými elevacemi přes 850 m n.m. Vrch Praha, poblíž kterého Klabava pramení,

dosahuje výšky 862 m n. m. Vrcholy však nevystupují příliš nad okolní reliéf a u mnohých kopců je vrchol pro příchozího jen těžko zaznamatelný (například u nejvyššího vrcholu Brd Toku). Typickým rysem Brd je velké množství suťových akumulací na úpatích, vzniklých díky periglaciálním projevům opakovaným mrznutím a rozmrznáním vody. Tato deluvia vzniklá rozpukáním hornin vytváří až několikametrové akumulace (Chlupáč 2011). Nejvyšších elevací dosahuje povodí Klabavy v okrsku Třemošenská vrchovina, která je součástí Brdské vrchoviny. Je tvořena převážně ze spodnokambrických slepenců, pískovců, kamenců, drob, arkóz, břidlic a prachovců. Jedná se, podobně jako v případě celého celku, o strukturně denudační reliéf s širokými a zaoblenými hřbety s četnými skalními tvary zvětrávání a odnosu. Dalším okrskem Brdské vrchoviny, do kterého povodí Klabavy spadá, je Třemšínská vrchovina. V ní se vyskytují například i Padrt'ské rybníky, které jsou lokalizovány ve strukturně tektonické kotlině. Celkově je Třemšínská vrchovina tvořena především z proterozoických drob, prachovců a břidlic. Opět se jedná o strukturně denudační reliéf se zbytky zarovnaných povrchů a menšími tvary zvětrávání a odnosu. Před opuštěním celé Brdské vrchoviny protéká Klabava ještě okrskem Strašická vrchovina. Ta je členitá a tvořená kambrickými slepenci a pískovci, prostoupená diority křivoklátsko – rokycanského pásma. Tato kerná vrchovina s oblými strukturními hřbety je tektonicky porušená podélnými i příčnými zlomy a je silně rozčleněna širokými údolními. (Demek, Mackovčín 2006)

V rámci Brdské podsoustavy se povodí Klabavy dále nachází na území celku Hořovická pahorkatina zastoupená podcelkem Hořovická brázda a okrskem Holoubkovská kotlina (380-490 m n. m.) (Balatka, Kalvoda 2006). Holoubkovská kotlina je složena převážně z břidlic převážně svrchního ordoviku s vložkami křemenců, bazaltů a tufů. Jedná se o erozní kotlinu vyplněnou mírně zvlněným reliéfem s pedimenty. Jejím středem probíhá ploché rozvodí mezi Holoubkovským (povodí Klabavy) a Zbirožským potokem. Holoubkovská kotlina je poznamenána antropogenními tvary dálnice a železnice. (Demek, Mackovčín 2006)

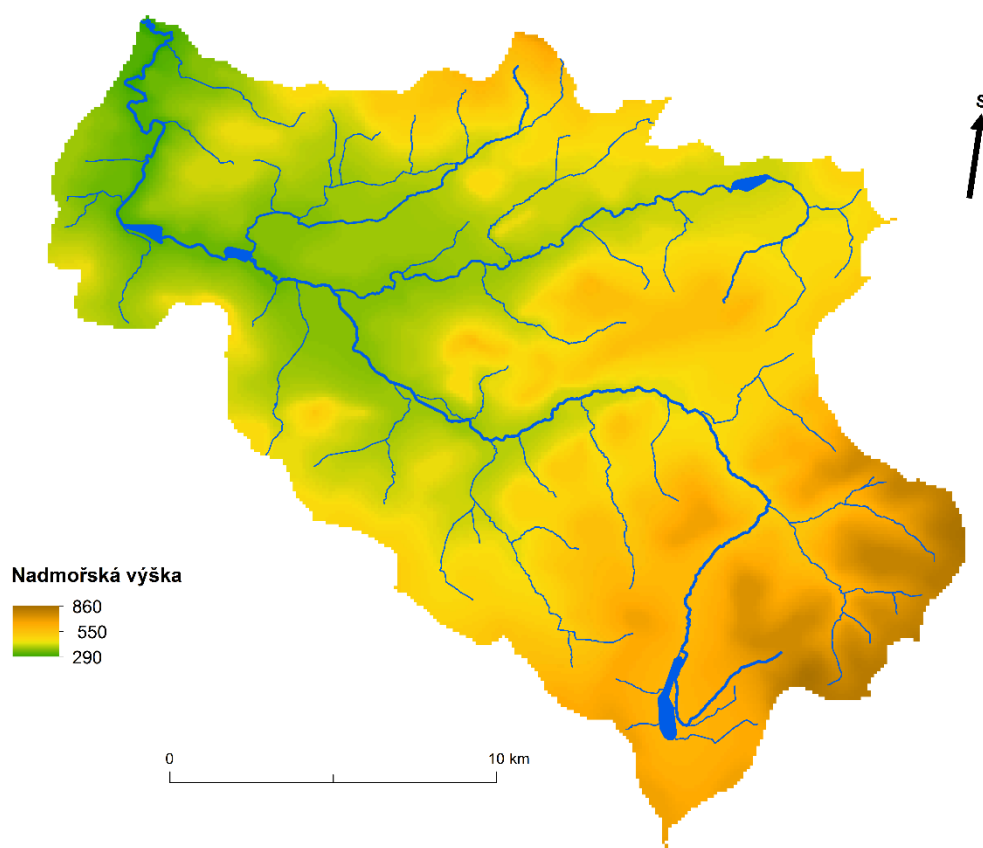
Malá část povodí Klabavy náleží k celku Křivoklátská vrchovina, přesněji jejímu podcelku Zbirožská vrchovina a okrsku Radečská vrchovina (380-721 m n. m.) (Balatka, Kalvoda 2006). Ta je tvořena z ordovických břidlic a křemenců. Opět je to kerná vrchovina s hlubokými údolními a četnými skalními tvary zvětrávání a odnosu. (Demek Mackovčín 2006)

Po Brdské podsoustavě se povodí Klabavy na svém středním toku nachází též v podsoustavě Plzeňská pahorkatina a jejích dvou celcích Švihovská a Plaská pahorkatina. V rámci Švihovské pahorkatiny se povodí Klabavy rozléhá v podcelku Rokycanská pahorkatina s okrsky Rokycanská kotlina, která má rozmezí nadmořských výšek 340 až 440

m n. m. a Klabavská pahorkatina s rozmezím nadmořských výšek mezi 300 a 575 m n. m. Klabavská pahorkatina je členitá pahorkatina kerného typu především z ordovických zvrásněných břidlic s křemenci. Je charakterizována strukturně denudačním reliéfem hrástí s relikty pedimentů a četnými suký. V této části převládá orná půda a je poznamenána též rozsáhlými antropogenními tvary po těžbě železné rudy v okolí Ejpovic a vodní nádrží Klabava. Rokycanská kotlina je tektonická sníženina převážně tvořená z ordovických zvrásněných břidlic. Je charakteristická ploše pahorkatinným dnem s rozsáhlými pedimenty a mělkými údolními vodními toků s širokými nivami. (Demek, Mackovčín 2006)

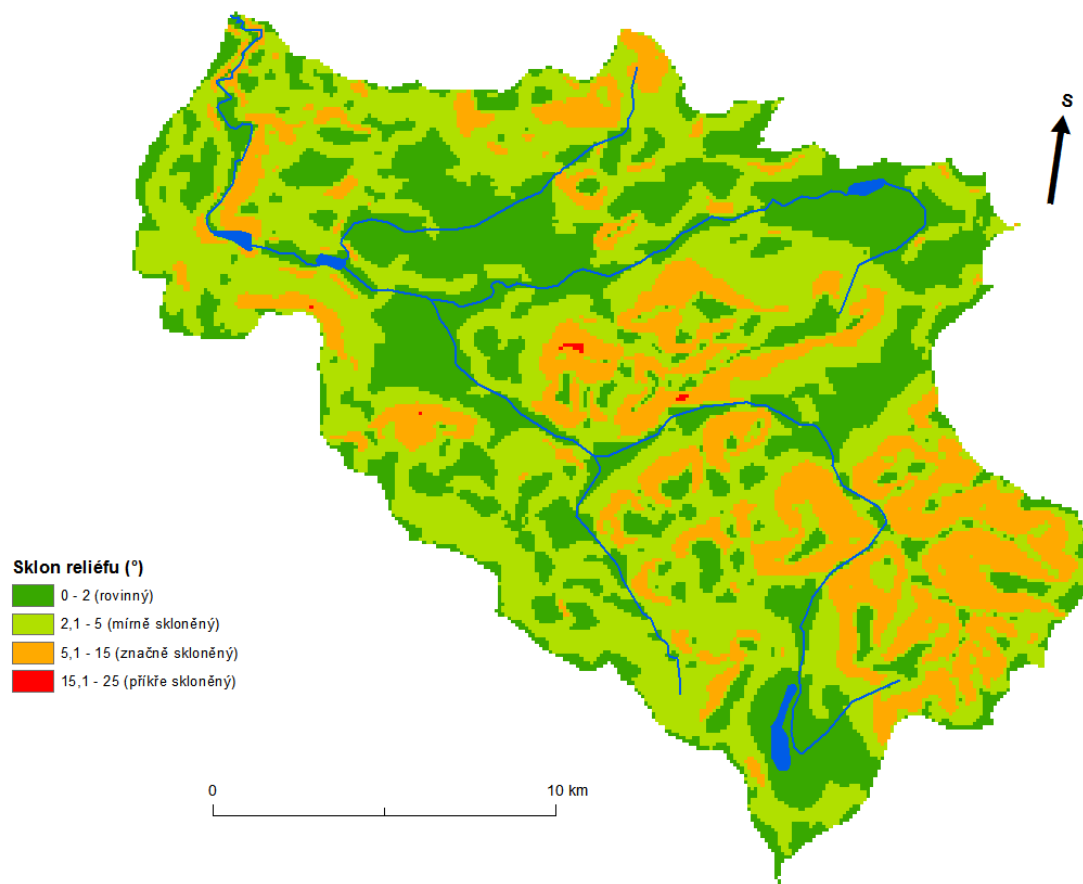
Malá část povodí poblíž ústí Klabavy do Berounky spadá již do Plaské pahorkatiny, přesněji do podcelku Kralovická pahorkatina s okrsky Kožlanská plošina (280-514 m n. m.) a Radnická vrchovina (240-502 m n. m.) (Balatka, Kalvoda 2006). Oba okrsky jsou významně ovlivněny přítomnými většími toky Berounekou, případně Střelou.

Obr. 4.2 - Mapa výškových poměrů v povodí Klabavy



zdroj dat: ARCČR, zpracováno v ArcGIS

Obr. 4.3 – Sklonitost reliéfu v povodí Klabavy



zdroj dat: ARCČR, zpracováno v ArcGIS

4.3 Pedologická charakteristika

Z půd jsou v povodí Klabavy zastoupeny především kambizemě a poměrně dost se v povodí objevují i pseudogleje. V pramenné části povodí v Brdech lze nalézt hlavně kambizemě modální a kambizemě dystrické. Kambizemě jsou obecně nejrozšířenějším půdním typem na území České republiky, se kterým se setkáváme v členitém reliéfu ve výškách 450 až 800 m n. m., méně již v nížinách; původní vegetací byly listnaté lesy. Kambizemě jsou vývojově mladé půdy s mělkým humusovým horizontem. Bývají spíše mělké a skeletovité. Tyto charakteristiky přispívají k tomu, že kambizemě jsou půdy střední až nižší kvality. (Tomášek 2007) Mimo Brdy se s nimi můžeme setkat v okolí Volduch, Rokycan, Hrádku.

Pseudogleje se nachází v menší míře v Brdech, dále jsou rozšířeny v okolí Strašic, Dobřívě, Mýta, Ejpovic. Jedná se o půdy příbuzné s luvizeměmi, které jsou zmíněny níže. Pseudogleje se tvoří především v méně členitém terénu a objevují se často v pánvích.

Hlavním půdotvorným procesem je oglejení, při kterém se tvoří až několik decimetrů mocný oglejený horizont, který má nepříznivé fyzikální vlastnosti. Způsobuje převlhčování povrchových horizontů a nedostatek vzduchu v půdě. (Tomášek 2007)

V povodí Klabavy se dále můžeme setkat s luvizeměmi. Objevují se na východ od Rokycan a v okolí Smědčic nedaleko soutoku s Beroučkou. Nacházejí se v humidnějším podnebí se srážkami 550-900 mm za rok a vznikaly pod doubravami a bučinami. Hlavním půdotvorným procesem je illimerizace (jedná se o posun jílu), která je původem možného označení luvizemí jako illimerizovaných půd. Častým jevem je u luvizemí oglejení, projevující se výskytem málo propustného horizontu pro vodu, který dočasně zadržuje srážkovou vodu.

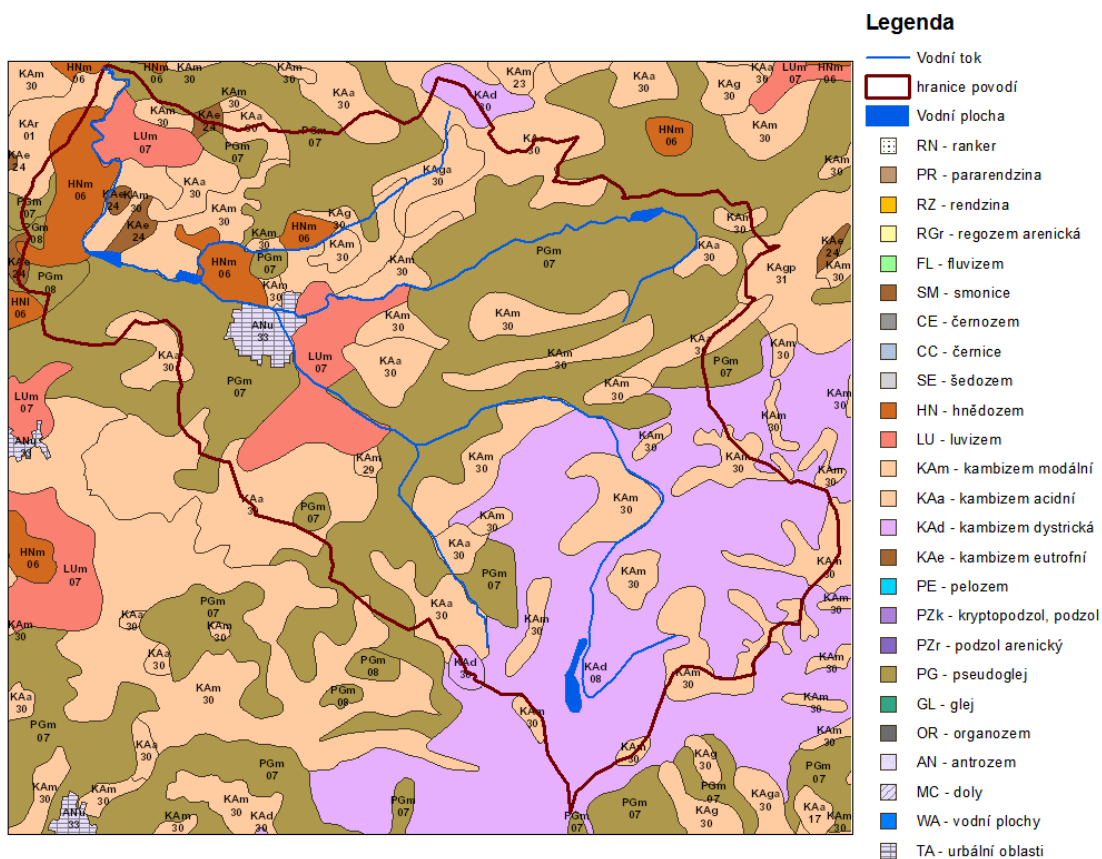
V okolí Chrástu a Litohlav se setkáme s hnědozeměmi. Jedná se o půdy vyskytující se v podnebí o něco sušším než luvizemě a pseudogleje. Jejich hlavním půdotvorným procesem je opět illimerizace, ovšem v menší míře než u luvizemí. Jedná se o zemědělsky hodnotné země, přibližující se svou hodnotou černozemím.

V rámci katastru Rokycan jsou značeny antropogenní půdy, to jest půdy silně ovlivněné lidskou činností, v případě Rokycan především zástavbou – urbální půdy. (Tomášek 2007)

VÚMOP (2016) mapuje infiltrační schopnosti půd v Česku na základě rychlosti infiltrace po dlouhodobém syčení. Z jejich přehledové mapky lze odhadnout, že v povodí Klabavy náleží půdy k typům B a C, tedy půdám se střední a nízkou infiltrační schopností. Půdy typu B mají infiltraci na úrovni 0,1-0,2 mm/min a mělo by se jednat především o půdy hlinitopísčité až jílovitohlinité. Půdy typu C se vyznačují infiltrací v hodnotách 0,05-0,1 mm/hod a jedná se o půdy jílovitohlinité až jílovité. Je však třeba zmínit, že pramenná oblast Klabavy v Brdech nebyla hodnocena.

VÚMOP (2016) udává pro povodí Klabavy hodnoty retenční vodní kapacity (množství vody, které je půda schopna zadržet v systému kapilárních pórů následně využitelných pro rostliny) převážně v rozmezích hodnot 100-220 l/m², což je slovně označováno jako nižší střední až střední.

Obr. 4.4 - Mapa půdních typů v povodí Klabavy



Zdroj dat: Cenia, zpracováno v ArcGIS

4.4 Krajinový pokryv

Povodí Klabavy je značně pestré i z hlediska pokryvu povrchu, který sám má velký vliv na tvorbu odtoku z území. K popisu využití ploch bylo využito databáze CORINE Land Cover, která umožňuje přesné prostorové vymezení jednotlivých ploch i jejich změny v čase. Celkově jsou k dispozici čtyři vrstvy roků, ze kterých jsou data dostupná – 1990, 2000, 2006, 2012.

Krajinovou maticí k roku 2012 z pohledu celého povodí (zhruba 57 %) zaujímají lesy, především jehličnaté. Jejich dominantní podíl je zřejmý především v pramenné části Klabavy a přírodních parcích Radeč a Trhoň. Druhý největší podíl na využití území má orná půda (zhruba 23 %), jejíž největší zastoupení je v oblasti středního a dolního toku.

K hodnocení celkového pokrytí území se využívá často koeficientu ekologické stability, který území hodnotí jako celek a rozlišuje jednotlivé plošky podle jejich přispívání

k celkové ekologické stabilitě. Koeficient podle Míchala (1985) se vypočítá za použití následujícího jednoduchého vzorce, který jen dává do podílu celkovou sumu přírodě blízkých a antropogenních plošek.

$$K_{es} = (\sum(\text{les} + \text{vodní plochy} + \text{travní porosty} + \text{trvalé kultury})) / (\sum(\text{zastavěné plochy} + \text{pole}))$$

Pro povodí Klabavy vychází k roku 2012 $K_{es}=2,35$, což odpovídá vyvážené krajině, kde jsou technické objekty v relativním souladu s přírodními strukturami a v takovém prostředí je nižší spotřeba energomateriálových vkladů (Lipský 2000).

Koeficient podle Míklose počítaný jako vážený průměr plošek, kde váhou je ekologická stabilita daného typu krajiny, vychází $K_{es} = 0,68$, přičemž čím více se blíží hodnotě 1, tím je území ekologicky stabilnější. Změna oproti roku 1990 je vcelku nepatrná, jak ukazuje přiložená tabulka.

Z následující tabulky je zřejmé, že při použití obou metodik vykazuje zájmové území mírný posun k ekologicky vyšší stabilitě, ačkoliv posun není nikterak výrazný.

Tab. 4.1 – Koeficient ekologické stability

K_{es}	1990	2000	2012
Míchal	1,95	2,31	2,35
Miklós	0,65	0,67	0,68

Zdroj dat: CORINE Land Cover, vypočteno v ArcGIS a MS Excel

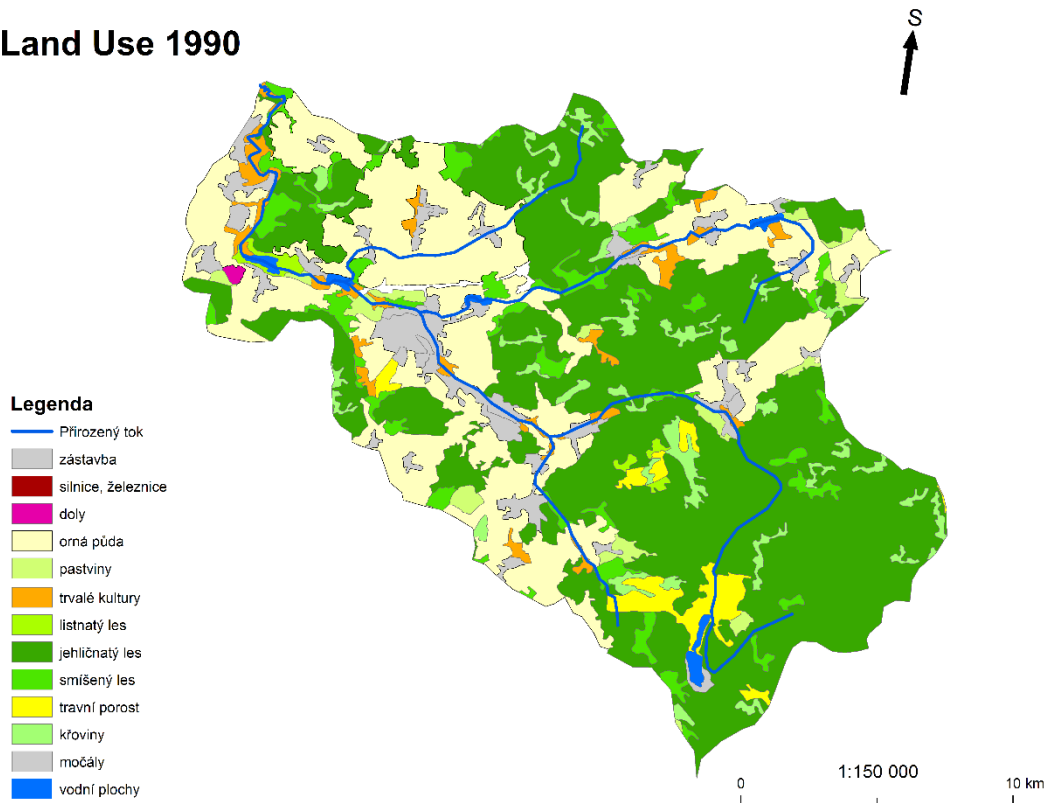
Z hlediska změny v čase nedošlo mezi lety 1990 – 2012 k takovým změnám, které by znamenaly změnu krajinné matrice, ale změny v rozlohách jednotlivých krajinných složek nejsou zcela zanedbatelné. Především došlo od roku 1990 k nárůstu podílu lesů na celkovém pokrytí povrchu. Podíl jehličnatých lesů v povodí je od roku 2006 již přes 50 %. Je zřejmé, že lesů přibývalo relativně stabilně po celé sledované období podobným tempem. Při porovnání přiložených map je zjevné, že k rozšíření lesa došlo především na úkor menších enkláv křovin a travních porostů uvnitř souvislejšího lesního porostu. Křoviny celkově zaznamenaly mezi léty 1990 a 2012 úbytek o více než dva procentní body. K významnějšímu úbytku došlo u orné půdy, jejíž rozloha se snížila o více než čtyři procentní body a její nevyšší úbytek nastal mezi lety 1990–2000. V období po roce 2000 sice docházelo k úbytku orné půdy, ale tento úbytek nebyl zdaleka tak výrazný jako v devadesátých letech.

U zástavby za sledované období nastal jen menší nárůst, který je výsledkem drobného úbytku zastavěného území v devadesátých letech (o necelou desetinu procentního bodu) a

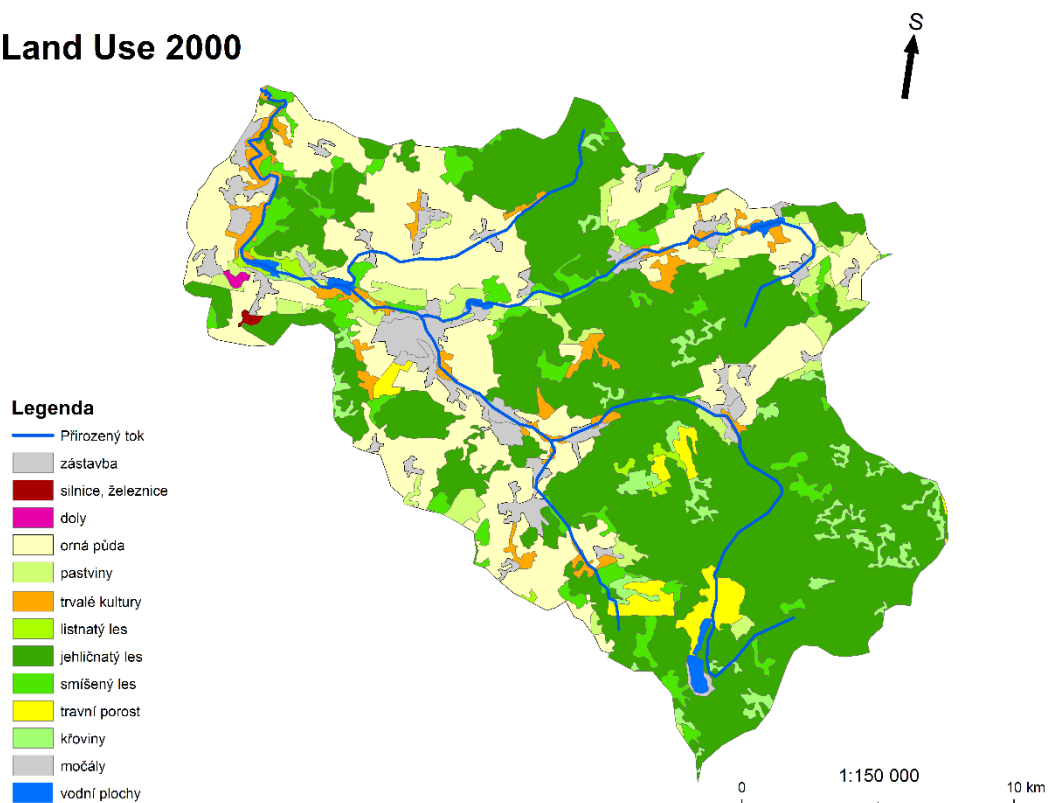
naopak mírného růstu po přelomu tisíciletí, jehož výsledkem je celkový růst o zhruba dvě desetiny procentního bodu.

Obr. 4.5 – 4.8 – LandUse v povodí Klabavy v letech 1990, 2000, 2006, 2012

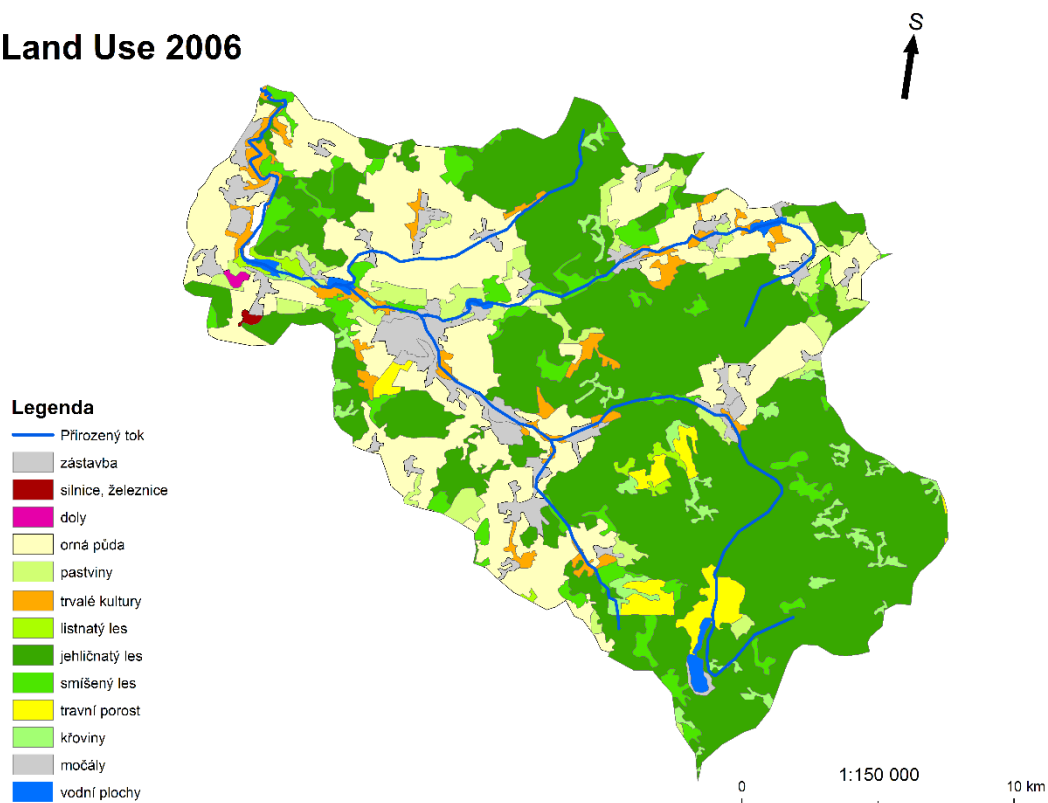
Land Use 1990



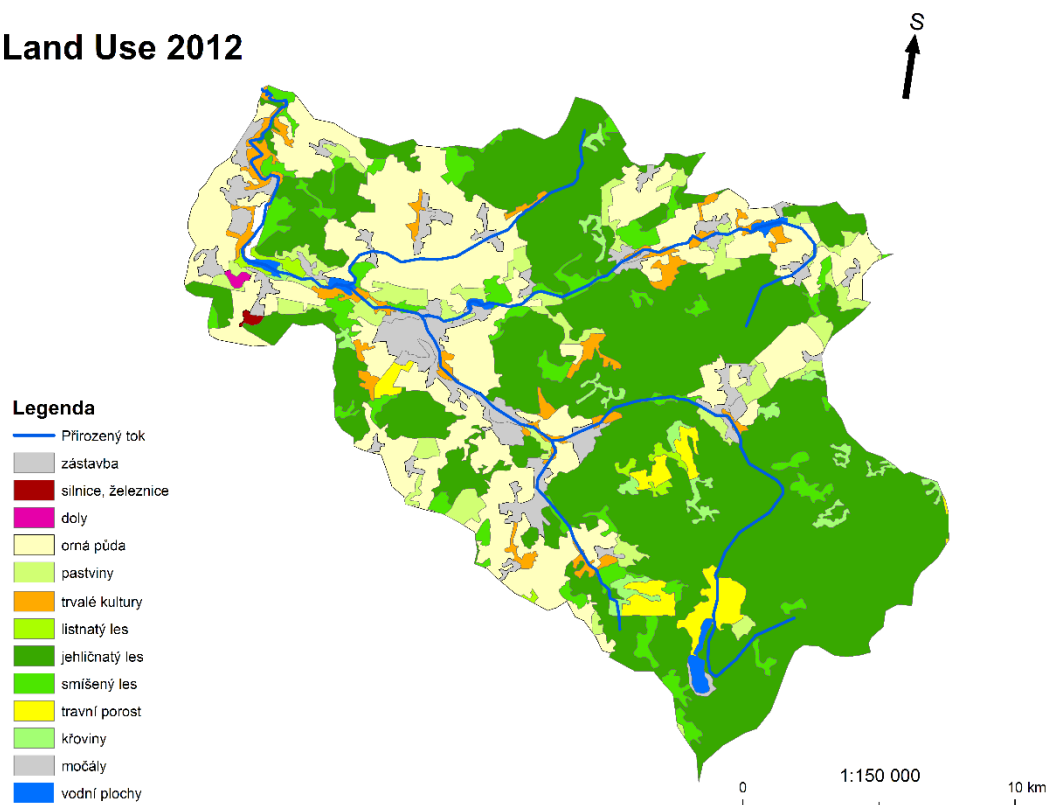
Land Use 2000



Land Use 2006



Land Use 2012



Zdroj dat u předchozích map: CORINE Land Cover, zpracováno v ArcGIS

Tab. 4.2 – Změny v LandUse v povodí Klabavy

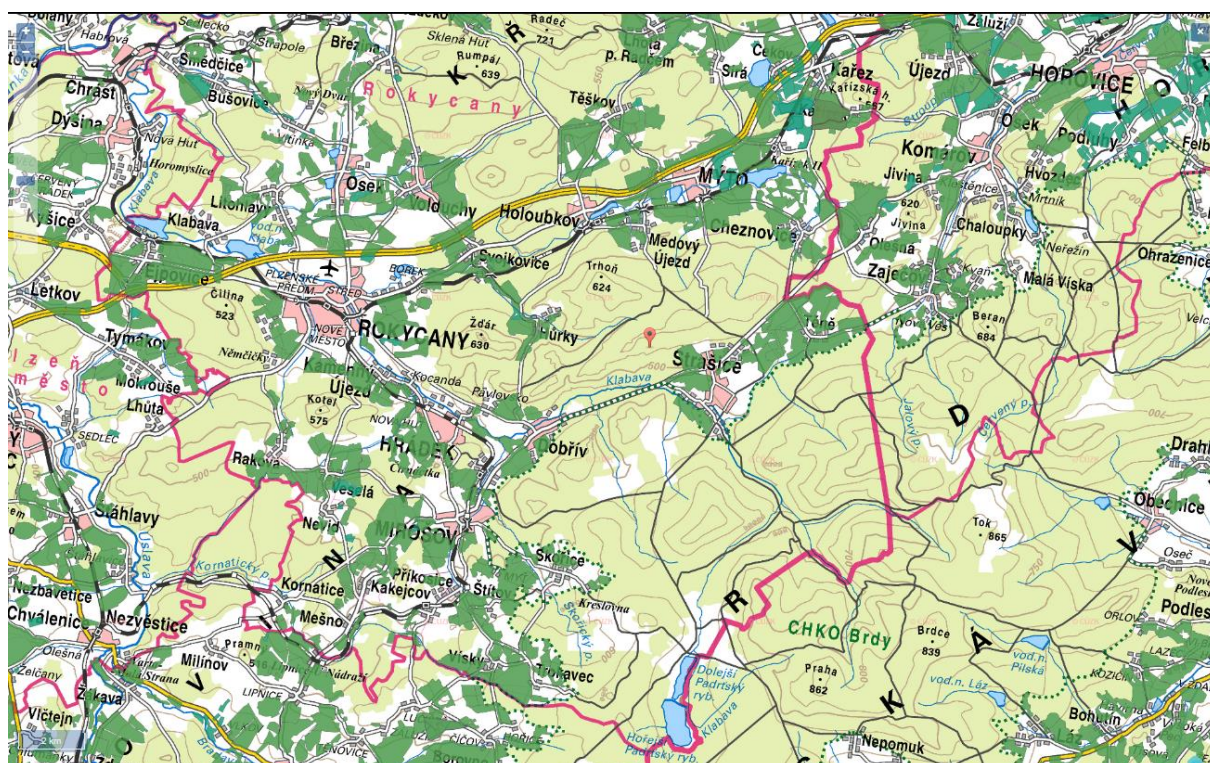
	1990		2000		2006		2012		změna 1990-2000		změna 2000-2012		změna 1990-2012	
	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]
zástavba	22,95	6,12%	22,80	6,08%	22,94	6,11%	23,84	6,35%	-0,15	-0,04%	0,88	0,28%	0,88	0,24%
silnice, železnice	0,39	0,10%	0,29	0,08%	0,29	0,08%	0,29	0,08%	-0,10	-0,03%	-0,10	0,00%	-0,10	-0,03%
doly	1,27	0,34%	0,35	0,09%	1,06	0,28%	1,06	0,28%	-0,92	-0,24%	-0,21	0,19%	-0,21	-0,06%
orná půda	102,42	27,30%	90,07	24,01%	89,31	23,80%	86,90	23,16%	-12,35	-3,29%	-15,52	-0,85%	-15,52	-4,14%
pastviny	6,97	1,86%	17,16	4,57%	17,77	4,74%	18,88	5,03%	10,20	2,72%	11,91	0,46%	11,91	3,17%
trvalé kultury	9,66	2,57%	12,64	3,37%	12,12	3,23%	12,12	3,23%	2,98	0,80%	2,47	-0,14%	2,47	0,66%
listnatý les	1,97	0,53%	1,99	0,53%	1,99	0,53%	1,99	0,53%	0,02	0,01%	0,02	0,00%	0,02	0,01%
jehličnatý les	183,10	48,80%	186,89	49,81%	189,14	50,41%	191,71	51,10%	3,79	1,01%	8,62	1,29%	8,62	2,30%
smíšený les	20,15	5,37%	20,75	5,53%	20,49	5,46%	21,06	5,61%	0,59	0,16%	0,91	0,08%	0,91	0,24%
travní porost	8,90	2,37%	7,81	2,08%	8,12	2,16%	8,12	2,16%	-1,08	-0,29%	-0,78	0,08%	-0,78	-0,21%
křoviny	14,57	3,88%	11,62	3,10%	9,13	2,43%	6,38	1,70%	-2,95	-0,79%	-8,19	-1,40%	-8,19	-2,18%
močály	0,44	0,12%	0,31	0,08%	0,31	0,08%	0,31	0,08%	-0,13	-0,03%	-0,13	0,00%	-0,13	-0,03%
vodní plochy	2,40	0,64%	2,49	0,66%	2,52	0,67%	2,52	0,67%	0,09	0,03%	0,12	0,01%	0,12	0,03%

	1990		2000		2006		2012		změna 1990-2000		změna 2000-2012		změna 1990-2012	
	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]	plocha [km ²]	podíl [%]
lesy	205,22	54,70%	209,63	55,87%	211,62	56,41%	214,77	57,24%	4,41	1,175%	5,14	1,370%	9,55	2,545%
zemědělské území	112,08	29,87%	102,72	27,38%	101,43	27,04%	99,03	26,39%	-9,36	-2,496%	-3,69	-0,983%	-13,05	-3,479%
zástavba	23,34	6,22%	23,09	6,15%	23,22	6,19%	24,12	6,43%	-0,25	-0,067%	1,04	0,276%	0,78	0,209%
pastviny, traviny, louky	30,44	10,69%	49,24	13,12%	47,14	12,56%	45,50	12,13%	18,80	2,437%	-3,74	-0,996%	15,06	1,441%
ostatní	4,11	1,09%	3,15	0,84%	3,89	1,04%	3,89	1,04%	-0,95	-0,254%	0,73	0,195%	-0,22	-0,058%

Zdroj dat: CORINE Land Cover, zpracováno v ArcGIS a MS Excel

K odvodnění některých zemědělských pozemků došlo na Klabavě podle Informačního systému melioračních staveb především v průběhu sedmdesátých, a hlavně osmdesátých let dvacátého století. Pro náležitou kvantifikaci těchto prací však nebyla volně dostupná data, proto lze jen z přehledové mapy odhadovat, že zemědělské půdy se odvodnění dotklo poměrně významně. Na příložené mapce obr. 4.9 je tmavě zelenou barvou označeno odvodněné území.

Obr. 4.9 – Přehled odvodněných území v povodí Klabavy



Zdroj: <http://meliorace.vumop.cz/?core=app>

4.5 Klimatologická charakteristika

Povodí Klabavy je klimaticky dosti rozličné. Budeme-li se bavit o Köppenově klasifikaci (rozdělení oblastí dle ročního průběhu teplot a srážek ve vztahu k vegetaci), patří do dvou oblastí – Cfb a Dfb. Do oblasti Cfb spadá většina území České republiky (a zároveň většina povodí Klabavy) a jedná se o podnebí listnatých lesů mírného pásma s nejchladnějším měsícem dosahujícím průměrné teploty nad -3°C a nejteplejším v průměru nad 10°C . Zároveň nám udává, že srážek je v nevlhčím letním měsíci více než v nejsušším zimním měsíci (ale méně než desetkrát). Vrcholové partie Brd, tvořící pramennou část povodí Klabavy, spadají do oblasti s označením Dfb. Tato oblast je charakterizována jako boreální klima a na rozdíl od oblasti Cfb je průměrná teplota nejchladnějšího měsíce nižší než -3°C . (Tolasz 2007)

Další užívanou klasifikací je Quittova. Ta už nabízí podrobnější pohled na povodí Klabavy, které dle této klasifikace spadá do dvou oblastí a šesti různých celků navzájem diferujících mnoha rozličnými klimatologickými charakteristikami. Oblasti vyskytující se v povodí Klabavy jsou mírně teplá (jednotky MW2, MW3, MW4, MW7, MW 11) a chladná

(C7). Chladná oblast je znovu zastoupena v pramenné oblasti Klabavy ve vrcholových partiích Brd. Jejich charakteristiky poskytuje tabulka 4.3.

Tab. 4.3 – Přehled klimatických oblastí v povodí Klabavy

klimatická jednotka	počet letních dní	počet dní s mrazem	roční suma srážek [mm]	průměrná teplota leden [°C]	průměrná teplota červenec [°C]
C7	10 - 30	140 - 160	850 - 1000	-3 - -4	15 - 16
MW2	20 - 30	110 - 130	700 - 800	-3 - -4	16 - 17
MW3	20 - 30	130 - 160	600 - 750	-3 - -4	16 - 17
MW4	20 - 30	110 - 130	600 - 750	-2 - -3	16 - 17
MW7	30 - 40	110 - 130	650 - 750	-2 - -3	16 - 17

Zdroj: Tolasz (2007)

Podobně jako Quittova klasifikace i klasifikace z Atlasu Podnebí ČSR 1958 řadí povodí Klabavy do mírně teplé oblasti s výjimkou nejvyšších partií Brd spadajících do chladné oblasti.

4.6 Srážková charakteristika

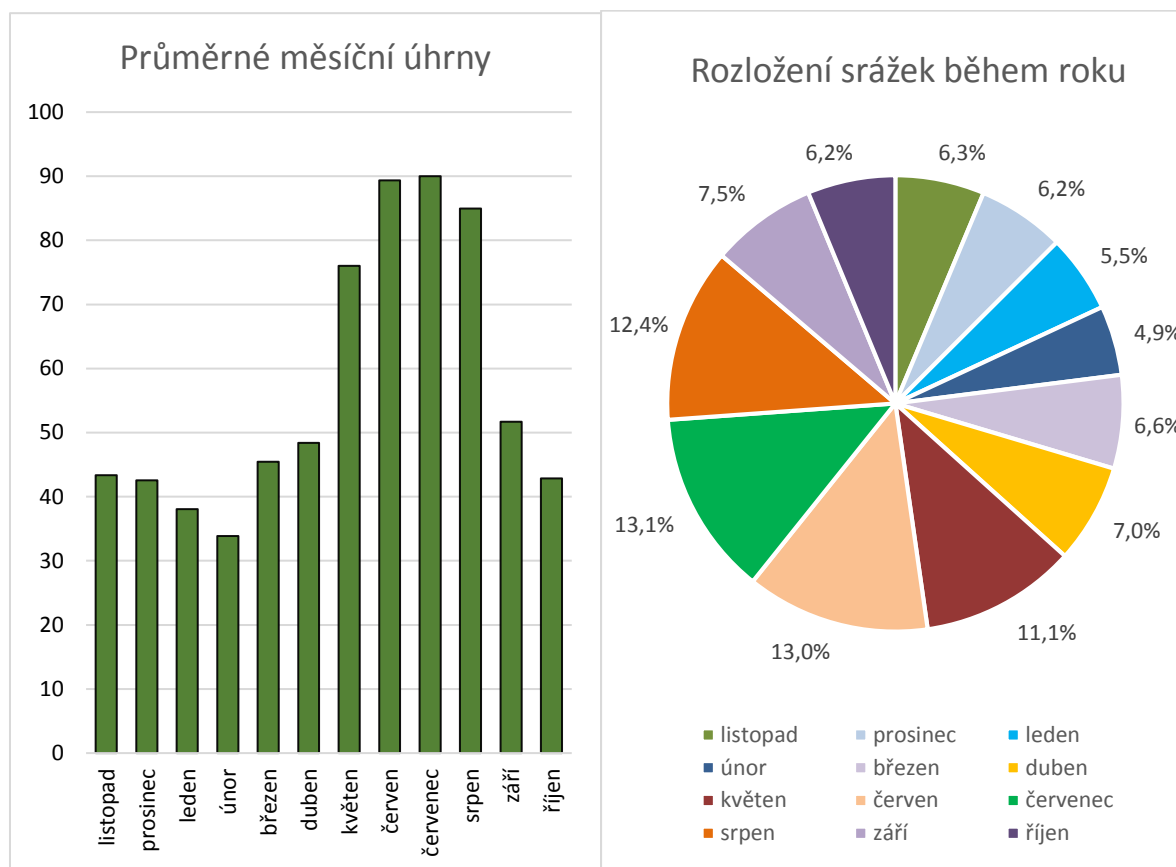
Na základě dat od ČHMÚ byla provedena analýza srážkových poměrů na povodí Klabavy. Data od ČHMÚ byla poskytnuta jako denní souhrnné srážky. Pro účely dalšího zpracování byly vytvořeny měsíční souhrny, které i dále vstupovaly do doplňování i odhadu srážkové výšky na povodí. Chybějící data byla doplněna a byl proveden odhad výšky plošné srážky na povodí (kapitola 2).

Průměrná roční výška srážek tak pro povodí Klabavy vychází **686,7 mm**. Podle Atlasu podnebí Česka (Tolasz 2007) je zřejmé, že v povodí Klabavy bývá nejvyšších srážek dosahováno na hřebenech Brd, kde dle odhadu může být průměrný roční úhrn zhruba 800-900 mm. Naopak nejnižších úhrnů by mělo být dosahováno v okolí ústí Klabavy do Berounky s hodnotami i pod 600 mm srážek za rok.

Další charakteristiky byly zjištěny pomocí výpočtů absolutních a relativních statistik z dat měsíčních a ročních úhrnů.

4.6.1 Změny měsíčních výšek srážek během roku

Graf 4.1 – Měsíční úhrny srážek



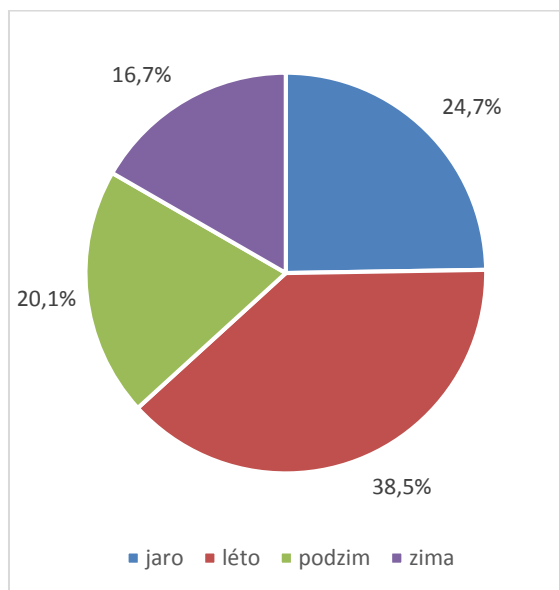
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Z jednotlivých měsíců se na srážkách nejvíce podílí červenec, těsně následován červnem a srpnem. V každém z letních měsíců spadne v průměru téměř 90 mm srážek. Nejméně srážek v povodí Klabavy spadne v únoru, v průměru jen necelých 34 mm srážek, tedy téměř třetina srážkově nejbohatších měsíců. Obdobně nízké srážkové úhrny bývají zaznamenány v lednu, případně i v prosinci.

Vůbec nejnižší měsíční srážkový úhrn byl zaznamenán v listopadu 2011 (patřící však do hydrologického roku 2012) a to ve výši 1,8 mm srážek za měsíc. V únoru 2014 bylo zaznamenáno jen 1,9 mm srážek. Třetím nejnižším úhrnem za jeden měsíc bylo 2,1 mm v prosinci 1973. Na druhé straně nejvyšší měsíční hodnoty bylo dosaženo v srpnu roku 2002, kdy za celý měsíc napršelo 260 mm srážek. Vysokých srážek bylo dosaženo dále v červenci 1981, kdy byly zaznamenány úhrny ve výši 235 mm. Třetího nejvyššího úhrnu srážek za jeden měsíc bylo dosaženo v srpnu 1983, kdy spadlo v průměru 205 mm srážek.

Pro srovnání stojí za pozornost, že nejvyšší měsíční úhrn, tedy 260 mm ze srpna roku 2002 tvoří teoreticky 57 % úhrnu, který v nejsušším roce, tedy v hydrologickém roce 1973 (bude zkoumáno dále) byl pouze 454 mm. Zároveň tento úhrn tvoří 38 % procent průměrného roku a dokonce až 28 % srážkově nejbohatšího roku 1965. Není proto překvapivé, že na takovou srážkovou událost proběhla extrémní povodňová odezva.

Graf 4.2 – Rozložení srážek během roku podle ročních období

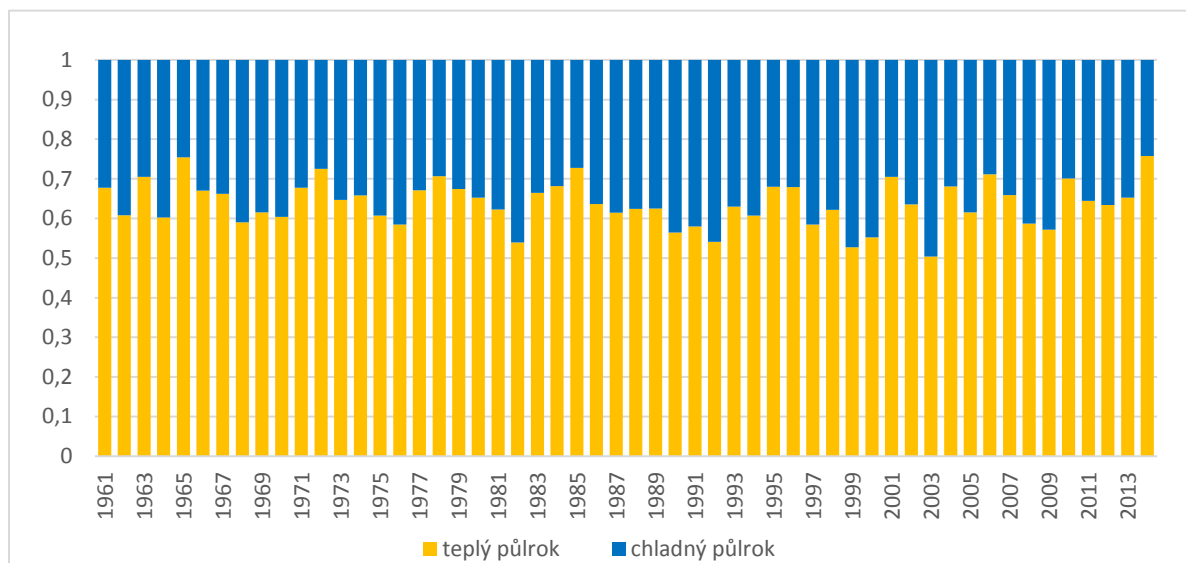


Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Z hlediska zastoupení ročních období na rozložení srážek během roku zcela jednoznačně převažují srážky v letních měsících. Tento graf jen potvrzuje předchozí už jen díky tomu, že všechny tři letní měsíce jsou měsíce s nejvyšším srážkovým úhrnem během roku. Druhý nejvyšší podíl mají jarní měsíce, především díky srážkově bohatému květnu.

4.6.2 Vývoj sezónního rozložení srážek za dobu pozorování 1961-2014

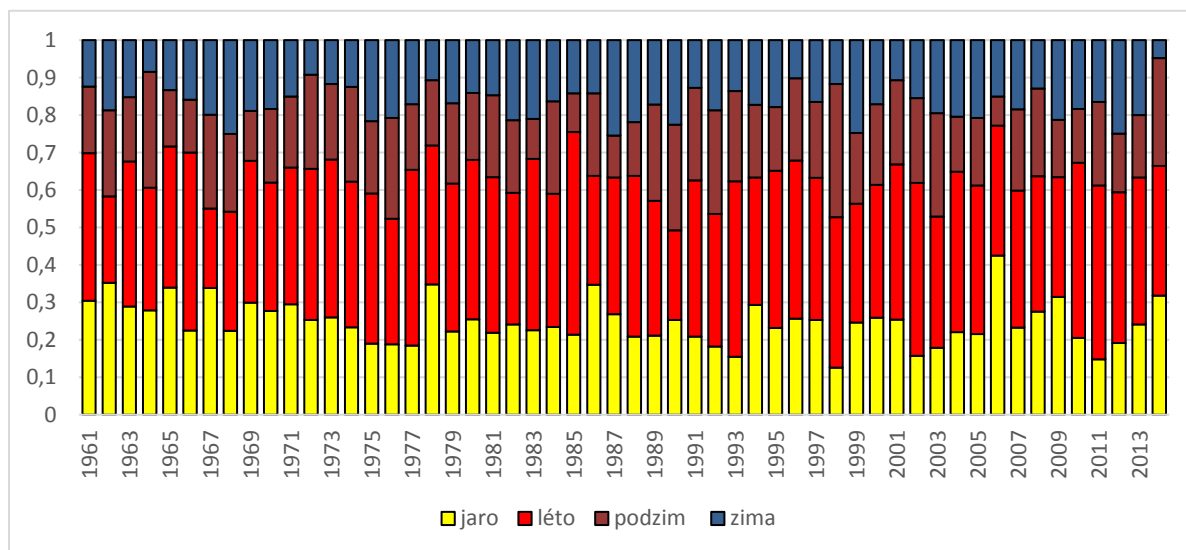
Graf 4.3 – Vývoj sezónních srážek v povodí Klabavy za období 1961-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

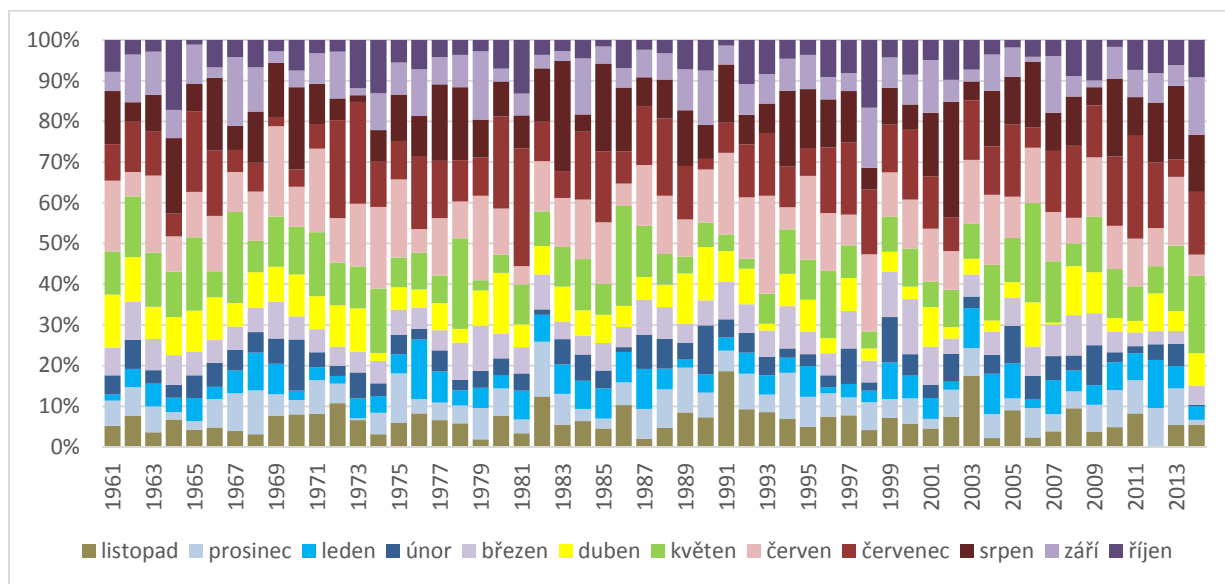
Při proložení spojnice trendu v MS Excel na zjištění tendence v rozložení sezónních srážek během roku vychází daná přímka prakticky konstantní, jen velmi nepatrně klesající. Lze tedy hodnotit, že rozložení srážek se během doby pozorování příliš nezměnilo a na teplý půlrok (duben až září) připadá přibližně 64 % srážek a na chladný (říjen až březen) 36 %. Blíže budou tyto tendence zkoumány v kapitole 5.2.

Graf 4.4 – Vývoj rozložení srážek v povodí Klabavy dle ročních období za dobu 1961-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

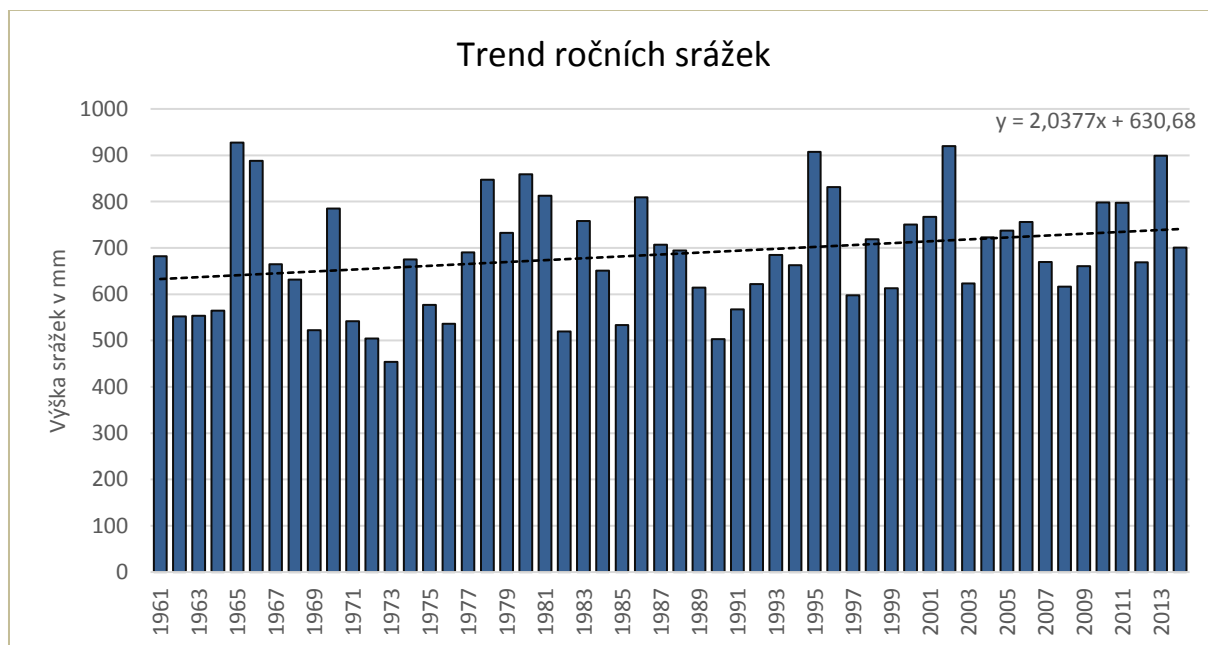
Graf 4.5 – Vývoj podílu měsíčních srážek v povodí Klabavy na ročním odtoku za dobu 1961-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

4.6.3 Změny ročních výšek srážek během doby pozorování 1961-2014

Graf 4.6 – Vývoj ročních srážek v povodí Klabavy



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Ačkoliv je zjevné, že v ročních úhrnech jsou v povodí Klabavy velké výkyvy, celkový trend od počátku šedesátých let do roku 2014 je vzrůstající. Při proložení regresní přímky v MS Excel má tato přímka vzrůstající tendenci a lze tedy vyvozovat, že za toto období na povodí Klabavy vzrostlo množství srážek. Opět budou přesnější testy provedeny v kapitole 5.2.

Nejmenší roční úhrn byl zaznamenán v hydrologickém roce 1973 a činil pouhých 454 mm srážek. Jedná se o jediný rok, kdy bylo zaznamenáno méně než 500 mm srážek. Za pozornost jistě stojí to, že většina roků s malým úhrnem srážek na povodí Klabavy byla v první polovině měření, s výjimkou roku 1990, který byl druhý nejsušší. Jinak však všech prvních 10 nejsušších let bylo zaznamenáno do roku 1990.

V porovnání s odtokovými charakteristikami (v kapitole 5.1) vychází, že rok 1973 byl až pátým nejméně vodným rokem a zbylé dva srážkově nejchudší roky se v seznamu mimořádně suchých roků nevyskytují.

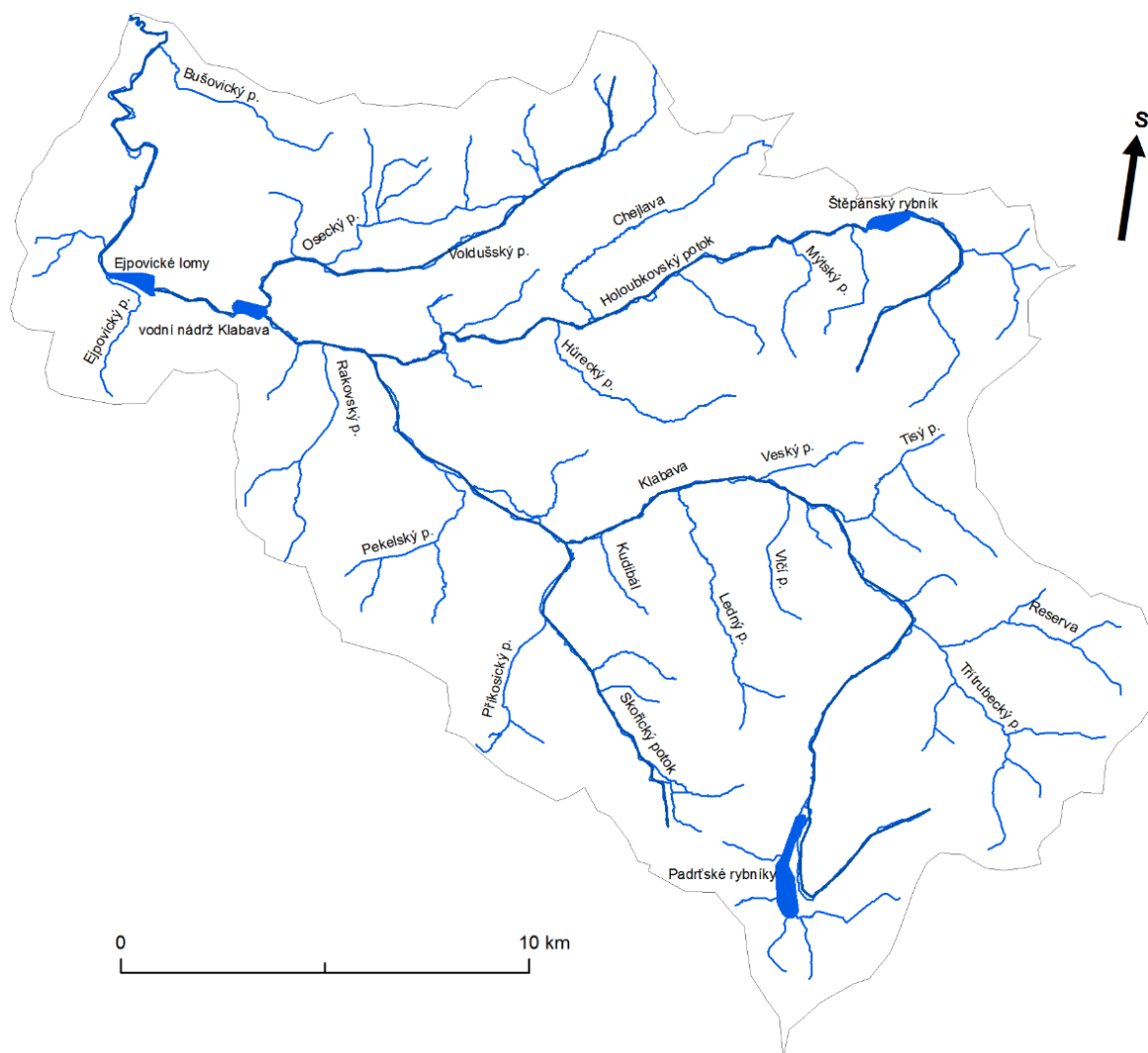
Oproti tomu nejvyššího úhrnu bylo dosaženo za hydrologický rok 1965, kdy souhrnná srážka činila 927 mm. Hodnoty nad 900 mm byly zaznamenány ještě v letech 2002 (920 mm) a 1995 (907 mm). Rozložení let s vysokým úhrnem srážek je mnohem rovnoměrnější, než tomu je v případě let s nízkým úhrnem. Mezi sedmi nejvyššími ročními úhrny se nachází zástupci z každého desetiletí doby pozorování, pouze šedesátá léta se v tomto výčtu nachází dvakrát díky srážkově bohatým rokům 1965 a 1966.

V trendu srážek však chybí záznamy z let 2015, 2016, případně i 2017, které byly na území ČR málo bohaté na srážky a je proto možné, že tyto roky by se mohly podepsat i na celkové tendenci.

4.7 Hydrografická charakteristika

Údaje a výpočty uváděné v této kapitole vychází, není-li uvedeno explicitně jinak, z DIBAVOD. Z toho důvodu je možné, že některé údaje mohou vycházet s drobnými odchylkami, než které uvádí jiní autoři.

Obr. 4.10 Hydrografie Klabavy



Zdroj dat: Databáze, zpracováno v ArcGIS

Klabava je řekou pramenící v Brdech pod druhým nejvyšším brdským vrcholem Praha (862 m n. m.). Její pramenná část se nachází v lesnatém území Středních Brd, kde byla s počátkem roku 2016 vytvořena chráněná krajinná oblast a dále probíhá sanace území od vojenské munice po bývalém rozsáhlém vojenském prostoru. Řeka je dlouhá přibližně 51 km a její tok končí soutokem s Berouňkou na jejím říčním kilometru 121,7 poblíž Chrástu u Plzně. Klabava je tedy povodím IV. řádu a náleží k úmoří Severního moře.

V průběhu toku se do Klabavy vlévá několik významných přítoků, ještě na území CHKO se jedná o pravostranný Třítrubecký potok. Tento potok pramení podobně jako Klabava pod vrcholem Prahy, jen z opačné strany. V některých zdrojích je právě soutok s Třítrubeckým potokem udáván jako místo vzniku Klabavy (v té samé literatuře bývá úsek

Klabavy nad tímto soutokem zván Padrťský potok). Dále pak v Rokycanech přibývá do Klabavy voda z dalšího pravostranného a celkově hydrologicky nejvýznamnějšího přítoku, Holoubkovského potoka. Holoubkovský potok je 23,5 kilometrů dlouhý a pramení v oblasti Přírodního parku Trhoň, na jeho toku se nachází několik rybníků. Do VD Klabava se vlévá Voldušský potok, opět z pravé strany, který pramení v Přírodním parku Radeč.

Z levostranných přítoků lze zmínit kupříkladu Ledný potok a Skořický potok v oblasti obce Dobřív. Celkově však lze říci, že levostranné přítoky jsou menšího významu, jak bude vycházet i z následujících grafů, především grafu 4.7.

Tab. 4.4 - Základní hydrografické údaje:

Délka toku	51,2 km
Plocha povodí	373 km ²
Délka rozvodnice	104,63 km
Délka povodí	30,21 km
Délka všech vodních toků	474,3 km
Nejvyšší kóta v povodí	865 m n. m. (vrchol Tok)
Nejnižší kóta v povodí	290 m n. m. (ústí toku do Berounky)
Hustota říční sítě	1,27 km/km ²
Nadmořská výška profilu	308 m n. m.
Převýšení povodí	575 m
Střední sklon povodí	29,8 ‰
Střední sklon toku	9,33 ‰

Zdroj dat: Dibavod, vypočteno v MS Excel

Odtok vody ze zájmového území též ovlivňuje to, jak jsou vodní toky uspořádány a jakého tvaru je povodí.

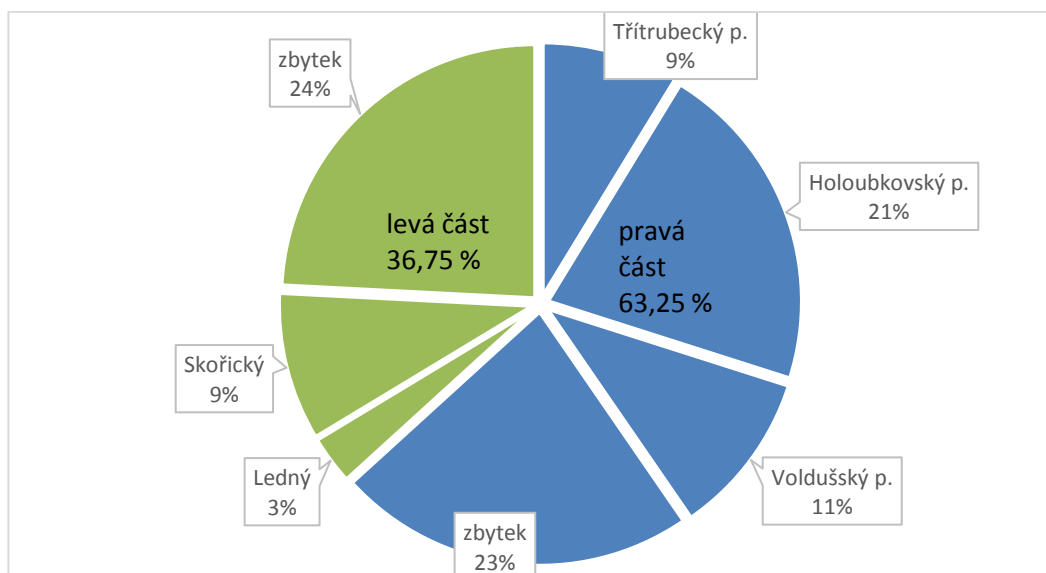
Tab. 4.5 - Charakteristiky tvaru povodí a uspořádání říční sítě:

Gravelliův koeficient	1,53
Koeficient protáhlosti povodí	0,72
Charakteristika povodí, tvar	0,41
Koeficient souměrnosti	0,26

Zdroj dat: Dibavod, vypočteno v MS Excel

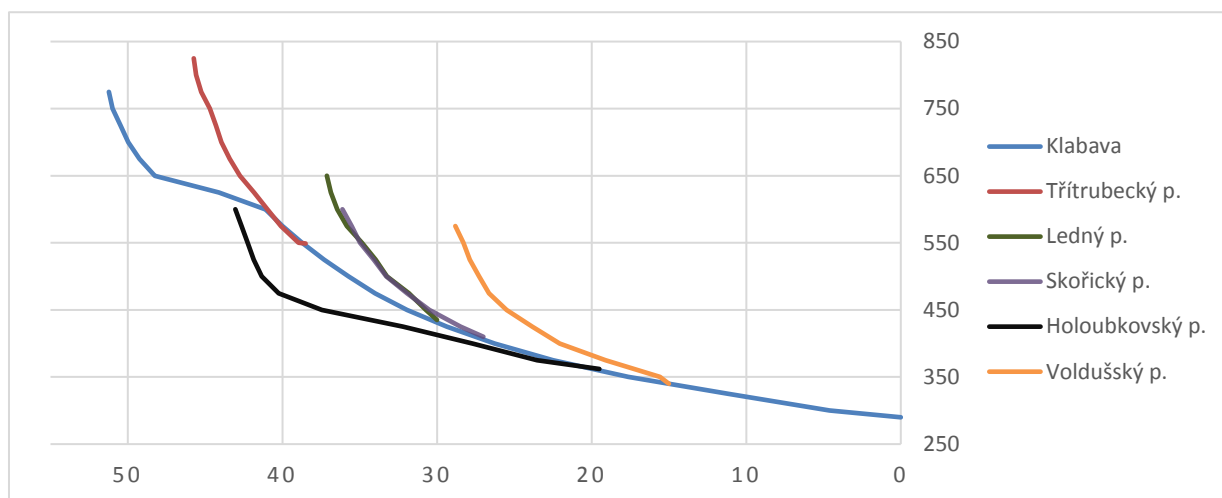
Dle výše zmíněných morfometrických ukazatelů vykazuje povodí Klabavy tvar povodí nepříliš podobný kruhu. Z hlediska protáhlosti můžeme povodí hodnotit jako relativně protáhlé, což značí alespoň v závěrovém profilu celkem příznivé podmínky pro odtok za povodňových situací. Tvar povodí může být hodnocen jako vějířovitý (Netopil 1970). Povodí vějířovité bývá při povodňových událostech nepříznivé, neboť do závěrového profilu voda dotéká v přibližně stejný čas a při zasažení celého povodí významnou srážkovou epizodou dochází ke střetu kulminačních průtoků v závěrovém profilu (Kemel, Kolář 1980). Tyto dvě charakteristiky si tedy zjevně odporují. Při pohledu na obrázek 4.10 a vědomosti, že na Klabavě se často vyskytují povodně, lze spíše klást důraz na vějířovitý tvar povodí, zatímco protáhlost na snížení účinků povodní nebude mít takový význam. Z koeficientu souměrnosti je zjevné, že povodí není příliš souměrné, což ostatně ukazuje i přiložený graf 4.7.

Graf 4.7 – Kruhový graf dílčích povodí v povodí Klabavy



Zdroj dat: Dibavod, zpracováno v MS Excel

Graf 4.8 – Rozvinutý podélný profil Klabavy

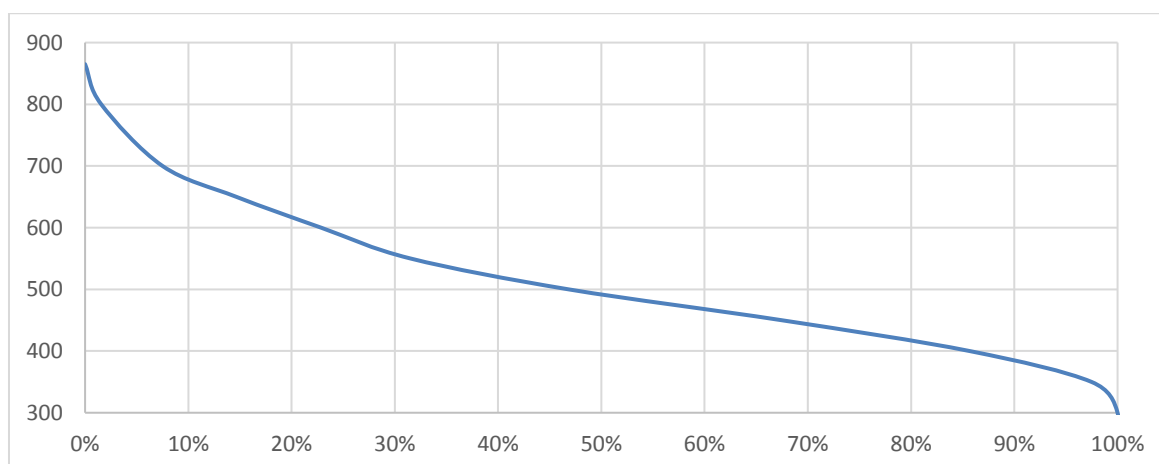


Zdroj dat: Dibavod, zpracováno v MS Excel

Výrazný schod v podélném profilu Klabavy kolem nadmořské výšky 600 m n. m. je zapříčiněn Padrt'skými rybníky, které pro území nad nimi tvoří již delší dobu základní bázi a rovinaté území v jejich okolí je patrné právě i na podélném profilu. Sklonitostní mapa v kapitole 4.2 potvrzuje rovinatost v okolí Padrt'ských rybníků a v té samé kapitole je tato oblast označena jako strukturně tektonická kotlina.

V softwaru ArcGIS byla pomocí nástroje Surface Volume z rozšíření 3D Analyst vytvořena hypsografická křivka, jejíž průběh odpovídá typické hypsografické křivce. Nad 500 m n. m. leží téměř 50 % území povodí. Průměrná nadmořská výška povodí činí podle údajů z ArcGIS přibližně 515 m n. m.

Graf 4.9 – Hypsografická křivka Klabavy



Zdroj dat: Dibavod, zpracováno v MS Excel

4.7 Vodní plochy v povodí

V povodí Klabavy se nachází několik vodních ploch, které mnohdy význačně vstupují do tvorby odtoku Klabavy, případně jejích přítoků.

V pramenné části řeky se nachází *Padrt'ské rybníky*, které svou lokalizací uprostřed brdských lesů vytváří vcelku jedinečné prostředí jinak hustého lesového porostu. Padrt'ské rybníky byly založeny pravděpodobně kolem roku 1565 a jedná se o soustavu dvou rybníků – větší Hořejší padrt'ský rybník býval kdysi největším rybníkem Plzeňského kraje, v současné době je však jeho rozloha menší a jeho dřívější zatopená oblast zarůstá stromy a mokřady (Hajšman 2015). Později v šestnáctém století vznikla kolem rybníků obec Padrt', která byla významným železářským sídlem, avšak zanikla při pozdějším rozšiřování vojenského újezdu. (Čáka 1998)

Pro ovlivnění průtoků je hlavní nevýhodou Padrt'ských rybníků jejich malé povodí (21,6 km²), které znamená, že většina vody, která Klabavou protéká například již ve Strašicích teče zcela mimo Padrt'ské rybníky.

Další význačnější nádrž na toku je až *Vodní dílo Klabava*, které je lokalizováno až pod intravilánem Rokycan na patnáctém říčním kilometru. Vystavěno bylo roku 1957. Původním účelem tohoto díla byla ochrana níže položených Ejpovických lomů před povodněmi, jelikož byly lokalizovány přímo v řečišti Klabavy (Dvořák 2014). Dnes je podle letáku na břehu nádrže hlavním účelem zajištění minimálního průtoků, rekreace, rybolov a snížení účinků povodní Z hlediska ovlivnění průtoků hraje roli jen pro část toku pod hlavní zástavbou, a i tak není vodní dílo schopno zadržet skutečně velkou povodeň. Při krátkých epizodách i s velkou kulminací však hraje VD Klabavy význačnou roli (Hydroprojekt 2007). Profil Nová Huť se nachází pod tímto dílem, proto hodnoty v tomto profilu jsou dílem ovlivněny.

Bezprostředně pod VD Klabava se nachází právě zatopený prostor bývalých železnorudných Ejpovických lomů, které byly vybudovány přímo v řečišti Klabavy a za účelem jejich rozšíření byla Klabava vedena dvěma velkými tunely v délce 1,5 km pod vrchem Hradiště. Lomy však byly brzy uzavřeny (v roce 1967) a zatopeny (Dvořák 2014). V současné době tak vytváří zajímavý krajinný prvek a neregulovatelnou vodní plochu, která pro ovlivnění odtoku nemá význačný význam.

Na Holoubkovském potoce i dalších menších přítocích se nachází několik rybníků, kterými potoky protékají. V případě Holoubkovského potoka se jedná o rybníky *Štěpánský, Podmýtský, Holoubkovský a Hamerský*.

Do budoucna je stále v plánech Povodí Vltavy záměr na vybudování *Vodního díla Amerika*, které by bylo primárně zaměřeno na protipovodňovou ochranu a svou lokalizací na říčním kilometru 37 by chránilo především Strašice, Dobřív a značně by ovlivnilo i průtoky v Rokycanech (Sweco Hydroprojekt 2015). Tento záměr se objevuje opakovaně již delší dobu, ale v souvislosti se zrušením vojenského újezdu v lokalitě nabývá opět na aktuálnosti. Tento projekt je plánován jako suchý poldr. (Povodí Vltavy 2015)

4.8 Ekologický stav vodních toků

Podle údajů z HEIS VÚV vykazují toky v povodí Klabavy buďto ekologický střední stav, poškozený stav, nebo zničený stav. Střední stav vykazují z hodnocených toků Skořický potok, Holoubkovský potok a Klabava od pramene po soutok s Holoubkovským potokem. Voldušský potok po celé délce svého toku je hodnocen jako poškozený. Jako zničený je hodnocen stav Klabavy od soutoku s Holoubkovským potokem po ústí do Berounky. Chemický stav je u všech toků v povodí hodnocen jako dobrý. Katalog evidencí ISVS-VODA vedených VÚV TGM (2016) uvádí ke stavu vod: „*Stavem povrchových vod se podle vodního zákona rozumí obecné vyjádření stavu útvaru povrchové vody určené ekologickým nebo chemickým stavem, podle toho, který je horší. Ekologickým stavem se rozumí vyjádření kvality struktury a funkce vodních ekosystémů vázaných na povrchové vody. Dobrým stavem povrchových vod se rozumí takový stav útvaru povrchové vody, kdy je jeho ekologický i chemický stav přinejmenším dobrý.*“

Z konkrétních úprav vodních toků se podařilo dohledat jen to, že v Rokycanech došlo v letech 1933-1935 k regulaci Klabavy a následně v letech 1935-1937 byl v Rokycanech regulován i Holoubkovský potok. Do té doby Klabava tekla Rokycany v neovlivněném korytě. (Hrachová et al. 2011)

5. VÝSLEDKY

5.1 Odtokové poměry

Dle Krásného et al. (1982) lze povodí Klabavy dle výše základního odtoku (určován v hodnotách specifického odtoku podzemní vody) rozdělit na dvě části. Pramenná část (přibližně po okolí Strašic) vykazuje střední výši základního odtoku ($2-3 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$), zatímco střední a dolní tok nízký základní odtok ($1-2 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$). Dále pramenná část vykazuje základní odtok ve výši 10 % spadlých srážek. Zvodněný systém uplatňující se při základním odtoku je v celém povodí Klabavy značen jako *jednokolektorový tvořený nespojitým kolektorem přípovrchové zóny zvětralin a rozevřených puklin krystalinických hornin nebo zpevněných sedimentů* (Krásný et al. 1982). V povodí Klabavy jsou značeny dva spojitě průlinové kolektory. K proudění podzemní vody dochází v přípovrchové zóně zvětralin a rozevřených puklin zasahujících do hloubek maximálně několika desítek metrů. Tento jev je charakteristický pro celou platformu Českého masivu a regionální rozdíly jsou dány především morfoloickými a klimatickými poměry.

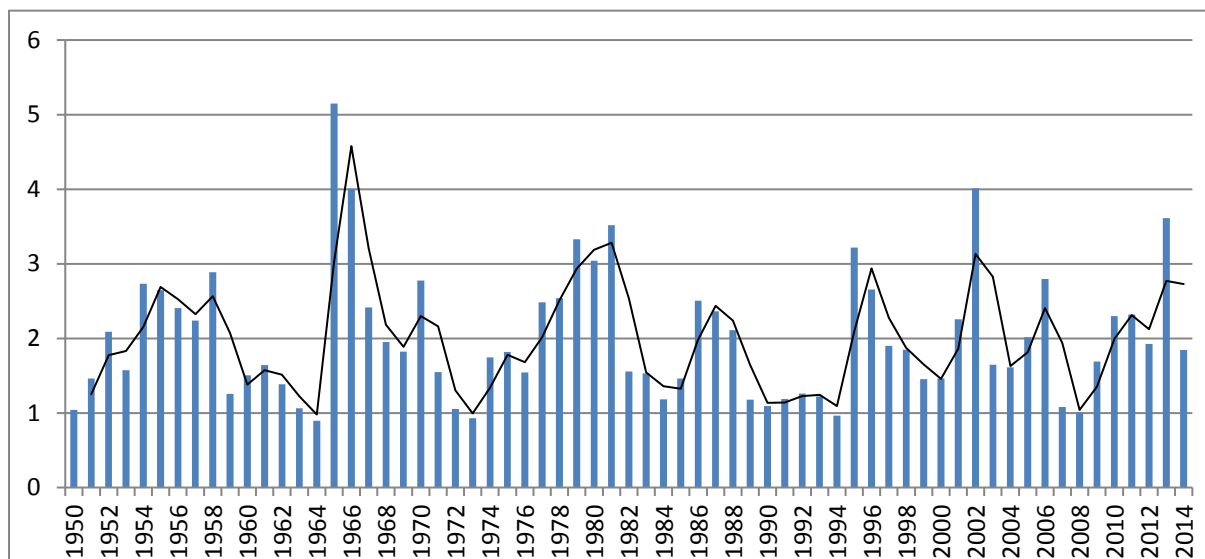
Pro srovnání nejvyšší partie Šumavy, Krkonoš a například Jizerských hor mají specifický odtok podzemní vody v okolí hodnoty $10 \text{ l/s}\cdot\text{km}^2$. (Krásný et al. 1982)

Další odtokové charakteristiky byly vypočítány na základě dat ze stanice Nová Huť za období 1950-2014. Tato data, jak již bylo zmíněno v kapitole 2 obsahují denní průměrné průtoky a z nich byly ostatní hodnoty odvozeny.

Dlouhodobý průměrný průtok Klabavy ve stanici Nová Huť (poslední před soutokem s Beroukou) je $2,15 \text{ m}^3/\text{s}$. Specifický odtok činí $5,76 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{km}^{-2}$.

5.1.1 Charakteristiky ročních průtoků

Graf 5.1 – Průměrné roční průtoky



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Ačkoliv dlouhodobý průměr průtoků Klabavy se drží nemnoho nad hodnotou dvou metrů krychlových za vteřinu, za dobu měření průtoků na Klabavě od roku 1950 lze vypočítat rozdíly v průměrném ročním průtoků, tedy přeneseně množství vody, které odteklo za daný rok. Při zohlednění průměrných ročních průtoků v profilu Nová Huť dospějeme k výše uvedenému grafu. Už z tohoto grafického znázornění je zřejmé, že rozdíly mezi jednotlivými roky mohou být význačné. Rozdíly v jednotlivých letech jsou zapříčiněny především rozdílnými podmínkami pro vznik odtoku, hlavně srážkami, kapalnými i sněhovými. Tento graf z hlediska dlouhodobého trendu vykazuje konstantní vývoj, jelikož při proložení regresní přímkou (v MS Excel) je nám vrácena přímka prakticky konstantní. Z toho důvodu tato přímka v grafu ani není zobrazena. Při pohledu na vygenerovaný graf je však možno vysledovat trend ve střídání počtu více a méně vodných roků. Zatímco v první polovině sledovaného období jsou období zvýšených průtoků a méně vodných roků střídána zhruba s periodou pěti let, v devadesátých letech se trend zrychlil a střídání vodných a méně vodných roků probíhá častěji.

Při bližším pozorování se ukazuje, že nejvíce vody odteklo Klabavou v roce 1965, dokonce více než v roce 2002, který byl silně ovlivněn extrémní povodňovou epizodou. Mezi nejméně vodné roky patří roky 1950, 1964, a 2007. Pro přesnější hodnocení vodnosti jednotlivých roků se využívá pravděpodobnosti překročení s výsledkem v procentech,

případně doba opakování počítaná v rocích. Těchto metodik je v literatuře (např. Dub 1963) uváděno více (Hazen, Weibull, Čegodajev, Gringorten) a liší se především konkrétním vzorcem počítajícím dané veličiny. Pro účely této práce bylo využito metodiky Čegodajeva, který pravděpodobnost překročení určuje podle následujícího vzorce:

$$P = [(m - 0,3) / (n + 0,4)] * 100,$$

kde m je pořadí daného hydrologického roku v sestupné řadě podle vodnosti, n je počet členů řady, tedy let pozorování. K pravděpodobnosti překročení následně slovně dodává komentář k jejich vodnosti a rozděluje tak roky podle vodnosti do pěti kategorií:

Tab. 5.1 – Míry vodnosti

P (%)	Míra vodnosti	zkratka
0-10	Mimořádně vodný rok	MV
11-40	Vodný rok	V
41-60	Průměrně vodný rok	P
61-90	Málo vodný rok	S
91-100	Mimořádně málo vodný rok	MS

Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Následující tabulka 5.2 uvádí mimořádně vodné a mimořádně málo vodné roky na Klabavě pro sledované období. V této tabulce jsou roky seřazeny od nevíce vodného po nejméně vodný. Nejnížší množství odteklé vody tak připadá na rok 1964, nejvyšší množství naopak pro rok 1965. Za zmínku jistě stojí období 1963-1966, kdy nejprve nastaly dva mimořádně málo vodné roky a následně dva mimořádně vodné toky a v letech 1964 a 1965 bylo dosaženo dokonce obou extrémů v ročním odtoku.

Při zjišťování doby opakování (počítaná jako $N=100/P$) vyšlo najevo, že rok alespoň tak vodný jako rok 1965 se objeví v průměru jednou za 93 let, naopak hodnota roku 1964 je překročena takřka každý rok. Rok 2013 s druhou nejvyšší dobou opakování má tuto hodnotu zhruba 38 let.

Tab. 5.2 – Mimořádně vodné a mimořádně málo vodné roky

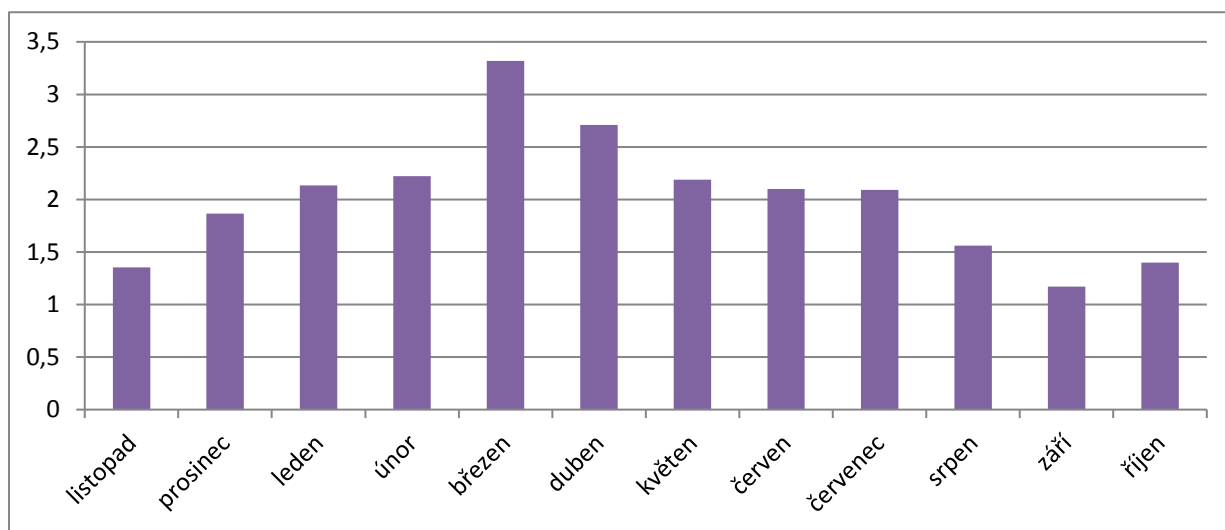
míra vodnosti	rok	Q _r (m ³ /s)	P (%)	míra vodnosti	rok	Q _r (m ³ /s)	P (%)
MS	1964	0,83	98,93	MV	1981	3,12	8,72
MS	1950	0,84	97,40	MV	1980	3,30	7,19
MS	2007	0,91	95,87	MV	2002	3,54	5,66
MS	1993	1,00	94,34	MV	1966	3,89	4,13
MS	1973	1,04	92,81	MV	2013	4,05	2,60
MS	1963	1,05	91,28	MV	1965	5,01	1,07

Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

5.1.2 Měsíční a sezónní průtoky

Nejsnadnější způsob vedoucí ke zjištění, jak je rozložen odtok z území v průběhu roku poskytují průměrné měsíční průtoky. Hlavním důvodem k rozdílným hodnotám v jednotlivých měsících je výskyt srážek během roku a režim v tání sněhové pokrývky. Na obrázku je znázorněn dlouhodobý průměr za jednotlivé měsíce v průběhu roku. Nejvíce vody zpravidla odtéká Klabavou v březnu, což bude zapříčiněno především táním sněhové pokrývky, která mnohdy odtává a odtéká ještě v dubnu, hlavně z vyšších partií Brd. Nejnižších odtokových hodnot bývá dosahováno v září především vlivem absence většího množství srážek, které by řeku mohly dotovat vodou. V zimních měsících bývá dosahováno též celkem stabilně spíše nadprůměrných hodnot, nejspíše vlivem dešťových srážek i sněhových, které následně i v průběhu zimy tají. Oproti mnohým jiným tokům v České republice nelze vypořádat v měsíčním rozdělení podružné letní maximum z cyklonální činnosti.

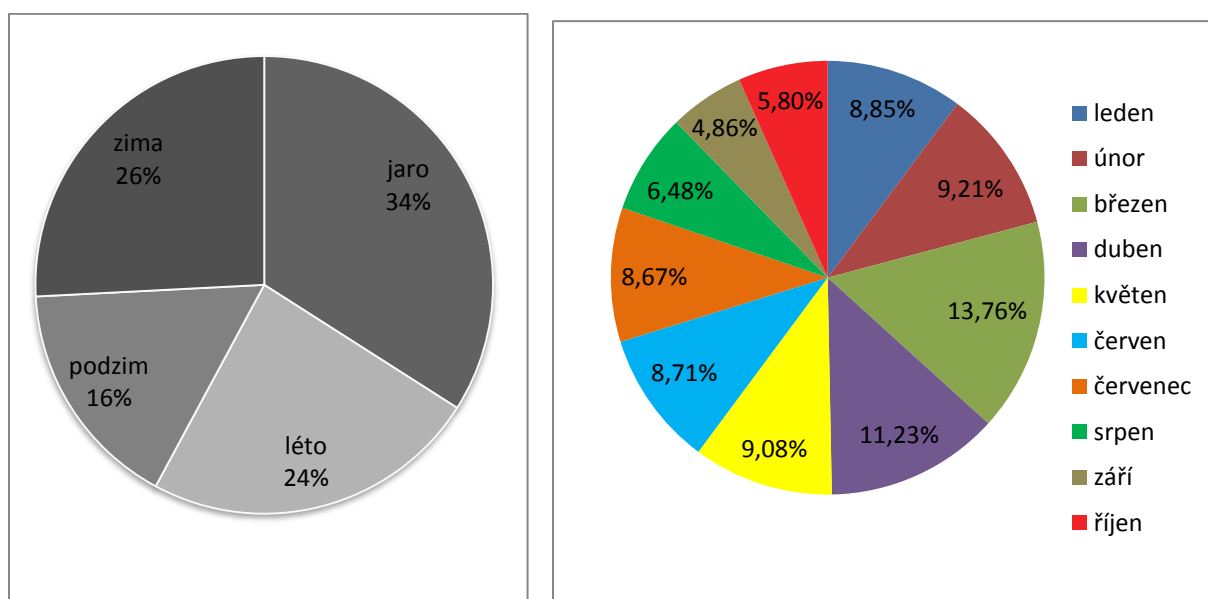
Graf 5.2 – Průměrné měsíční průtoky za období 1950-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Pro přehlednější představu o rozložení průtoku podle jednotlivých měsíců bývá využíváno procentuálního zastoupení měsíců na ročním odtoku. Takové znázornění na grafu 5.3 nám potvrzuje výsledky z absolutních hodnot v grafu výše. Ukazuje se, že v březnu odečte obvykle necelých 14 % celoroční hodnoty, naopak na září připadá ani ne 5 % celkové sumy. Jarní tání tedy má na odtoku významný podíl, neboť ze srážkových výstupů vychází, že nejvíce srážek na povodí Klabavy spadne v letních měsících. Podíl březnových srážek na celkovém úhrnu je totiž jen 6,6 % oproti téměř čtrnácti procentům podílu na odtoku.

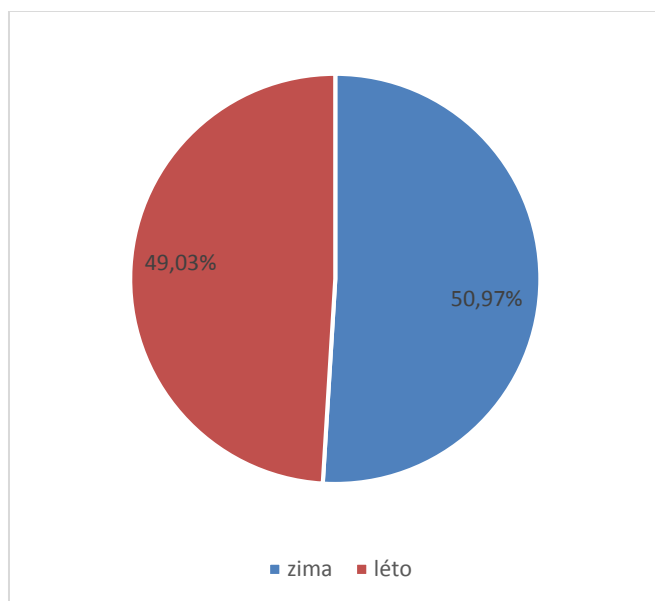
Graf 5.3 – Průtoky dle ročních období a měsíců za období 1950-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Z hlediska podílu ročních období na odtoku vody je Klabava (profil Nová Huť) mírně rozkolísaná (roční období s největším podílem zastoupení na ročním odtoku má tento podíl v mezích 30-50 %). Nejvíce vody odtéká v průměru na jaře a následně v zimě a v létě. Naopak nejnižších průtoků dosahuje Klabava v podzimním období. Jarní průtoky jsou sice nejvyšší, ovšem celkový podíl není vysoký natolik, aby mohlo být rozdělení označeno za rozkolísané.

Graf 5.4 – Podíl sezónního rozdělení odtoku



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Při pohledu na celkové rozložení odtoku na grafu 5.4 s rozlišením zimního a letního období je zřejmé, že přibližně odteklo v létě i v zimě stejné množství vody. Za zimní měsíce jsou považovány měsíce od října do března, za letní duben až září. Ve prospěch zimy zjevně hraje ten fakt, že březen je považován ještě za zimní měsíc, a tak především jeho vlivem je právě v zimě nepatrně vyšší odtok.

Ke kvantifikaci a lepšímu porovnání rovnoměrnosti rozložení odtoku v měsících během roku bývá využíván například koeficient K_r , který je výsledkem vzorce:

$$K_r = \frac{\sum |p_i - 8,3|}{8,3},$$

kde p_i je procentuální podíl jednotlivých měsíců na ročním odtoku a hodnota 8,3 je ideální vyrovnaný stav, kdy by každý měsíc odteklo 8,3 % ročního odtoku. Pro hodnocené období vychází $K_r = 2,7$, přičemž hodnota 0 by znamenala ideálně vyrovnaný odtok, zatímco

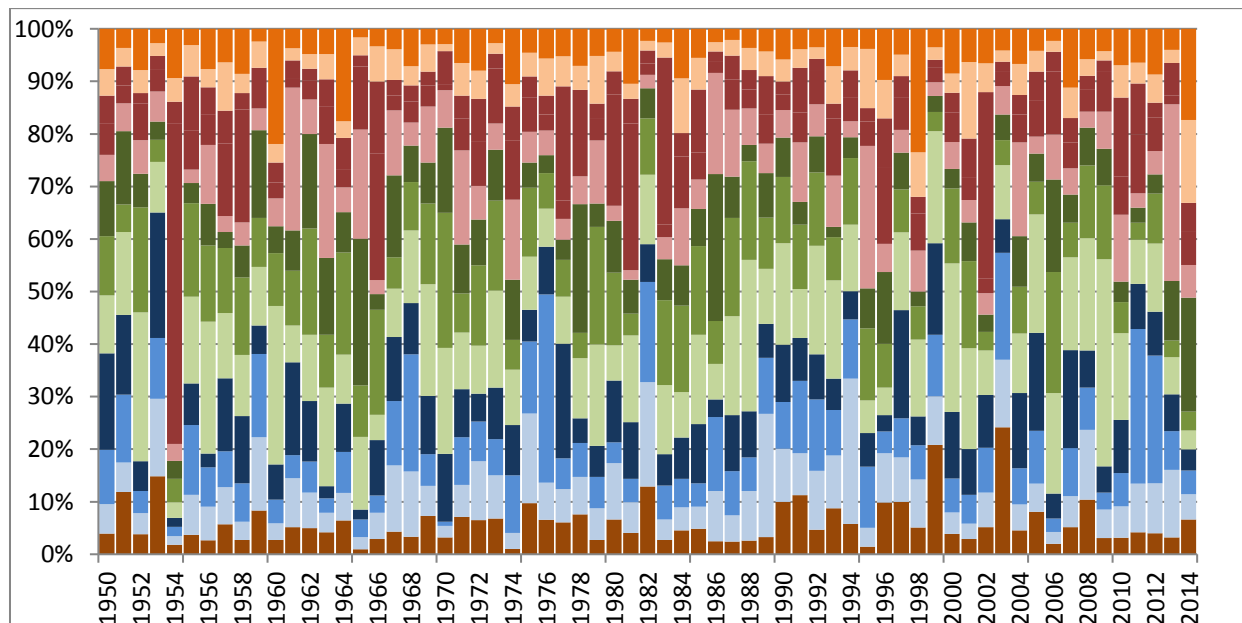
nejvyšší teoretická hodnota, kdy všechna voda odeče v jediném měsíci by vycházela 22. Z toho důvodu tedy lze Klabavu označovat za řeku s celkem vyrovnaným odtokem.

Dalším nástrojem pro určení vyrovnanosti odtoku je variační koeficient jako podíl, kde čitatelem je směrodatné odchyly měsíčních průměrů od dlouhodobého průměru a jmenovatelem dlouhodobý průměr. Tento koeficient tak pracuje se všemi měsíčními průtoky. Vyšší hodnoty vychází pro soubory s větší variabilitou. Pro Klabavu vychází hodnota $C_v = 0,99$, což opět stejně jako koeficient K_r hovoří pro vcelku vyrovnaný režim odtoku. (Dub 1963)

Z jednotlivých měsíců vychází nejvyšší variační koeficient a tím i variabilita souboru pro červenec a podobně vysoké hodnoty mají i ostatní letní měsíce červen a srpen. Pravděpodobná příčina bude v častých konvektivních srážkách, které bývají velmi nevyrovnané v čase i prostoru. Nejnižší hodnoty naopak vykazuje březen a dále ještě nízké hodnoty vychází pro říjen a únor, tedy spíše měsíce chladného půlroku.

Graf 5.5 zobrazuje pro každý hydrologický rok podíl jednotlivých měsíců z odtoké vody. Zimní měsíce jsou znázorněny modře, zeleně jsou jarní měsíce, léto je znázorněno červenou barvu a podzim je reprezentován oranžově až hnědě.

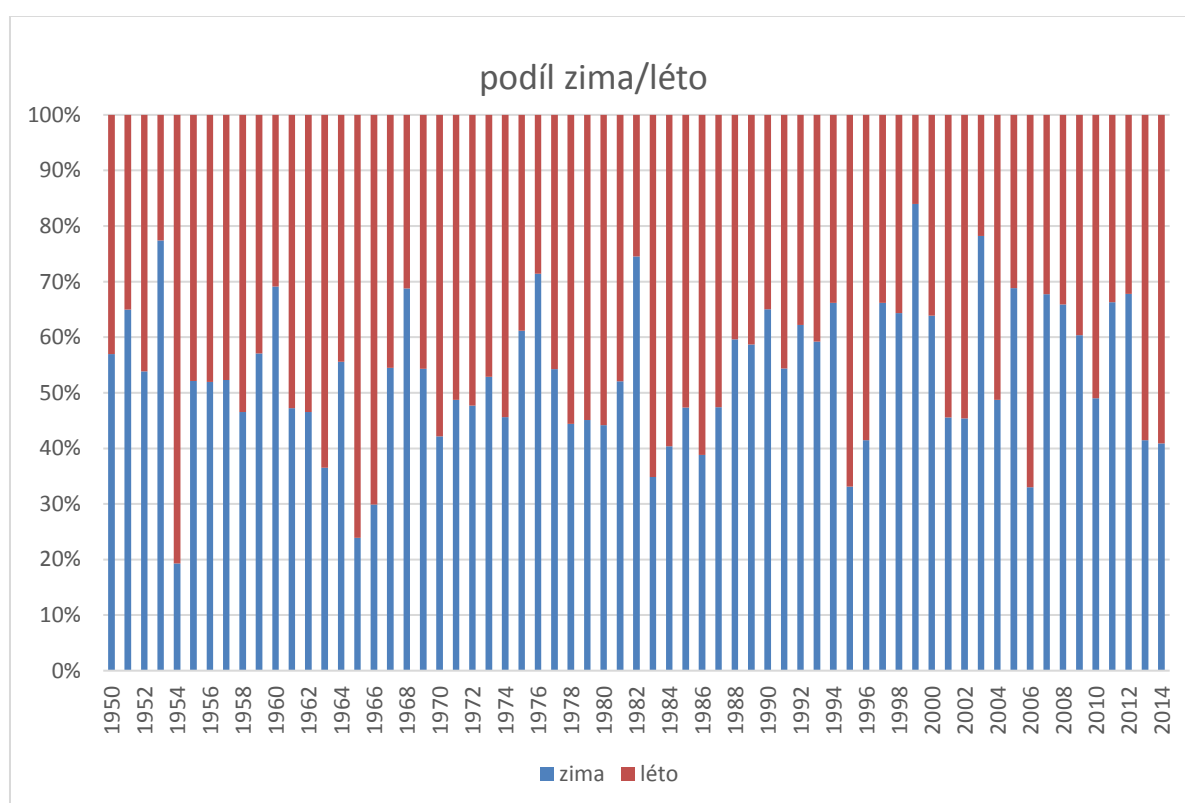
Graf 5.5 – Vývoj podílu měsíců na ročním odtoku za období 1950-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.6 zjednodušuje předchozí graf 5.5 a zohledňuje jen rozdělení na letní a zimní měsíce. V tomto případě lze vyzorovat velkou variabilitu, ačkoliv v mírně větším počtu případů připadá větší odtok na zimní měsíce, což bývá považováno za normální u níže položených vodoměrných stanic. Trend vyššího odtoku v zimních měsících je patrný zhruba od konce osmdesátých let, kde výrazně vyšší odtok nastává v zimních měsících. Konkrétně od roku 1988 nastává dvakrát více let, kdy je odtok výraznější v chladném půlroce než v teplém půlroce (18 ku devíti).

Graf 5.6 – Vývoj podílu chladného a teplého půlroku na ročním odtoku



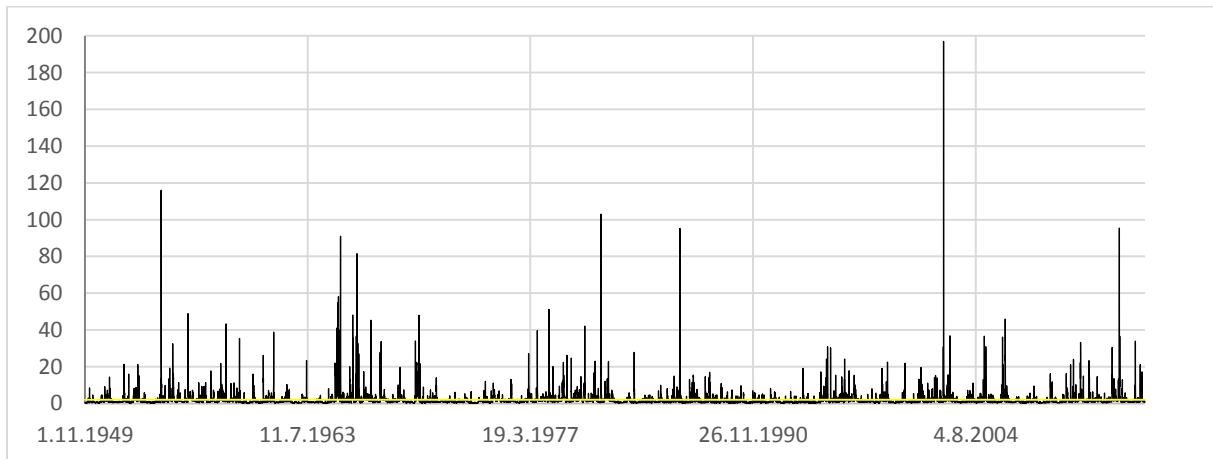
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

5.1.3 Charakteristiky denních průtoků

Maximální průměrný denní průtok byl na Klabavě zaznamenán 13.8.2002 na hodnotě 197 m³/s a tohoto dne byla též dosažena nejvyšší okamžitá hodnota průtoků na Klabavě (259 m³/s). Nejnižší průměrný stav měla Klabava v roce 1973, kdy v srpnu, září i listopadu (27.8., 30.8., 30.9., 17.11., 20.11.) bylo dosaženo průtoků 0,02 m³/s a rok 1973 je též hodnocen jako pátý nejméně vodný za sledované období.

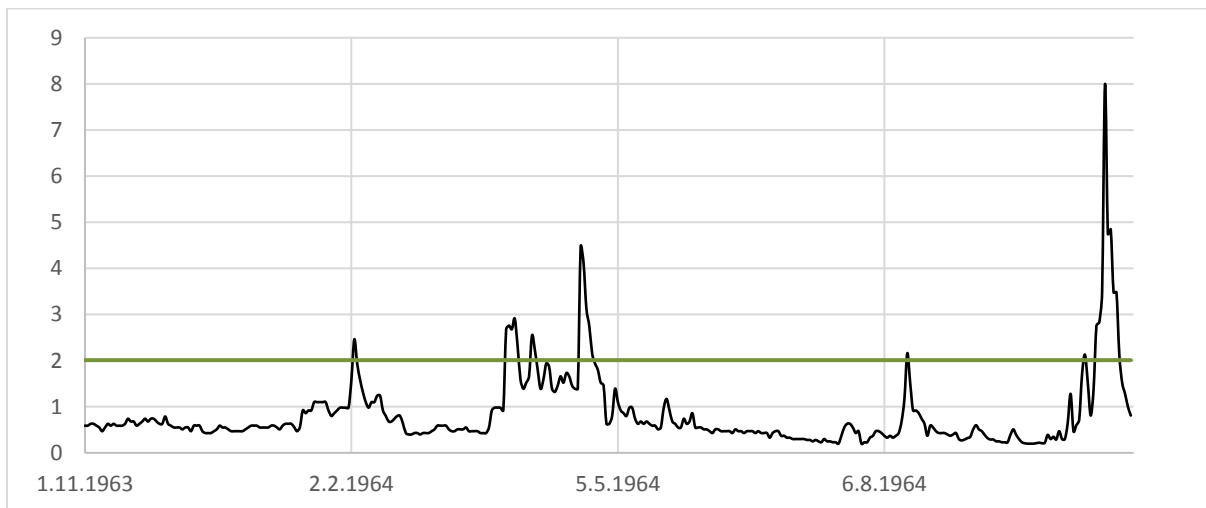
Denní průměrné průtoky za období 1949-2014 byly sestrojeny hydrogramy obsahující hodnoty za celé pozorované období. Na základě charakteristiky ročních průtoků byly následně vybrány tři roky. Nejprve rok 1964 jakožto rok s nejnižší vodností, následně rok 1965 jakožto rok naopak s nejvyšší vodností a nakonec rok 1969, který je mediánem (prostředním členem) v řadě roků seřazených dle vodnosti.

Graf 5.7 - Denní průtoky za období 1950-2014



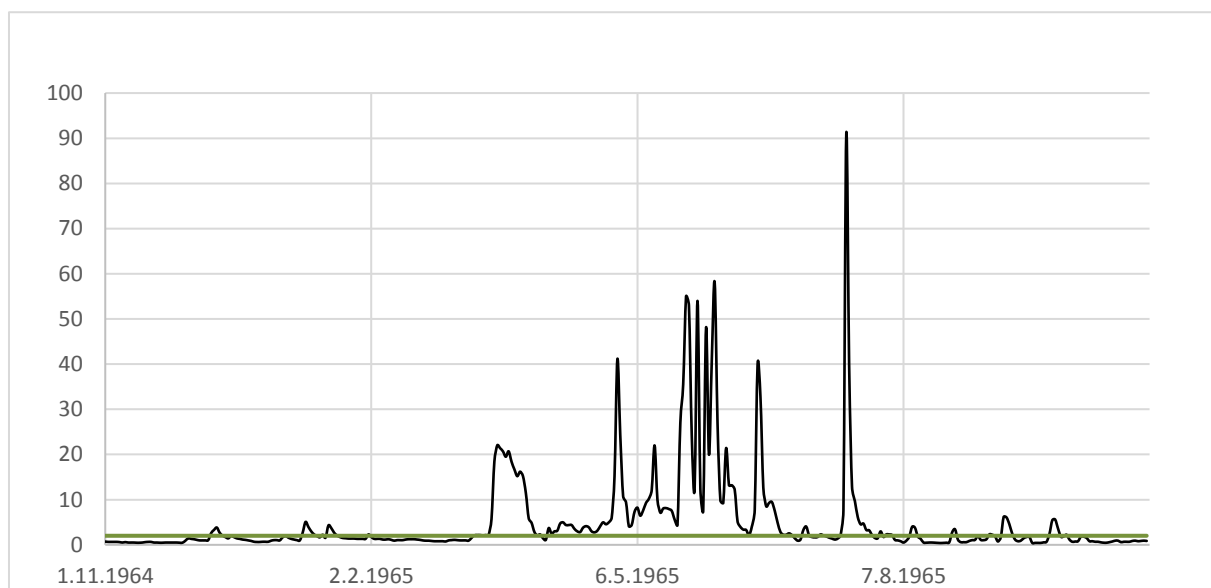
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.8 - Denní průtoky v mimořádně málo vodném hydrologickém roce 1964



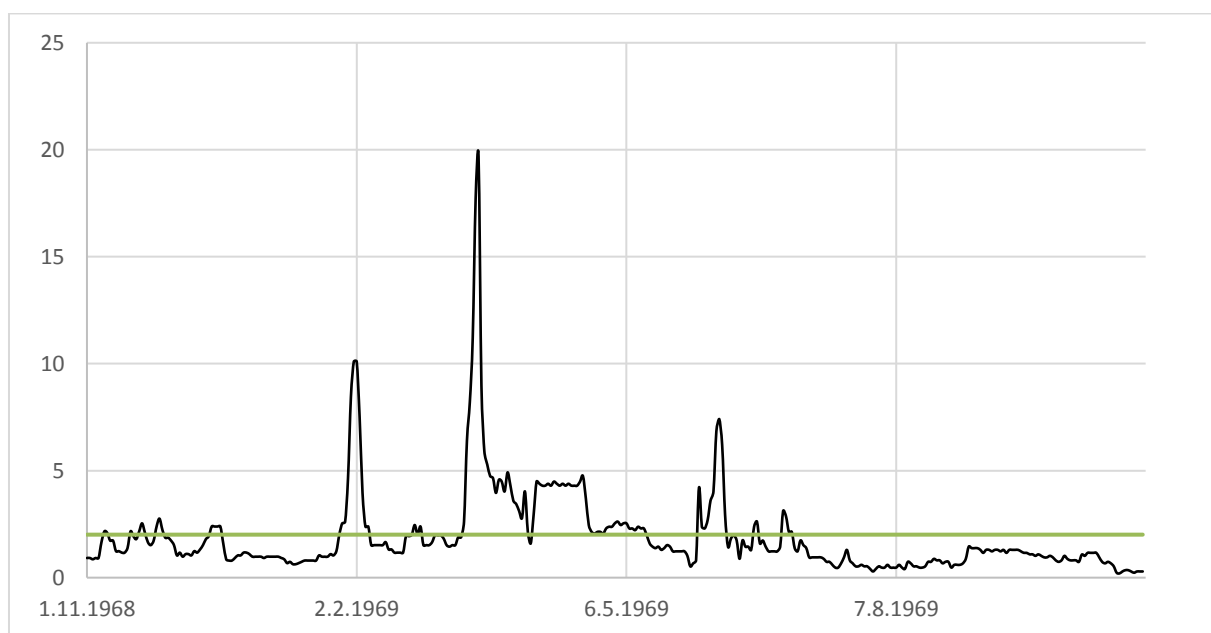
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.9 – Denní průtoky v mimořádně vodném hydrologickém roce 1965



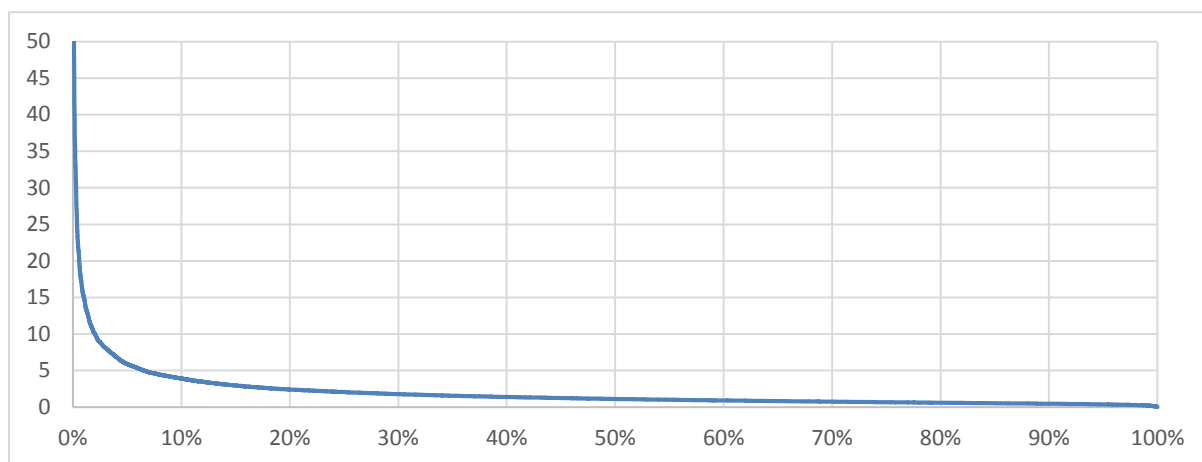
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.10 – Denní průtoky v průměrně vodném hydrologickém roce 1969



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.11 – Čára překročení



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Další využívanou metodou je čára překročení, která byla opět zkonstruována za celé sledované období a určuje v procentech zastoupení dní, po které je překročen daný průtok. Obdobné veličiny zobrazuje též tabulka M-denních průtoků, která zobrazuje průměrný počet dní, po který je překročen daný vodní stav. Z této tabulky můžeme vidět, že průtok 2 m³/s bývá překročen v průměru jen zhruba 90 dní v roce.

Tab. 5.3 - M-denní průtoky pro stanici Nová Hut' za období 1950-2014 v m³/s

Q ₅	Q ₃₀	Q ₆₀	Q ₉₀	Q ₁₂₀	Q ₁₅₀	Q ₁₈₀	Q ₂₁₀	Q ₂₄₀	Q ₂₇₀	Q ₃₀₀	Q ₃₃₀	Q ₃₅₅	Q ₃₆₄
12,7	4,38	2,76	2,09	1,66	1,36	1,14	0,96	0,8	0,693	0,58	0,47	0,32	0,14

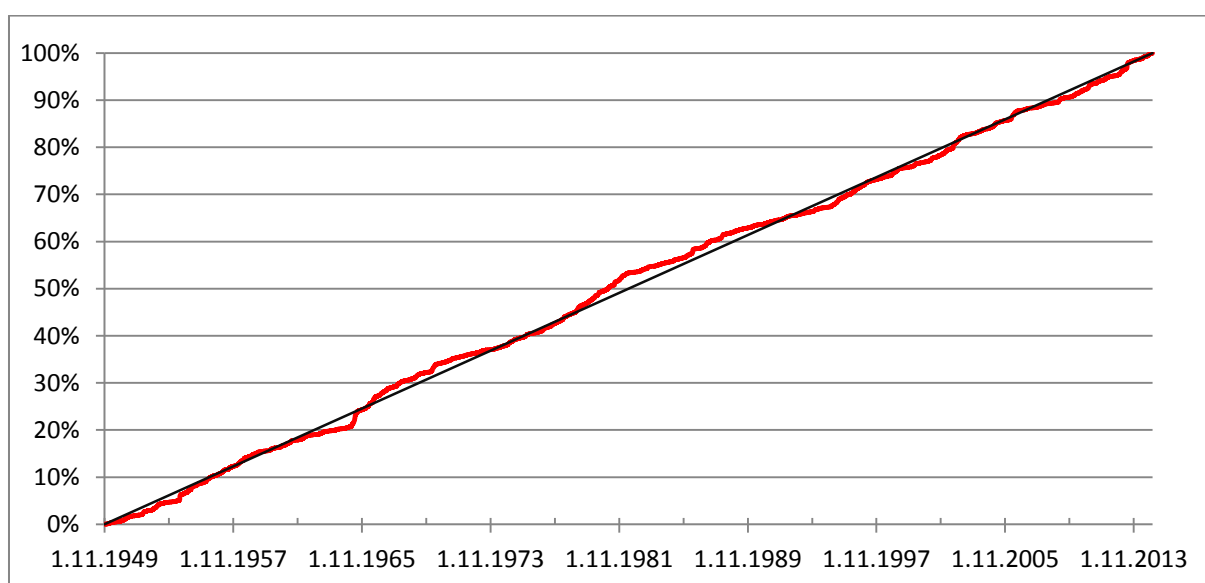
Zdroj dat: ČHMÚ, vypočteno v MS Excel

5.2 Změny ve srážkoodtokovém trendu

5.2.1 Absolutní homogenita

Jako první metoda k určení absolutní homogenity v časových řadách byla zvolena jednoduchá součtová čára. Tato metoda byla použita pro data denních průtoků za celé období pozorování, následně pro roční průtoky, roční srážky a minimální roční průtoky. Jednoduché součtové čáry byly dále využity jako kontrola u řad, které Mann-Whitney-Pettitův test označil jako nehomogenní.

Graf 5.12 - Kumulativní řada denních průtoků za hydrologické roky 1950–2014

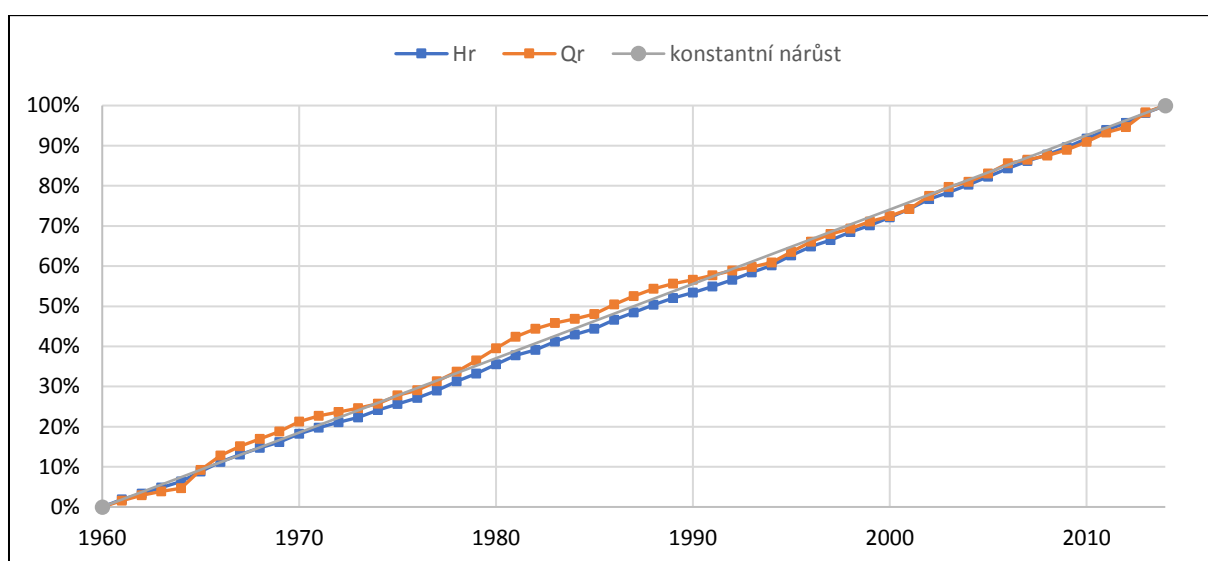


Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Řada kumulativních denních průtoků pro profil Nová Huť za celou dobu měření umožňuje zobrazení případných abnormalit křivky v místech, kde dochází k velkým skokům, změnám ve sklonu. Takovýchto abnormalit se na předkládané křivce nachází více, ačkoliv se křivka od lineárního trendu obecně příliš nevzdaluje. K poklesu odtoku dochází hned na začátku padesátých let, s výrazným zvětšením v roce 1954. Ještě výrazněji se podobný efekt projevuje v polovině šedesátých let, kdy nejprve dochází k poklesu odtoku a následně v roce 1965 dochází k velkému skoku v odtoku a až do roku 1973 dochází ke zvýšenému odtoku. Následně i na počátku osmdesátých let dochází ke zvýšení odtoku. Od poloviny devadesátých let již křivka nevykazuje výrazný nárůst či úbytek odtoku.

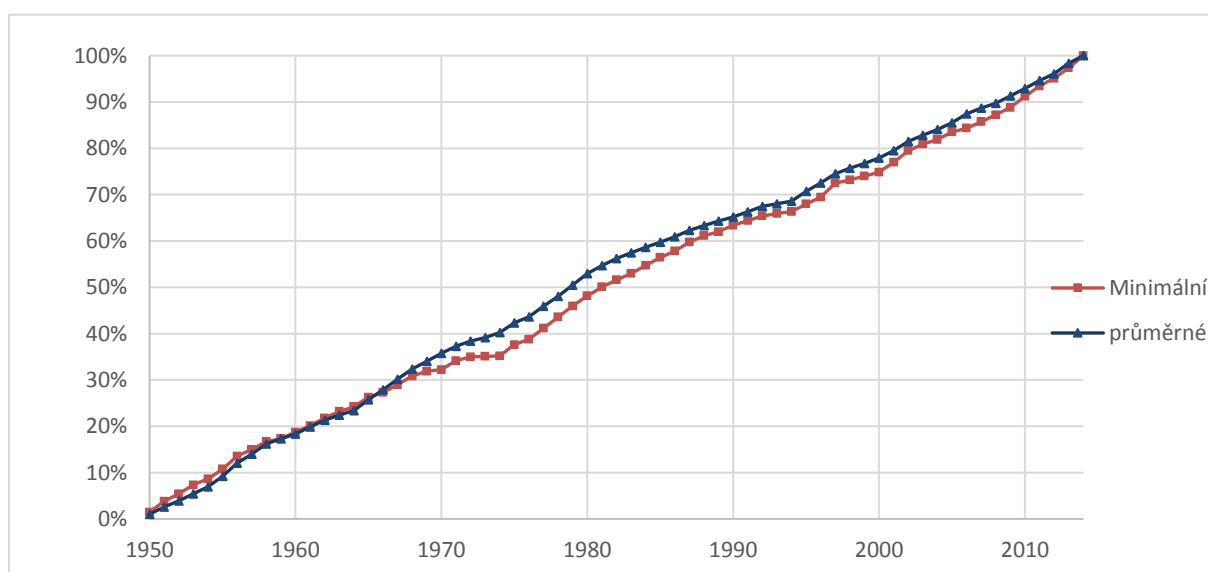
Jednoduchá součtová čára pouze pro průtoky nám nedává dostatek informací o možných změnách ve srážkoodtokovém trendu. Proto byly dále sestrojeny jednoduché součtové čáry s ročními srážkami a průměrnými ročními průtoky (graf 5.13). Tyto součtové čáry byly sestrojeny jen pro období 1961-2014, pro které jsou k dispozici srážková data. Na předkládaném grafu je vidět, že čára ročních srážek je oproti průtokům značně rovnoměrnější a více se blíží přímce. Velké rozdíly jsou patrné v osmdesátých letech, kde dochází ke značnému nárůstu odtoku. Druhým vrcholem v odtoku je počátek sedmdesátých let. Naopak od poloviny devadesátých let obě součtové čáry narůstají prakticky stejně.

Graf 5.13 - Jednoduché součtové řady – kumulativní řady ročních srážek a průtoků



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.14 – Jednoduchá součtová řada ročních minimálních a průměrných průtoků



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Průměrné roční průtoky mohou být do značné míry ovlivněny extrémními událostmi, proto bylo přistoupeno ke zkoumání i minimálních ročních průtoků (Kliment, Matoušková 2008). Minimální a průměrné roční průtoky se dle přiloženého grafu vyvíjí do sedmdesátých let prakticky stejně, během sedmdesátých let dochází k poklesu minimálních průtoků, který je postupně vyrovnáván v druhé polovině osmdesátých let. Od devadesátých let se již křivky vyvíjejí přibližně stejně.

Vzhledem k tomu, že součtové čáry jsou metodou převážně vizualizační a její interpretace značně subjektivní, bylo přistoupeno k testování homogenity pomocí počítačového softwaru. Absolutní homogenita byla testována v programu AnClim pomocí Mann-Whitney-Pettit testu vždy pro celé období, pro které jsou dostupná měření.

Mann-Whitney-Pettit test v posuzovaných řadách příliš mnoho nehomogenit nenalezl. Hladina významnosti testu byla zvolena na konvenční hodnotě $\alpha = 0,05$, znamenající, že pokud výsledná hodnota p-hodnoty je u dané řady nižší, je možné zamítnout nulovou hypotézu o homogenitě řady a řadu tedy považovat za nehomogenní a rok změny považovat za signifikantní. Test v průměrných měsíčních úhrnech, sezónních úhrnech, ročních úhrnech, průměrných ročních průtocích, ani měsíčních průtocích však žádné nehomogenity nenalezl. Na této hladině významnosti by bylo možné považovat za nehomogenní pouze některé měsíční řady minimálních průtoků. Konkrétně se jedná o měsíce duben, květen a srpen.

Pokud bychom hladinu významnosti zvolili vyšší, tedy $\alpha = 0,1$, situace by se poněkud změnila. U měsíčních srážek bychom mohli za nehomogenní považovat lednové úhrny, červencové hodnoty a navrch ještě i roční úhrny. Podle roku změny se však tyto nehomogenity příliš neshodují, neboť lednové hodnoty udávají rok změny 1976, červencové rok 1972 a roční úhrny rok 1995.

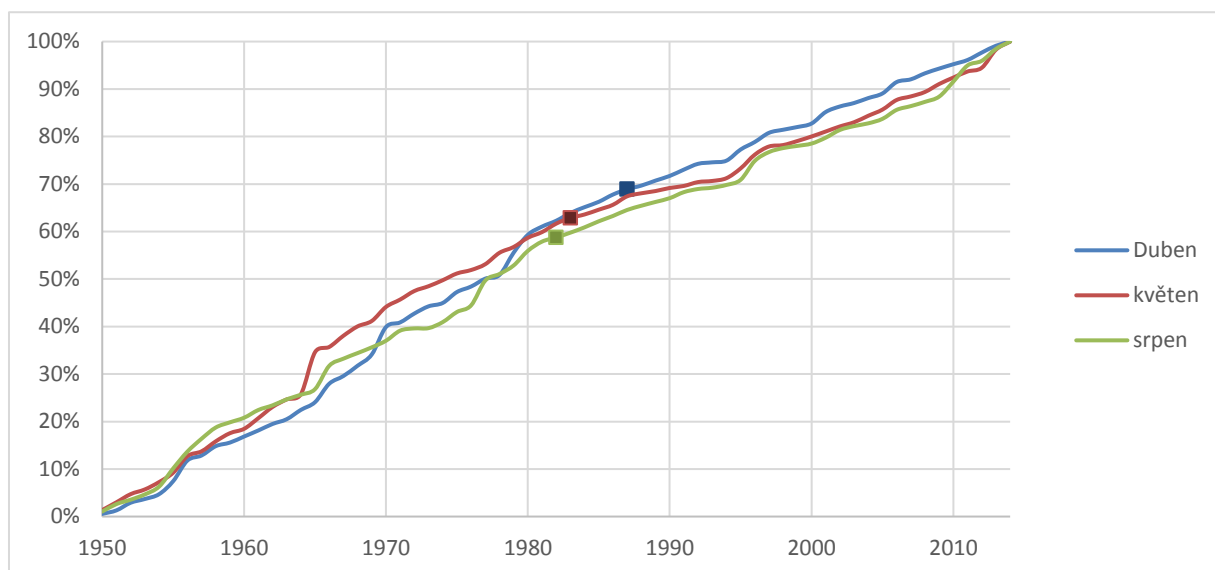
Měsíční průměrné průtoky by na hladině $\alpha = 0,1$ vykazovaly nehomogenitu v měsících duben a květen, což se shoduje s nehomogenitami minimálních průtoků. Roky změny se v tomto případě nikde neshodují, avšak za zmínku stojí, že všechny se vyskytují v osmdesátých letech, kdy zřejmě tedy mohlo dojít k jistým změnám v odtoku.

Tab. 5.4 – Výsledku Mann-Whitney-Pettitova testu absolutní homogenity

		Mann-Whitney-Pettit							Mann-Whitney-Pettit				
	časová řada	rok změny	U(k)	p(k)	N	homogenita		časová řada	rok změny	U(k)	p(k)	N	homogenita
Průměrné průtoky	Q11	1966	172	0,529	65	ano	srážkové úhrny	H11	1989	178	0,306	54	ano
	Q12	1975	276	0,194	65	ano		H12	1986	171	0,335	54	ano
	Q1	1975	214	0,373	65	ano		H1	1976	257	0,085	54	ano
	Q2	1997	148	0,624	65	ano		H2	2010	109	0,641	54	ano
	Q3	1997	208	0,394	65	ano		H3	1978	203	0,214	54	ano
	Q4	1989	368	0,054	65	ano		H4	1974	245	0,106	54	ano
	Q5	1988	348	0,074	65	ano		H5	2002	205	0,208	54	ano
	Q6	1961	144	0,64	65	ano		H6	1991	88	0,748	54	ano
	Q7	1959	182	0,49	65	ano		H7	1972	249	0,098	54	ano
	Q8	1986	154	0,6	65	ano		H8	1977	184	0,282	54	ano
	Q9	1995	196	0,438	65	ano		H9	1989	104	0,667	54	ano
	Q10	1995	326	0,102	65	ano		H10	1992	247	0,102	54	ano
	Qchlاد	1996	224	0,34	65	ano		roční H	1995	268	0,068	54	ano
	Qtepl	1989	270	0,208	65	ano		jaro	1972	187	0,27	54	ano
	Qroční	1983	160	0,576	65	ano		léto	1977	300	0,034	54	ne
	minimální průtoky	jaro	1989	250	0,261	65		ano	podzim	1989	230	0,138	54
léto		1988	180	0,498	65	ano	zima	1999	228	0,143	54	ano	
podzim		1995	324	0,104	65	ano	chlاد	1978	351	0,01	54	ne	
zima		1975	196	0,438	65	ano	tepl	1995	206	0,204	54	ano	
Q11		1996	200	0,423	65	ano							
Q12		1983	204	0,408	65	ano							
Q1		2011	204	0,408	65	ano							
Q2		1983	190	0,46	65	ano							
Q3		1984	186	0,475	65	ano							
Q4		1987	412	0,026	65	ne							
Q5		1983	490	0,006	65	ne							
Q6		1970	270	0,208	65	ano							
Q7	1995	242	0,284	65	ano								
Q8	1982	396	0,034	65	ne								
Q9	1982	216	0,366	65	ano								
Q10	1996	230	0,32	65	ano								
Qroční	2009	282	0,181	65	ano								

Zdroj dat: ČHMÚ, vypočteno v AnClim, zpracováno v MS Excel

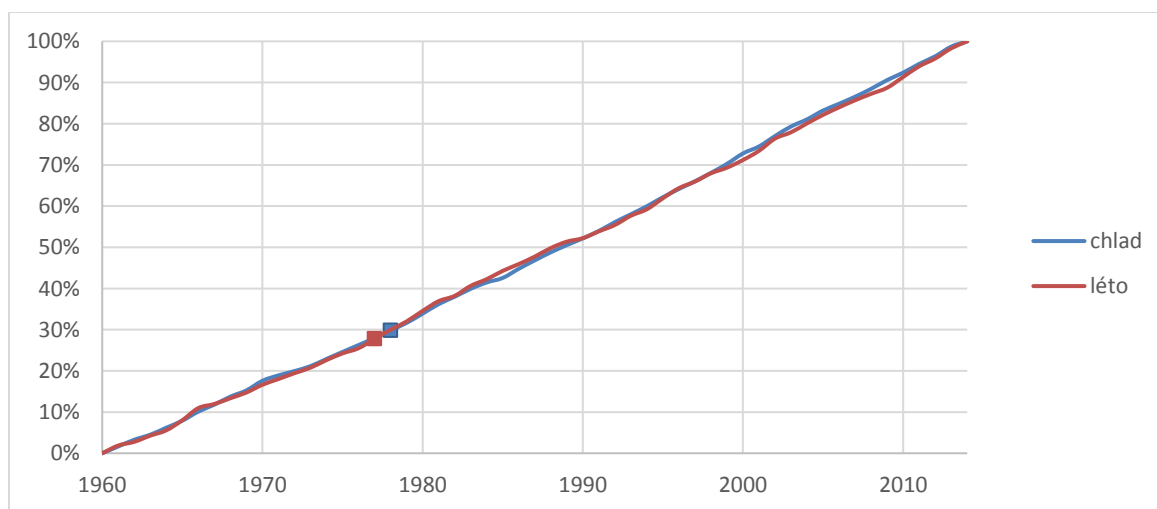
Graf 5.15 – Jednoduchá součtová čára vybraných minimálních měsíčních průtoků



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Jednoduché součtové čáry minimálních měsíčních průtoků za měsíce duben, květen a srpen, které byly označeny Mann-Whitney-Pettitovým testem za nehomogenní sice obsahují ve svém průběhu několik zlomů, avšak tyto zlomy se neshodují s roky, které označil test za roky změny. Další jednoduché součtové čáry pro výšku srážek v létě a chladném půlroce zase ve svém průběhu nevykazují takřka žádné zlomy, což tedy nepotvrzuje předpoklad o nehomogenitě.

Graf 5.16 – Jednoduchá součtová čára vybraných sezónních řad.



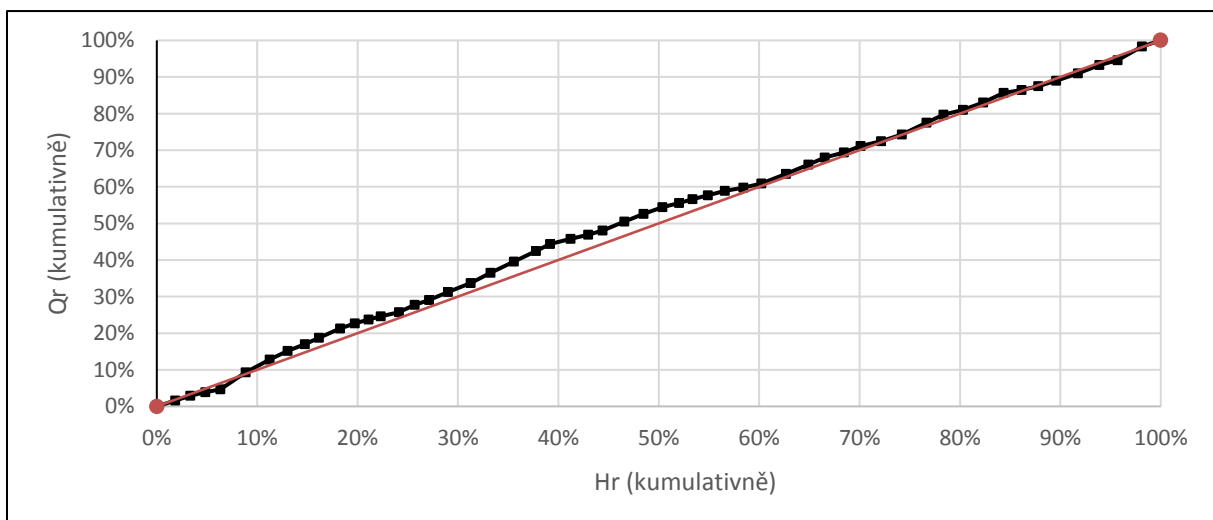
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

5.2.2 Relativní homogenita

Jak již bylo řečeno v kapitole 2, při testech relativní homogenity je porovnávána řada, u které je zjišťována homogenita s řadou, která je homogenní. Mnohdy k tomuto účelu v případě průtoků bývá využívána jiná stanice v povodí. Takto například postupoval Fiala (2014) či Ledvinka (2008). Vzhledem k tomu, že v povodí Klabavy jsou k dispozici jen dvě stanice a k tomu stanice v Hrádku má velice krátké měření, byla za referenční řadu pro zjišťování relativní homogenity zvolena vždy odpovídající řada srážkových úhrnů. Kromě metody podvojně součtové čáry byl využit i Alexanderssonův test relativní homogenity provedený v softwaru AnClim.

Opět jako úvodní způsob ke zjištění změn byla zvolena podvojná součtová čára ročních úhrnů srážek a průměrných ročních průtoků, kde na osu x byly vyneseny kumulativně roční úhrny srážek a na ose y se vyskytují kumulativně průměrné roční průtoky.

Graf 5.17 – Podvojná součtová čára za období 1961-2014



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Tato křivka opět nevykazuje příliš velké odchylky od lineárního trendu. Obdobně jako v případě jednoduchých součtových čar zde dochází k nárůstu odtoku v osmdesátých letech, kterému předchází zvýšený odtok v sedmdesátých letech. Od devadesátých let dále dochází k poklesu odtoku a vyrovnání křivky.

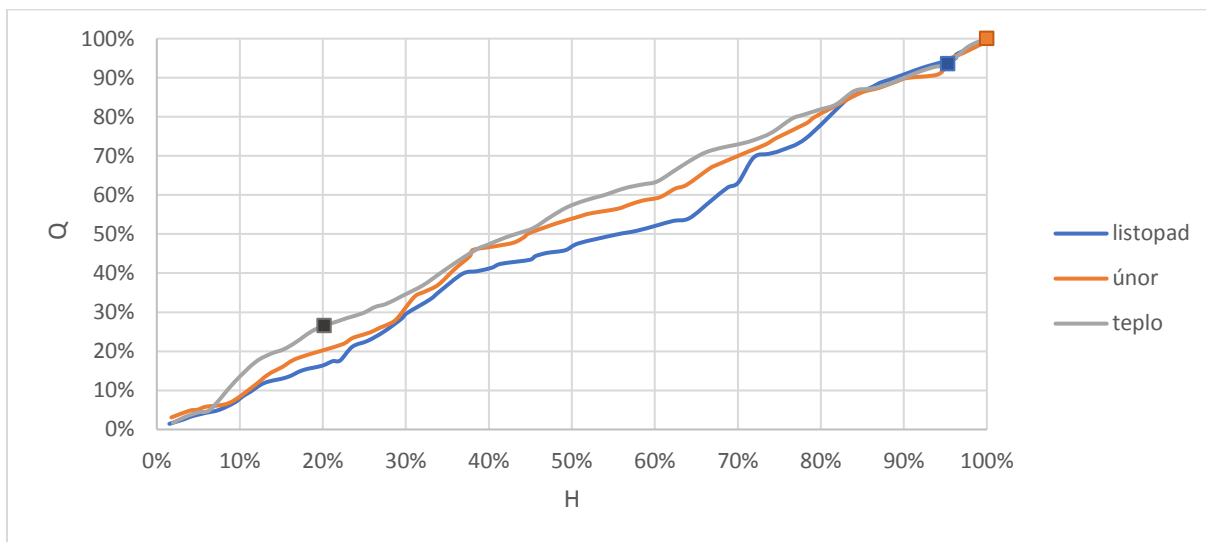
Tab. 5.5 – Výsledky Alexanderssonova testu relativní homogenity

		Alexanderssonův test					
	řada	absolutní homogenita	Rok změny	Test value	Adjust	Korelace	relativní homogenita
Průměrné průtoky	Q11	ano	2012	15,156	4,6	0,546	ne
	Q12	ano	1974	1,901	0,6	0,638	ano
	Q1	ano	2004	1,303	0,7	0,501	ano
	Q2	ano	2014	29,337	6,2	0,518	ne
	Q3	ano	1965	4,616	2,1	0,489	ano
	Q4	ano	2008	4,001	0,5	0,617	ano
	Q5	ano	1993	6,616	0,5	0,744	ano
	Q6	ano	2013	6,839	4,3	0,46	ano
	Q7	ano	1970	3,486	0,6	0,662	ano
	Q8	ano	1985	2,94	0,7	0,762	ano
	Q9	ano	1965	2,471	3,2	0,524	ano
	Q10	ano	2010	3,039	1,8	0,624	ano
	Qchlad	ano	1966	5,495	2,1	0,079	ano
	Qtepl	ano	1971	9,44	0,7	0,616	ne
	Qroční	ano	1983	5,504	0,8	0,761	ano
	jaro	ano	1989	4,541	0,8	0,737	ano
léto	ano	1968	5,961	0,7	0,736	ano	
podzim	ano	1965	3,703	1,8	0,501	ano	
zima	ano	2011	4,198	1,6	0,508	ano	
minimální průtoky	Q11	ano	2012	16,439	7,4	0,376	ne
	Q12	ano	2014	3,035	5,9	0,272	ano
	Q1	ano	1962	3,728	0,4	0,223	ano
	Q2	ano	2014	38,491	11,1	0,12	ne
	Q3	ano	2009	10,066	1,9	0,21	ne
	Q4	ne (1987)	1966	1,454	1,8	0,601	ano
	Q5	ne (1983)	1983	8,866	0,6	0,532	ne
	Q6	ano	1968	7,875	0,6	0,436	ano
	Q7	ano	2006	1,531	1,9	0,159	ano
	Q8	ne (1982)	1982	6,098	0,6	0,362	ano
	Q9	ano	1966	1,386	2,2	0,177	ano
	Q10	ano	1986	4,322	0,6	0,151	ano
Qroční	ano	2010	2,92	1,5	0,306	ano	

Řady byly následně podrobeny Alexanderssonovu testu relativní homogenity. Ačkoliv kupříkladu Ledvinka (2008) a Královec (2009) testům relativní homogenity podrobili jen řady s prokázanou absolutní nehomogenitou, byla v této práci relativní homogenita zkoumána u všech řad průtoků už jen proto, že absolutně nehomogenních řad se vyskytlo jen pár. Podobně postupoval například Fiala (2014).

Z výsledků vychází, že u průměrných průtoků byly detekovány nehomogenity pouze u tří řad, a navíc u dvou z nich se předpokládaný bod změny nachází až v samotném konci pozorování. Při pohledu na podvojně součtové čáry se možných bodů změny nachází více, nikoliv však v rocích detekovaných testem.

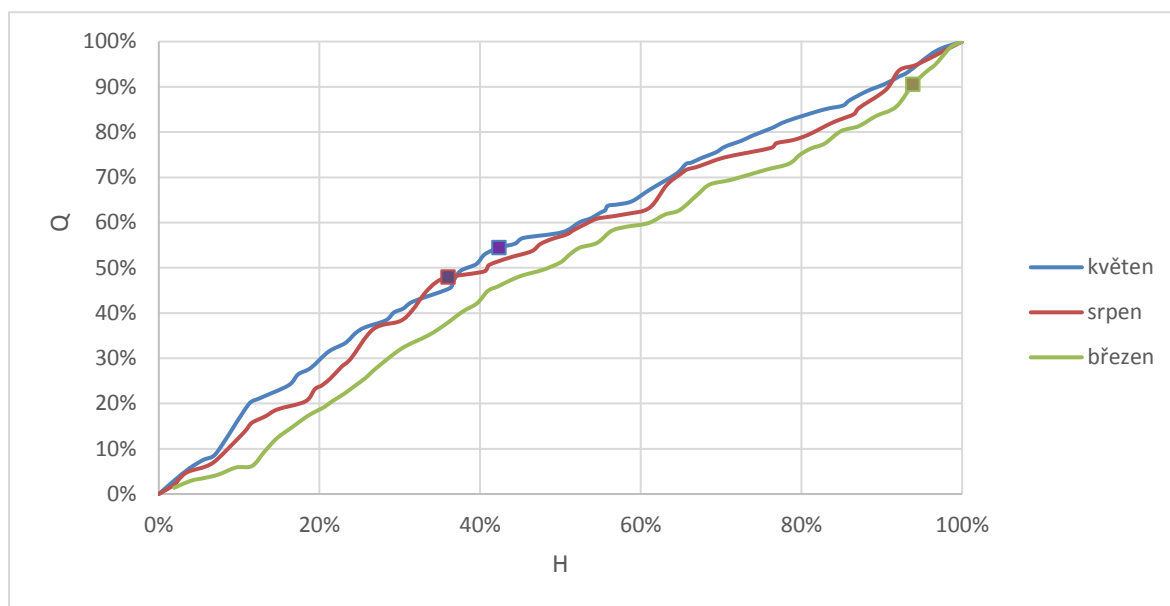
Graf 5.18 – Podvojná součtová čára vybraných měsíčních a sezónních průtoků



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

U minimálních průtoků potvrdil Alexanderssonův test nehomogenitu u minimálních květnových průtoků, naopak nepotvrdil dubnovou změnu a u srpnové absolutní nehomogenity potvrdil rok změny, ale výsledek testu neměl dostatečnou sílu pro přijetí teze o přítomnosti nehomogenity. U měsíců listopadu a února relativní homogenita minimálních průtoků kopíruje ty průměrné a opět je zde vykazována nehomogenita, dokonce ve stejných letech, které ovšem, jak je zmíněno výše, se nachází až na konci pozorování. Podobně i březnová relativní nehomogenita byla detekována až v roce 2009, tedy opět u konce řady.

Graf 5.19 – Podvojná součtová čára vybraných měsíčních minimálních průtoků



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

5.2.3 Určení trendu

K určení trendu v průtocích i srážkách byl použit Mann-Kendallův test, který byl proveden pomocí makra v programu MS Excel. U trendu nás zajímá především to, jestli lze z dat vypočítat tendenci v časových řadách, tedy jestli lze do budoucna předpokládat zvyšování či snižování jejich hodnot. Do tohoto testu vstupovaly časové řady ve své kompletní délce. Opět byla zvolena hladina významnosti 5 %, což znamená, že trend byl přijat v případě, že p-hodnota byla nižší než 0,05. Jestli se jedná o trend rostoucí či klesající je znázorněno ve sloupci MK-stat podle znaménka této statistiky.

Jak je zřejmé, u průtoků test trendy příliš neobjevil, pouze u minimálních květnových průtoků objevil nepříliš klesající trend. Opět tedy zde vystupují květnové minimální průtoky jako řada, u které dochází ke změnám. Možnost změn u této řady detekovaly i testy absolutní a relativní homogenity. Na hladině významnosti 10 % bychom mohli přijmout klesající trend u dubnových průměrných i minimálních průtoků. Nízkou p-hodnotu má ještě řada průměrných květnových průtoků, ale ne tak nízkou, abychom s jistotou mohli mluvit o trendu.

Časové řady srážek vykazují oproti průtokům více tendencí, jednak je zde patrný klesající trend u dubnových srážek, který by mohl souviset i s nepotvrzeným úbytkem odtoku v dubnu, podpořeným absolutní nehomogenitou minimálních průtoků v dubnu. Vzestupná tendence je patrná u červencových úhrňů srážek, která se patrně dále projevuje i v řadě letních úhrňů

srážek, která má též vzestupnou tendenci. A nakonec vzestupnou tendenci test odhalil i u řady srážek pro chladný půlrok. Vzhledem k tomu není překvapivé, že i roční úhrny srážek vykazují rostoucí trend, a to poměrně významně. Podobný trend v kapitole 4.6 odhalilo i jen pouhé proložení regresní přímky ročními úhrny v MS Excel.

Tab. 5.6 – Výsledky Mann-Kendallova testu pro detekci trendu

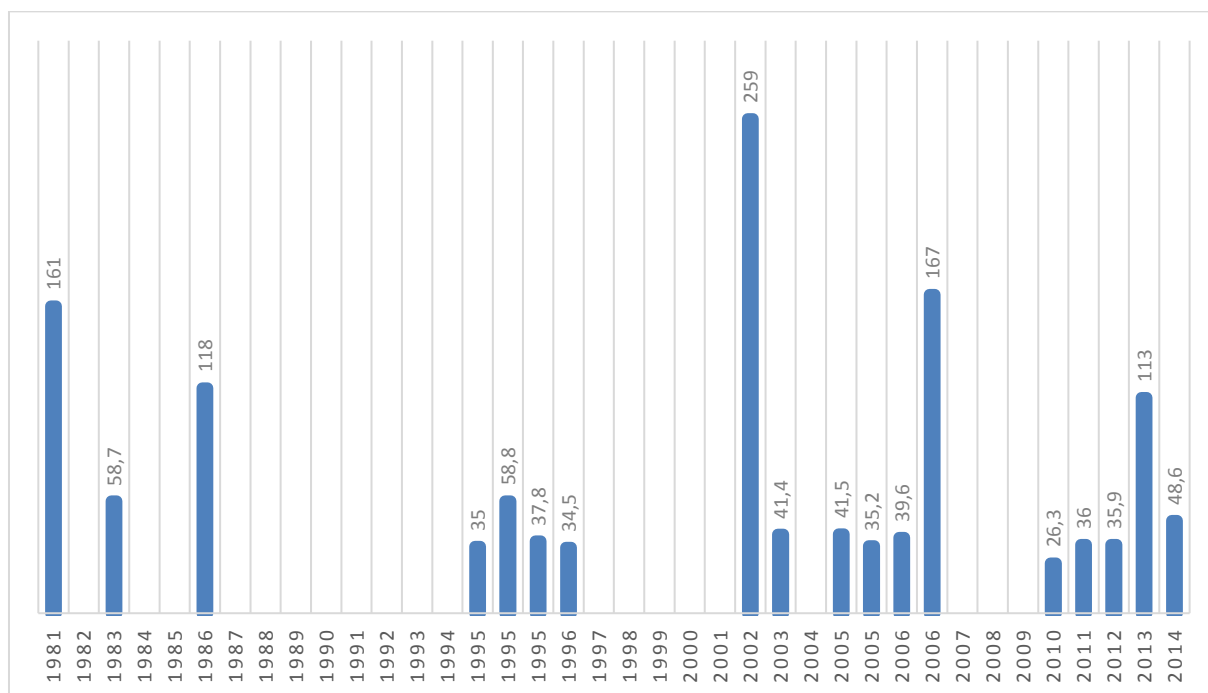
	časová řada	MK-stat	p-hodnota	Trend		časová řada	MK-stat	p-hodnota	Trend
průměrné průtoky	listopad	0,002415	0,5790		úhrny srážek	listopad	0,133333	0,3032	
	prosinec	0,005674	0,3246			prosinec	0,2	0,2794	
	leden	0,003708	0,6183			leden	0,321739	0,0611	
	únor	-0,00063	0,9099			únor	0,021111	0,8991	
	březen	0,005463	0,6425			březen	0,020741	0,8287	
	duben	-0,01258	0,0927			duben	-0,468333	0,0448	↘
	květen	-0,00683	0,1852			květen	0,1025	0,7147	
	červen	-0,0006	0,9099			červen	-0,028455	0,9346	
	červenec	0,002293	0,7003			červenec	0,841818	0,0311	↗
	srpen	0,000328	0,9549			srpen	0,508333	0,1542	
	září	0,001512	0,6344			září	0,112745	0,6172	
	říjen	0,002562	0,4969			říjen	0,293137	0,1416	
	chladný půlrok	0,032768	0,3711			chladný půlrok	1,115517	0,0051	↗
	teplý půlrok	-0,01926	0,4969			teplý půlrok	1,369222	0,2183	
	jaro	-0,00455	0,5114			jaro	-0,147407	0,6816	
léto	-0,00063	0,9009		léto	1,246491	0,0335	↗		
podzim	0,002506	0,5560		podzim	0,478889	0,1630			
zima	0,003593	0,6263		zima	0,635238	0,0611			
roční	-0,00028	0,9729		roční	2,37381	0,0464	↗		
mimimální průtoky	listopad	0,000303	0,8032						
	prosinec	0,000333	0,8120						
	leden	0,000141	0,8919						
	únor	0	0,9458						
	březen	0	0,9910						
	duben	-0,005	0,0649						
	květen	-0,00469	0,0206	↘					
	červen	-0,00174	0,2945						
	červenec	-0,00018	0,8384						
	srpen	-0,00222	0,1077						
	září	-0,00058	0,7043						
	říjen	0,000157	0,8830						
	roční min	0	0,9910						

Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

5.3 Povodňové průtoky na Klabavě od roku 1981

První, v literatuře dohledaná, povodeň proběhla na Klabavě 1579 (Hrachová et al. 2011). Data poskytnutá ČHMÚ však nesahají tak daleko do minulosti. Data obsahující maximální denní dosažené průtoky jsou k dispozici až od roku 1981. Dřívější data i přes požadavek na ČHMÚ nebyla poskytnuta z důvodu jejich nespolehlivosti. Proto v této pasáži jsou výsledky omezeny na toto časové období. Následující data na grafu 5.20 byla vybrána jako povodňové události dosahující průtoků alespoň jednoleté vody.

Graf 5.20 Povodňové průtoky na Klabavě v období 1981-2014



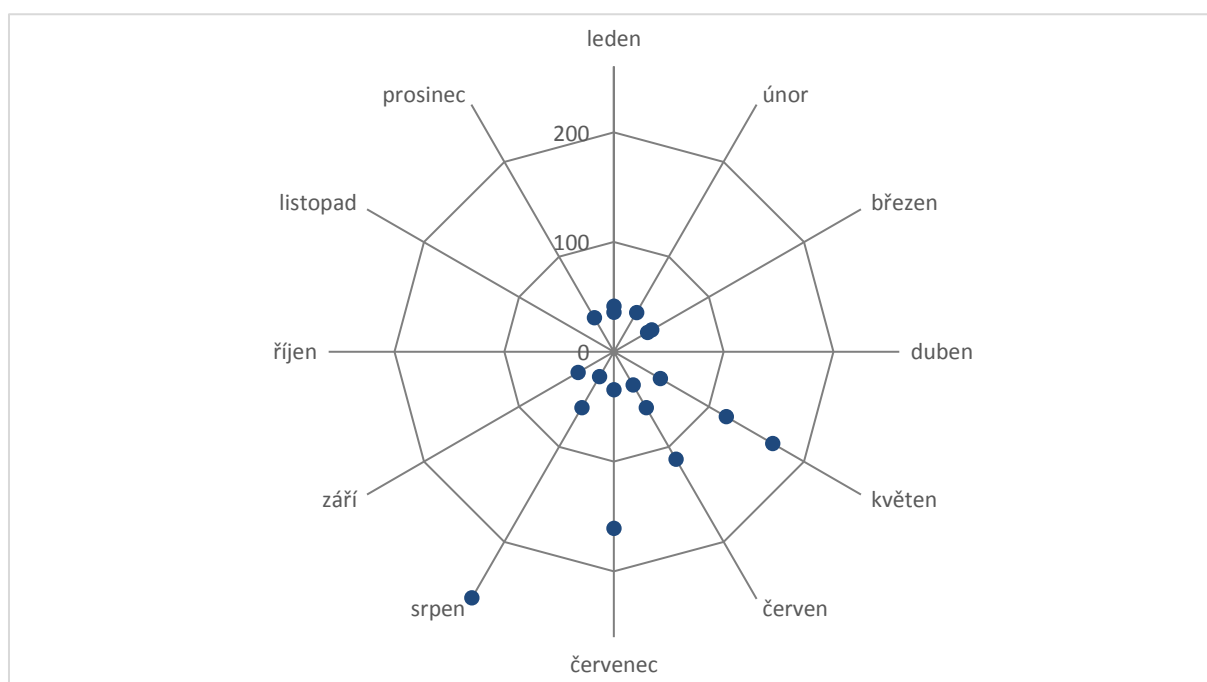
Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Za období 1981-2014 se vyskytlo 18 povodňových situací. Největší zaznamenanou povodní bez překvapení byla srpnová z roku 2002, přesto se i za tuto dobu relativně krátkého pozorování vyskytly další povodně poměrně významné extremity. Z grafu je zřejmé, že povodně se v tomto období vyskytovaly v různě velikých shlucích, které jsou od sebe vždy odděleny několika lety bez povodňových průtoků. Jedná se o shluky v letech 1981-1986, 1995-1996, 2002-2006 a 2010-2014.

5.3.1 Sezonalita a povětrnostní situace povodní na Klabavě

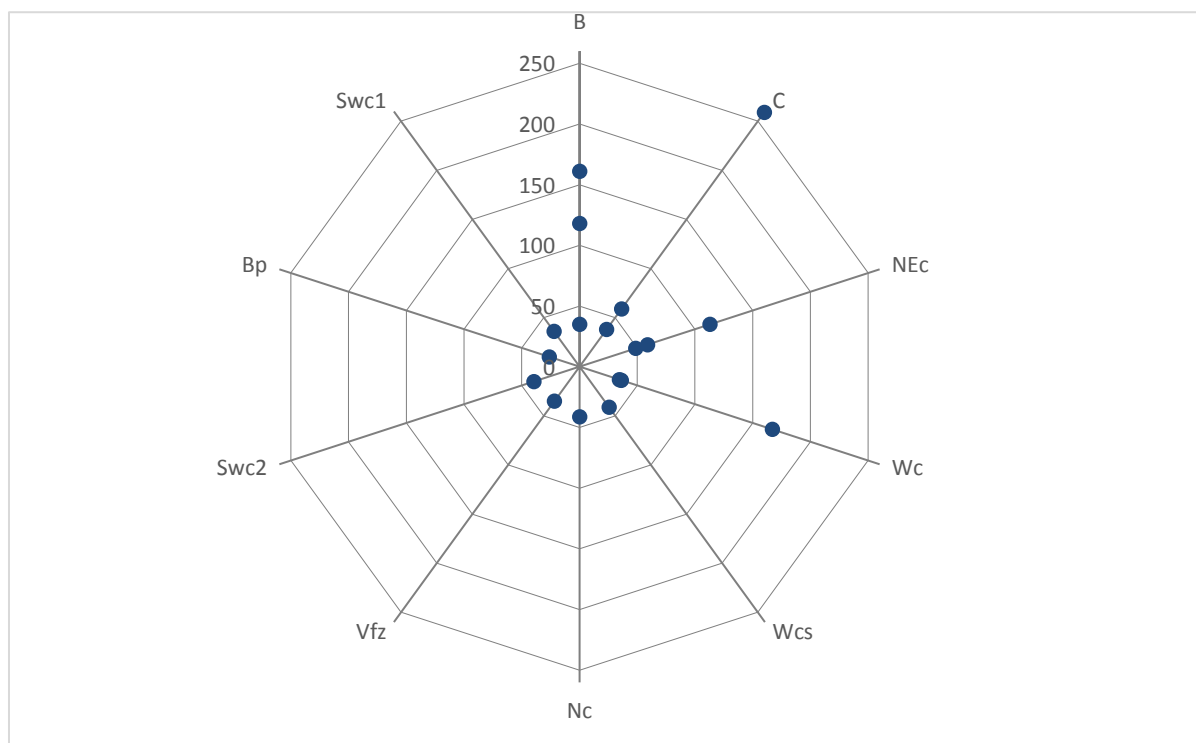
Nejvíce povodní se na Klabavě vyskytlo během sledovaného období v měsících květnu a letních měsících, tedy červnu, červenci a srpnu. Povodně v těchto měsících taktéž vykazují největší extremitu. Přesto je zjevné, že se povodně na Klabavě mohou vyskytnout prakticky během celého roku, akorát v podzimních měsících se za dobu pozorování vyskytla jen jediná povodeň, a to 2.9.1995, jejíž kulminační průtok dosahoval hodnoty $38 \text{ m}^3/\text{s}$. Tento poznatek odpovídá tomu, že obecně v měsících, kdy se nejčastěji vyskytly povodně, dochází k vysokému odtoku. Pouze v březnu a dubnu se příliš významných povodňových epizod neudálo, ačkoliv březen (následovaný dubnem) má nejvyšší podíl na celkovém množství vody, která otekla Klabavou (kapitola 5.1). Zřejmě tedy v těchto měsících bývá odtok sice zvýšený, ale patrně rozprostřený do delšího období, a tak spíše nezpůsobující dramatické události.

Graf 5.21 – Povodňové situace podle měsíce výskytu a extremity



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

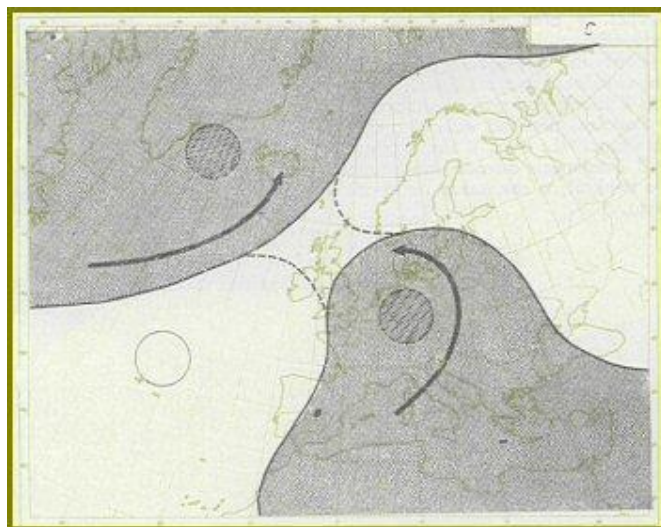
Graf 5.22 – Povodňové situace podle povětrnostní situace a extremity



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Z hlediska typů povětrnostních situací je zjevné, že v období od roku 1981 docházelo k povodňovým situacím za mnoha povětrnostních situací. Nicméně za větších povodňových epizod převládaly nad územím České republiky jen 4 povětrnostní situace. Jedná se o situace B, C, NEc a Wc. Následuje proto jejich krátký popis.

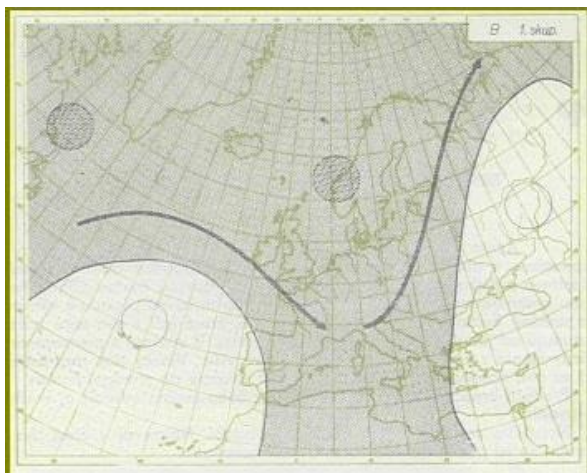
Situace B – brázda nízkého tlaku nad střední Evropou



Při této situaci nad naše území zasahuje brázda nízkého tlaku vzduchu, přičemž střed cyklóny se nachází na západě Skandinávie a samotná brázda dosahuje až ke Středozemnímu moři. Anticyklóny se rozprostírají nad východní Evropou a Ruskem. Nad naše území proudí chladný vzduch od severu. Frontální vlny zasahují především Moravu a Slovensko (ČHMÚ).

Obr. 5.1 – Povětrnostní situace B, zdroj: ČHMÚ

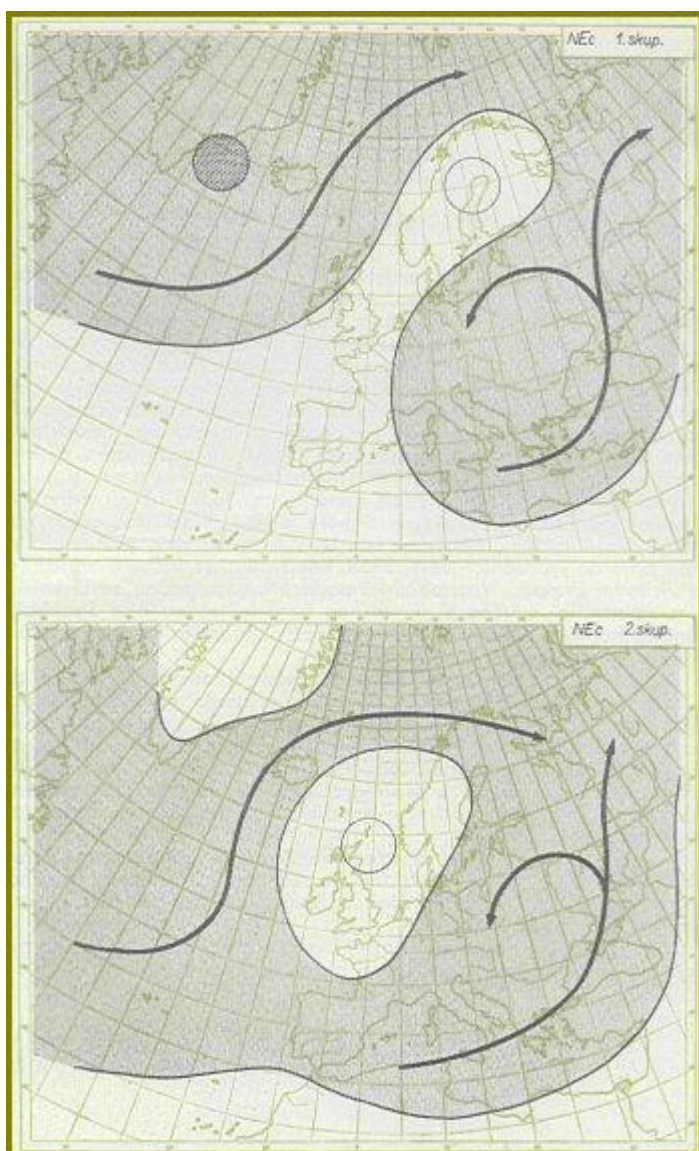
Situace C – cyklóna nad střední Evropou



Jedná se o stacionární cyklónu nad střední Evropou, jejíž střed bývá nad západní částí střední Evropy. Oblasti vysokého tlaku vzduchu se vyskytují nad Atlantským oceánem a severovýchodně od našeho území. Na naše území se v těchto situacích dostávají fronty převážně od jihovýchodu, v menší míře od severu.

Obr. 5.2 – Povětrnostní situace C, zdroj: ČHMÚ

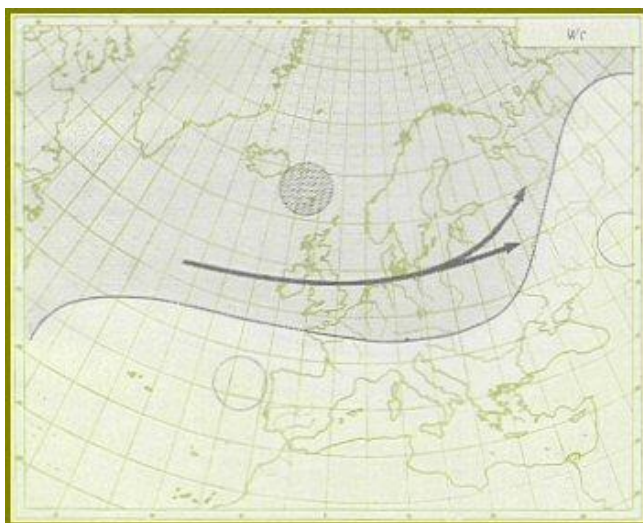
Situace NEc – Severovýchodní cyklonální situace



Tato situace se vyskytuje ve dvou skupinách. V první skupině se vytváří hřeben vysokého tlaku vzduchu zasahující přes Britské ostrovy do Skandinávie. Do střední Evropy v důsledku toho proudí studený vzduch od severu až severovýchodu. Ve výšce pak proudí do prostoru střední Evropy teplý vzduch, který se projevuje trvalými srážkami.

Obr. 5.3 – Povětrnostní situace NEc, zdroj: ČHMÚ

Situace Wc – západní cyklonální situace



Při této situaci je studená cyklóna nad Islandem a Norským mořem, zatímco anticyklóna se nachází mezi Azorskými ostrovy a Španělskem a druhá anticyklóna je nad východní Evropou. V některých případech dochází k pohybu cyklóny nad Skandinávií. Frontální systémy v tomto případě proudí na naše území od západu.

Obr. 5.4 Povětrnostní situace Wc, zdroj: ČHMÚ

5.3.2 Vybrané povodňové epizody od roku 1981

V této kapitole jsou popsány vybrané povodňové epizody na Klabavě v období po roce 1981. Záměrně byly vybrány epizody tak, aby byly zastoupeny povodně v různých ročních obdobích. Data opět pochází z měření ČHMÚ, srážkové úhrny byly určeny opět jen jako průměr naměřených hodnot ze stanic Dobřív, Holoubkov a Strašice. U některých událostí je porovnán průtok ve stanici Nová Huť s měřeními z druhé stanice v povodí, tedy Hrádek. Tato stanice měří od roku 2001, avšak s výpadkem mezi červencem 2002 a dubnem 2004. Povodeň ze srpna 2002, ani z ledna 2003 proto v záznamech z Hrádku bohužel není. Ačkoliv byla k dispozici zaznamenaná průtoková maxima ze stanice Nová Huť, v grafech jsou zobrazeny průměrné denní průtoky, jelikož mezi průměrnými hodnotami by jedna momentální hodnota činila graf nekonzistentním.

Prakticky u všech epizod je velmi dobře vidět, že Klabava má velice rychlou hydrologickou odezvu a vzestup i sestup vlny bývá skoro vždy záležitostí jediného dne.

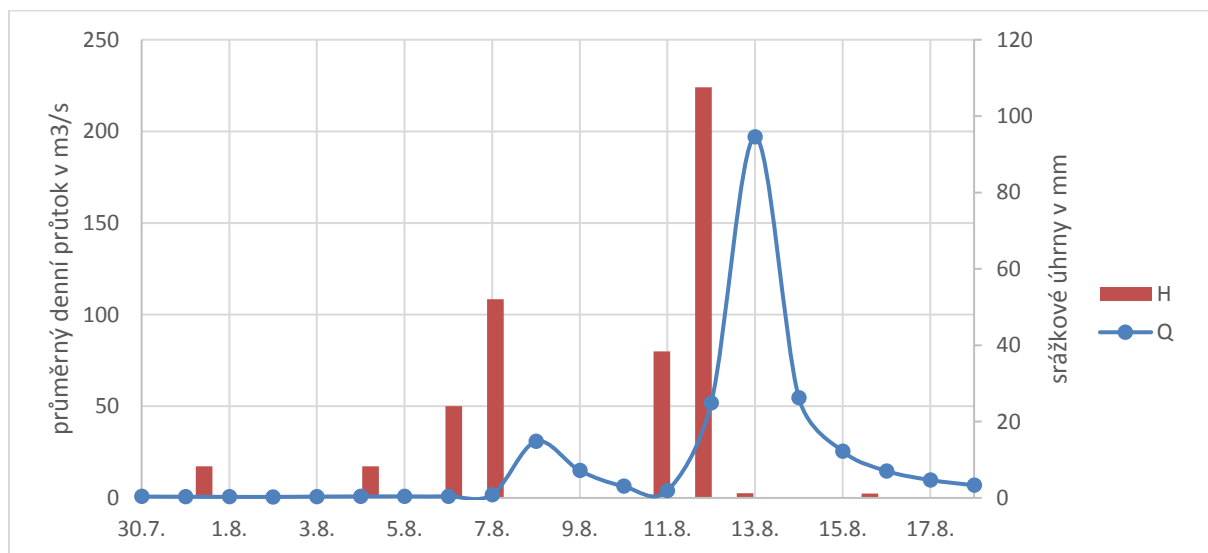
Letní epizoda 30.7.-18.8.2002

Největší zaznamenaná povodeň na řece Klabavě ze srpna roku 2002 byla způsobena především dvěma tlakovými nížemi, které se krátce po sobě vyskytly v oblasti střední Evropy a do tohoto prostoru přinesly několik frontálních vln s vydatnými srážkami. Jak ukazuje i graf 5.23, během první vlny srážek ve dnech 6.-7. srpna napršelo v úhrnu zhruba 75 mm srážek,

avšak hydrologická odezva nebyla příliš extrémní. Následovala druhá vlna srážek 11.-12. srpna, kdy srážky dosahovaly vyšších úhrnů (zhruba 130 mm), a navíc dopadající voda měla jen minimální možnost se vsakovat, proto následovala velice bouřlivá hydrologická odezva. Bohužel pro tuto povodeň není záznam ze stanice Hrádek, která se nachází nad VD Klabava, neboť ten by mohl ukázat schopnost VD Klabava ovlivnit menší povodně. Zpráva MŽP ČR (2002) udává totiž právě to, že první povodeň byla zachycena ve vodním díle.

Obě dvě srpnové epizody jsou hodnoceny jako povětrnostní situace C, její charakteristika je popsána výše. Maximální průtok v profilu Nová Huť byl stanoven na hodnotě 259 m³/s.

Graf 5.23 - povodňová epizoda 30.7-18.8.2002



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

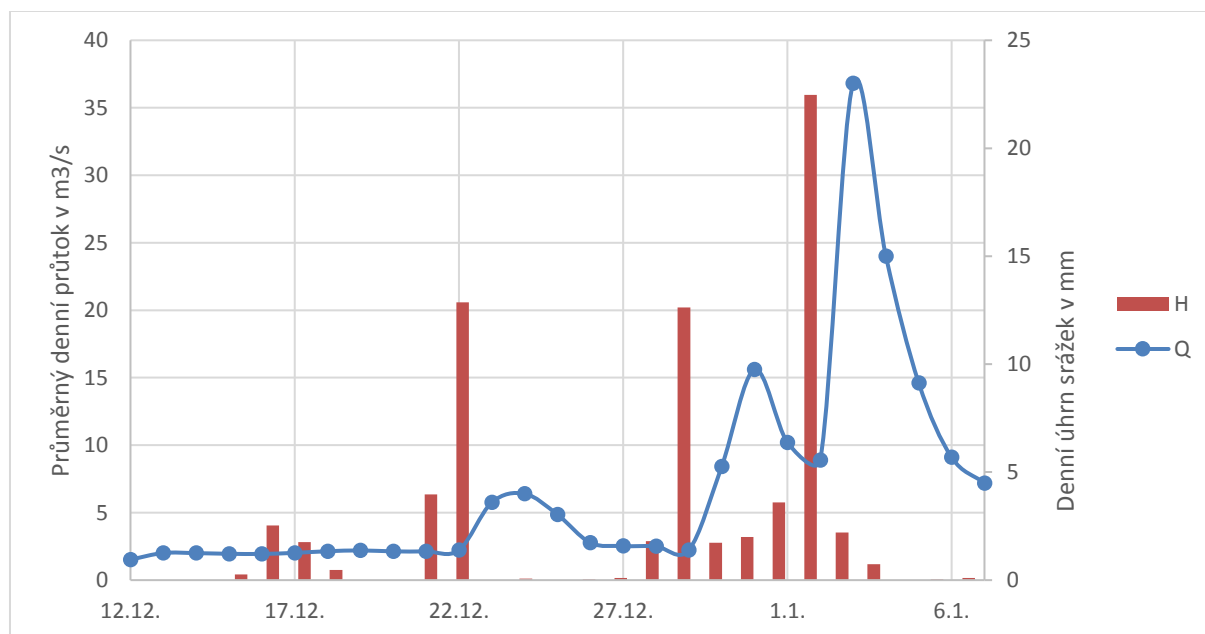
Zimní epizoda 12.12.2002 – 7.1.2003

Tato povodňová epizoda stojí za pozornost především z toho důvodu, že se jedná o jednu z mála povodní, které se vyskytly v zimních měsících. Její extremita sice není tak vysoká, avšak její průběh je pro zimní povodně vcelku typický. V tomto případě se nejednalo o jedinou srážkovou epizodu, která by měla okamžitou hydrologickou epizodu. Jak je zřejmé z grafu, již po polovině prosince 2002 se vyskytly významné srážky, a to především 22. prosince následované ještě významnějšími srážkami na přelomu let 2002 a 2003.

Povětrnostní situace, která měla za následek tuto povodeň je označována Wcs, která je velmi podobná situaci Wc s tím rozdílem, že při situaci Wcs je řídicí cyklona jižněji a na naše

území proudí vzduch od jihozápadu. Naše území bylo v teplém jihozápadním proudění s menšími odchylkami již od 21.12.2002 a přes střední Evropu procházelo více frontálních systémů. Hlavní srážkovou činnost způsobila teplá fronta postupující přes naše území od Středomoří 2.1.2003. Kapalné srážky se díky této teplé frontě vyskytovaly i v polohách nad 600 m n.m. Vlivem předchozího nasycení půdních horizontů vodou ze srážek v průběhu prosince však v tomto případě došlo k významné hydrologické odezvě. (Barták 2003) Kulminační hodnota této povodně byla 3.1.2003 na hodnotě 41,4 m³/s.

Graf 5.24 - povodňová epizoda 12.12.2002-7.1.2003

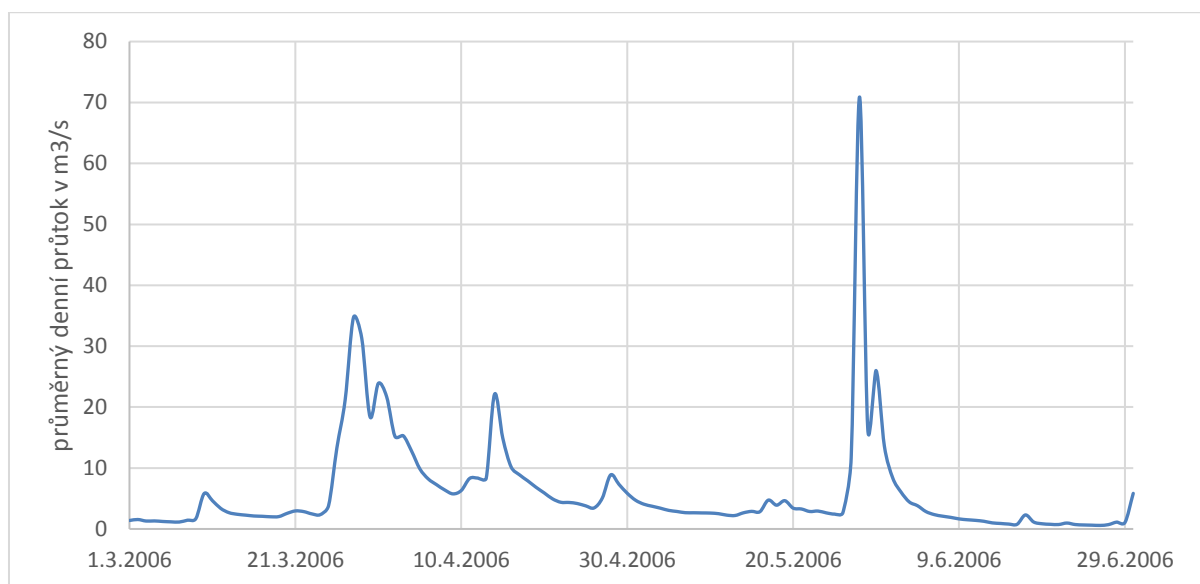


Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Jarní epizoda 9.5-7.6.2006

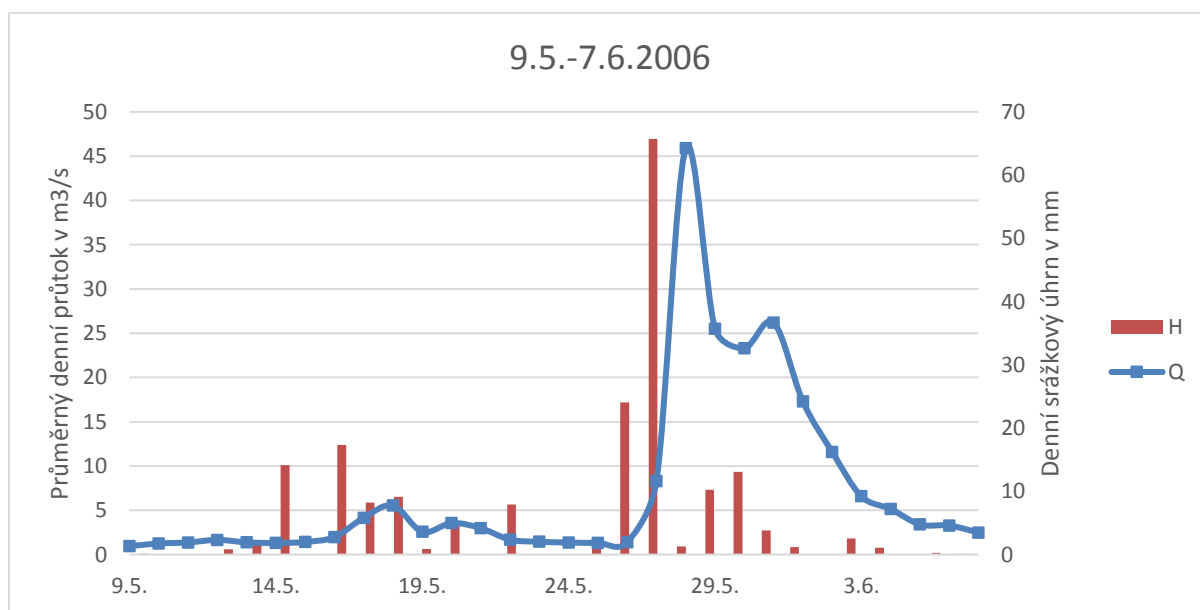
Ke konci meteorologického jara roku 2006 zasáhla povodí Klabavy významná srážková činnost. Už v březnu téhož roku docházelo k vzestupům z důvodu tání sněhu. Maximální okamžitý průtok v březnu nabyl hodnoty 39,6 m³/s, a to konkrétně 29.3. Avšak i ostatní dny na konci března dosahovala Klabava v Nové Huti významných průtoků. Od konce dubna však docházelo ke stálému poklesu průtoků vlivem nedostatku srážek. Toto období ukončilo po půlce května několik frontálních vln. Hlavní příčinné srážky byly spojeny s povětrnostní situací Wc, která započala 25.5. a především 26. a 27.5. přinesla nejintenzivnější deště. Následné deště 28.-29.5. způsobily především prodloužení období vyšších stavů, ale nevedly již k tak extrémním průtokům.

Graf 5.25 – denní průtoky před povodněmi 2006



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Graf 5.26 - povodňová epizoda 9.5.-7.6.2006

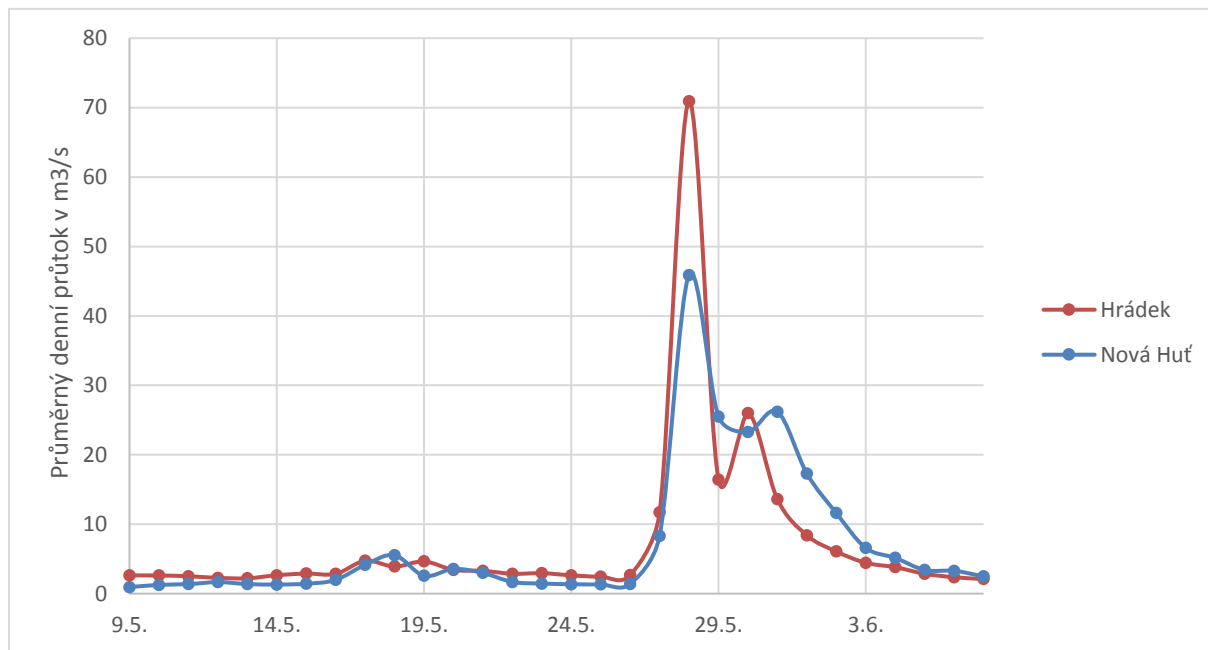


Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

Vzhledem k tomu, že pro toto období jsou záznamy i ze stanice Hrádek, je možné porovnat je se záznamy z Nové Huti (graf 5.27). Je rozhodně zajímavé, že Hrádek nacházející se výše na proudu má v tomto období vyšší průtoky než Nová Huť, která je ovlivněna i významným přítokem, Holoubkovským potokem. Lze se tedy domnívat, že významnou roli v tomto případě sehrálo VD Klabava. Průměrný průtok ($45,9 \text{ m}^3/\text{s}$) však v tomto případě

vykazuje u stanice Nová Huť významně nižší hodnotu než absolutní maximum, stanovené na výši 197 m³/s a proto je uvedený závěr nutné brát s rezervou.

Graf 5.27 – porovnání průběhu povodně 2006 v profilech Nová Huť a Hrádek



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

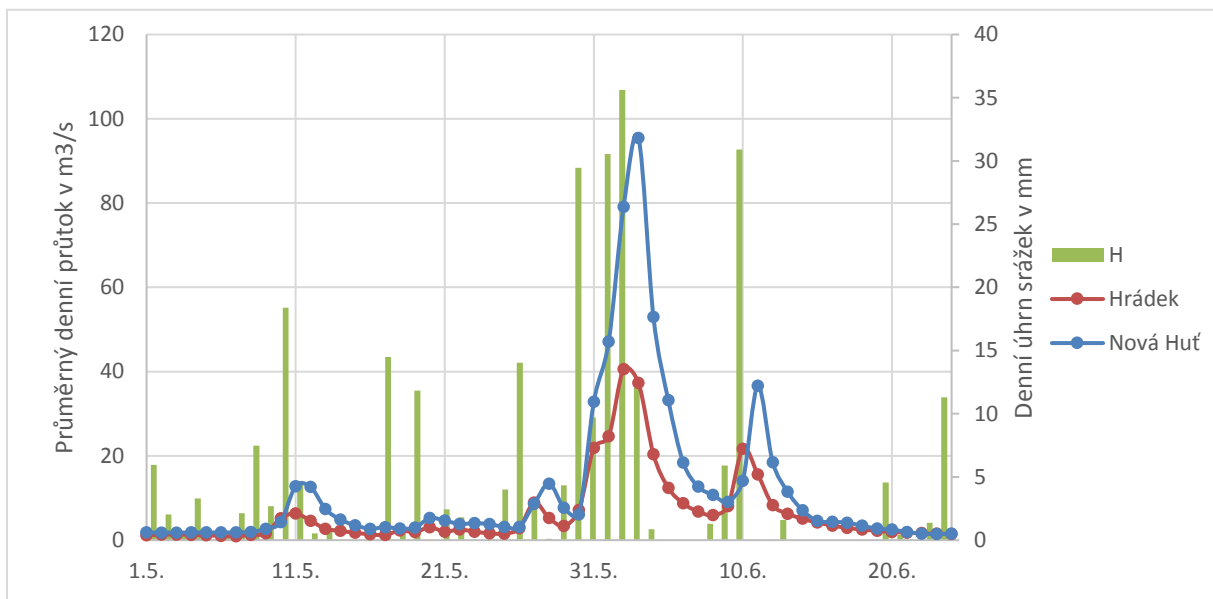
1.5.-24.6.2013

Celý květen roku 2013 byl srážkově bohatý a koncem května bylo povodí Klabavy, podobně jako většina povodí v Čechách, silně nasycené vodou. První významné srážky vypadly 26.5., po nichž následoval mírný nárůst hladiny na Klabavě. Po následujících srážkách, 30.5. a dále 1.6. a 2.6. již hladina stoupala významněji. Od 26.5. až do konce května je příčinná povětrnostní situace hodnocena jako C, od 2.6. jako NEc. Maximální průtok byl v profilu Nová Huť dosažen 3.6. a toto maximum dosáhlo hodnoty 113 m³/s. Příčinné srážky souvisely opět s přechodem jednotlivých front přes území. Následující epizoda 8.-10.6. nedosáhla takové intenzity jako první vlna, její povětrnostní situace byla Bp, která se jen v drobnostech odlišuje od situace B, přechod brázdy přes střední Evropu bývá zpravidla dost rychlý. Koncem června se objevila na území Čech ještě jedna vlna, která se však Klabavě prakticky vyhnula.

Z příloženého grafu je zřejmé, že oproti povodni z roku 2006, v tomto případě dosahovala stanice Nová Huť mnohem vyšších průtoků než stanice Hrádek. Zřejmě tedy retenční schopnosti VD Klabava stačily pouze k zachycení první vlny 30.5., což potvrzuje i

zpráva Povodí Vltavy (2014). Následující vlny tak již VD Klabava nezvládla transformovat a v profilu Nová Huť je tedy zřejmý přírůstek způsobený dalšími přítoky, pravděpodobně zejména nejvýznamnějším Holoubkovským potokem. Toto pozorování tedy potvrzuje předpoklad o tom, že VD Klabava je schopné transformovat jen povodňové vlny o malém objemu. U tohoto pozorování je však stále nutné dbát obezřetnosti z důvodu, že předkládané grafy hodnotí denní průměrné průtoky.

Graf 5.28 - povodňová epizoda 1.5.-24.6.2013



Zdroj dat: ČHMÚ, zpracováno v MS Excel

6. Diskuse

Hlavním cílem této práce bylo zhodnotit vztahy ve srážkoodtokovém procesu v povodí Klabavy na základě dat poskytnutých ČHMÚ, určit případné nehomogenity a trendy v časových řadách. Dále bylo cílem prozkoumat sezonalitu extrémních srážkoodtokových událostí, tedy povodní. V průběhu zpracování bylo nutné se vypořádat s mnoha nepřesnostmi a postupy, které mohly ovlivnit věrohodnost závěrů. Následující kapitola předkládá hlavní závěry a diskutuje možné nepřesnosti.

6.1 Vstupní data

Vstupní data pro účely této diplomové práce způsobovala v průběhu realizace mnoho omezení, která se následně promítla i do kvality výstupů. Zprv u srážkových dat byl velkým problémem nedostatek stanic, ze kterých by bylo možné obdržet data. Tři použitelné stanice pro značně velké území byly velmi limitujícím faktorem. Jednak bylo nutné srážková data doplnit o chybějící hodnoty, k čemuž nebyl k dispozici dostatečný počet měření, využitelných pro doplnění. Už tímto tedy mohlo dojít ke zkreslení výsledků s ohledem na množství srážek. Jediná stanice Holoubkov měla kompletní řadu srážek, zbylé dvě bylo nutné doplnit.

Dalším důsledkem nedostatečného počtu měřících stanic v povodí Klabavy byla nutnost použití prostého průměrování pro určení srážkové výšky na ploše povodí. Jedná se o nejméně přesnou metodu, ale kvůli nedostatečnému počtu stanic, a navíc jejich nevhodnému rozmístění relativně blízko sebe, prakticky jiná možnost nepřicházela v úvahu. Nedá se tak tvrdit, že výsledné hodnoty jsou srážkovou výškou na celém povodí, ale jsou jen a pouze průměrem jednotlivých staničních měření. Vzhledem k tomu, že povodí Klabavy je relativně členité, je škoda, že dostupná data jsou vlastně jen ze střední oblasti povodí, všechny tři stanice se nacházejí pouze poblíž vyšších elevací. Není tak zastoupena pramenná oblast v Brdech, kde se dá očekávat významná role orografického efektu, a tedy zvýšení množství srážek, ani oblast v okolí ústí Klabavy do Berounky, kde naopak nejsou v blízkosti žádné významné elevace.

Průtoková vstupní data měla tu výhodu, že se jednalo o dlouhou řadu bez výpadků, avšak jako limitující se ukázalo, že k dispozici byla převážně jen měření z jedné stanice a měření z profilu Hrádek vstupovalo jen do několika málo analýz u povodňových průtoků. Nebylo tak možné především v otázce homogenity a trendů zkoumat rozdíly ve více řadách, a tedy pozorovat více různých vlivů. Vzhledem k tomu, že ČHMÚ na dotaz o povodňové

průtoky vyhověl až počínaje rokem 1981 z důvodu nedostatečné kontroly dřívějších dat, je otázka, zda případným nedostatkem nemůžou být postižena i měření z průměrných denních průtoků z doby před rokem 1981. Je pravděpodobné, že například v tomto roce došlo k instalaci lepšího měřicího přístroje, který se mohl podepsat i na detekci nehomogenit právě v osmdesátých letech, ačkoliv přímo rok 1981 nebyl označen za rok změny.

Velkou výhodou průtokových měření lze spatřovat v tom, že stanice Nová Huť se nachází na dolním toku, nedaleko ústí do Berounky, pod jejím profilem již Klabava nepřibírá žádný významný přítok, a tak lze její výstupy považovat za charakteristické pro povodí jako celek.

U povodňových průtoků bylo limitující, že data maximálních denních průtoků byla k dispozici až od roku 1981, a proto výsledky jsou relativně chudé a opomíjejí jiné významné povodňové epizody. Dále sice byla k dispozici maxima pro danou povodňovou událost, avšak pro různá grafická znázornění bylo nutné opět využít průměrné denní hodnoty a ta jsou tímto důvodem opět nepodrobná. Pro další analýzy by rozhodně bylo zajímavé znát i průtokové hodnoty významných přítoků, v tomto případě hlavně Holoubkovského potoka, který například dokáže významně ovlivnit situaci na Klabavě.

Data krajinného pokryvu limitovala tím, že byla k dispozici pouze od roku 1990 a není tak možné vysledované změny, především v průběhu osmdesátých let dát do souvislosti právě se změnou krajinného pokryvu.

Data meliorací, odvodnění a úpravy vodních toků bylo v případě Klabavy obtížné shánět, jedná se vždy jen o kusé informace, které nejsou uceleného charakteru. Tento fakt opět značně ztížil detekci možných příčin nehomogenit a trendů.

A nakonec data, která do analýz v této diplomové práci vůbec nevstupovala, jsou klimatická měření teploty vzduchu a množství sněhu (využívali je například Ledvinka 2008 a Královec 2009). Na základě těchto dat by opět bylo možné rozšířit výsledky o další poznatky a lépe detekovat příčiny změn, které se v povodí Klabavy dějí. Avšak pro účely této práce nebyla tato data k dispozici. Čili možnost detekce klimatických změn jako původce možných změn v trendu odtoku na Klabavě je tím omezena pouze na data srážková.

6.2 Použitá metodika

Jak již bylo zmíněno, v mnoha případech byly použité metody zvoleny na základě poskytnutých dat. Nejprve proběhlo doplnění srážkových dat pomocí vícenásobné lineární regrese, což je v těchto případech častá metoda. Samotná metoda poskytuje mnoho výhod,

především zohlednění většího počtu stanic, kterými může být doplňovaná stanice ovlivněna. Jak již bylo zmíněno, nedostatek stanic v povodí měl za následek doplnění dat jen za období 1961-2014, jelikož algoritmus Stepwise v programu SPSS neumožnil doplnění pro delší období z důvodu nedostatečné přesnosti takového postupu.

Určení výšky srážek na povodí již bylo zmíněno dříve. Jednalo se o pouhé průměry, ačkoliv v průběhu realizace práce bylo snahou využít lepší interpolační metody například v programu ArcGIS, ale vstupní data zde narazila na své limity.

Metody pro určení homogenit v časových řadách vychází z metod, které využili jiní autoři při řešení obdobných témat. Jednoduché a podvojně součtové čáry ve svých pracích využili Volková (2010), Kaňok (1997), Královec (2009), Fiala (2012) a vícekrát Kliment a Matoušková. Tato metoda sice explicitně není schopna určit přítomnost nehomogenity, ale její výhodou je vizualizace dat a přehlednost.

K testování absolutní homogenity byl zvolen široce užívaný Mann-Whitney Pettitův test, jehož spolehlivost byla kontrolována pomocí jednoduchých součtových čar. Je zřejmé, že pro testování bylo možné zvolit ještě mnohem více jiných testů, například Wilcoxonův test, SNHT test, Kruskal-Walisův test. Fiala (2014) Mann-Whitney-Pettitův test vyzdvihuje jako účinnější i pro srážkové řady než metodu Von Neumanna.

Testování relativní homogenity proběhlo u většiny časových řad, kdy byly porovnávány průtokové řady s odpovídajícími srážkovými řadami. Testů relativní homogenity existuje větší množství, zde však byl využit Alexanderssonův test. Využil jej například Fiala (2014), Ledvinka (2008), Královec (2009). Dalším využívaným testem je například Wilcoxonův jednovýběrový test. Do tohoto testu bylo nutné mít odpovídající si řady stejně dlouhé, proto nebylo možné průtoky testovat za celou dobu měření, ale až od roku 1961, pro který již jsou dostupná srážková data. Proto porovnávání testů absolutní a relativní homogenity je limitováno právě tímto faktorem. Rozhodně je zajímavé, že testy homogenit odhalily více nehomogenit v případě minimálních průtoků než u těch průměrných. U minimálních předpokladů se předpokládá, že jsou méně ovlivněny extrémními událostmi, které však na Klabavě jsou poměrně časté.

Použití většího počtu testů pro testování homogenit by samozřejmě bylo možné, některé výsledky by tímto postupem nabyly větší přesnosti a umožnily by kvalifikovanější rozhodnutí. Na druhou stranu velký počet testů činí práci nepřehlednou, což uznal i Královec (2009) a navrhl omezit se na testy, které se osvědčily v předchozích studiích. Von Neumannův test a Wilcoxonův test dále nedoporučuje využívat. U Alexanderssonova testu

zmiňuje nevýhodu, že roky změny často detekuje na začátku nebo na konci časové řady, což se v případě této studie potvrdilo.

K testování trendu ve vývoji časových řad bylo využito široce užívaného Mann-Kendallova testu, který odhalil trend mnohem více u srážkových úhrnů než u průtokových dat. Převažující trend u srážek je rostoucí, především roční srážky vykazují nárůst. Oproti tomu u průtokových řad Mann-Kendallův test detekoval jen jeden nepatrný pokles v případě minimálních květnových průtoků, které prokazovaly nehomogenitu absolutní i relativní.

6.3 Zjištěné výsledky

Zdaleka nejvíc vody oteklo Klabavou v roce 1965 ihned po nejméně vodném roce 1964. Zajímavé je, že sice v roce 1965 bylo zaznamenáno i nejvíce srážek, avšak druhý nejdeštivější rok 2002 neodpovídá roku s druhým největším odtokem, a i jen z pohledu na grafy 4.6 a 5.1 je zjevné, že abnormalita roku 1965 v průtoku vyčnívá mnohem více nad ostatní hodnoty, než tomu je u srážek. Zajímavé je také porovnání podílu měsíčních průtoků a úhrnů srážek, kdy zjevně do srážkoodtokového procesu vstupuje mnohem více faktorů než jen srážky a přímý odtok, a proto srážkově nejbohatší měsíce neodpovídají měsícům s největším odtokem. Dá se předpokládat, že na vysokých březnových odtokových hodnotách má velký vliv tání sněhu a z vysokých letních srážek zas probíhá větší výpar.

Z výsledků testů homogenit nelze přímo vypořádat rok, ve kterém by došlo k nějakému velkému zlomu. Přesto ze součtových čar a nehomogenit minimálních měsíčních průtoků vychází poměrně významně období osmdesátých let dvacátého století, především rok 1983 u května. Je to také období, kdy při pohledu na grafy 4.6 a 5.1 dochází k nízkému odtoku, odhadem nižšímu, než by odpovídalo množství srážek. S velkou opatrností lze vyslovit domněnku, že tato nehomogenita mohla být způsobena odvodňovacími pracemi, které tou dobou v povodí Klabavy probíhaly (kapitola 4.4).

Testy homogenit neoznačily roky, u kterých by se dalo předpokládat, že mohly nastat změny v odtocích. V první řadě se jedná o rok 1957, kdy došlo k dokončení VD Klabava a odklonění Klabavy dvěma tunely mimo hlavní řečiště. Stejně tak nebyl detekován ani rok 1967, kdy naopak došlo k uzavření dolu Ejpovice a Klabava se vrátila do svého koryta a zaplavila prostor bývalých lomů. Zřejmě tyto události neměly významný vliv na dlouhodobé odtokové poměry.

Velikost ovlivnění nemnohých odtokových změn v odtoku klimatickými změnami, lze odhadovat dosti obtížně. Pokles minimálních průtoků v květnu, pravděpodobně i v dubnu by

mohl být způsoben snížením sněhové pokrývky v zimních měsících, která dotuje podzemní vodu, ze které bývají minimální průtoky z velké části tvořeny. Pro tuto domněnku však není jiný poklad než obecný trend klimatických změn, pozorovaný kupříkladu Královcem (2009) v povodí Opavy. Jistou roli bude hrát i detekovaný klesající trend srážek v dubnu.

Fakt, že se za dobu pozorování zvýšilo množství srážek a odtokové řady na toto zvýšení dle testování trendu nereagovaly ukazuje, že pravděpodobně muselo dojít ke změnám, které tento rozpor vyrovnávaly. Mohlo by se jednat třeba o zvýšení zalesnění a zatravnění území Klabavy na úkor zemědělské půdy. Jak již bylo zmíněno, tak pro tuto změnu jsou bohužel data až po roce 1990.

Z autorů zabývajících se podobnou tematikou v jiných povodích ČR se sluší zmínit, že Fiala (2014) na více povodích v oblasti Šumavy detekoval hlavní nehomogenity v 70. a 80. letech především vlivem srážek, v tomto případě nehrála roli tolik změna krajinného pokryvu. Ledvinka (2008) ve svých testech homogenity na povodí Rolavy detekoval většinu změn v polovině a ke konci osmdesátých let, které však nedává do souvislosti s antropogenními změnami, které na tomto území nepředpokládá kvůli nízké hustotě osídlení. Královec (2009) v povodí Opavy sledoval obdobné změny, vyzdvihuje klesající trend odtoků, především v letních měsících, které jsou dávány do souvislosti s úbytkem srážek. Takový trend se na Klabavě neprokázal. Volková (2010) v povodí Stropnice nevypozorovala žádný trend podle Mann-Kendallového testu, avšak podle testů absolutní nehomogenity a součtových čar určila osmdesátá za období nižších průtoků, které však dává do souvislosti spíše s nižšími úhrny srážek než s antropogenním ovlivněním.

U většiny zmíněných studií je období 1975-1982 charakteristické zvýšenou vodností. Stejně tak změny v odtoku během osmdesátých let se objevují ve všech studiích, a i v případě Klabavy je zřejmé, že období vyšších průtoků od poloviny sedmdesátých let dochází kolem roku 1982 k poklesu odtoku, který pokračuje až do poloviny devadesátých let.

Analýza povodňových průtoků ukazuje na nejčastější výskyt významných povodní v letních měsících, přesněji od května do srpna. Kacíř (2010) uvádí, že na Berounce se povodně vyskytují především v létě a na podzim, což v případě této práce nebylo vyloženě potvrzeno pro povodí Klabavy, neboť letní povodně by se shodovaly, ale podzim nemůže být určen jako období s významnějšími povodňovými událostmi než ostatní roční doby.

Dále byly stanoveny povětrnostní situace, za kterých dochází k povodním. Situace B a C určil Kacíř (2010) jako nejextrémnější pro povodí Berounky za období 1965-2006, což výsledky této práce vcelku podporují, neboť za těchto povětrnostních situací došlo i na

Klabavě za období pozorování k významným povodňovým událostem. Nutno zmínit, že Kacíř (2010) dále uvádí Klabavu jako řeku, která podstatně ovlivňuje povodňový režim Berounky, proto není překvapivé, že se výsledky ve velké míře shodují.

Při porovnání výsledků povodňových s odtokovými charakteristikami stojí za pozornost, že měsíce s nejvyšší průměrnou vodností se příliš neshodují s měsíci, kdy dochází k povodňovým průtokům. Ačkoliv nejvíce vody odtéká pravidelně v březnu a dubnu, povodně častěji nastávají až v letních měsících. Bohužel omezenost dat o povodních neumožňuje zaměřit se blíže zrovna na tuto problematiku a kupříkladu na otázku, jak moc březnové vyšší průtoky pravděpodobně z tání sněhu ovlivňují povodňové epizody v průběhu května a léta.

Rozbor jednotlivých epizod ukazuje, že nejvyšších průtoků Klabava v profilu Nová Huť dosahuje jeden den po nejvyšších úhrnech srážek. Z těch pozorování, kde to bylo možné, je vidět, že kulminace v Hrádku nastává většinou o den dříve než v případě Nové Huti. Avšak vzhledem k malému počtu pozorování a jejich přibližnosti nelze tento výsledek považovat za zcela jasný. Dále se ukázala podstatná role transformace malých povodní ve VD Klabava a role Holoubkovského potoka na vybraných epizodách.

7. Závěr

Tato práce pro povodí Klabavy odhalila trend rostoucích ročních úhrnů srážek, zatímco pro roční odtokové charakteristiky žádný trend nalezen nebyl. Důvody k tomuto zdánlivému rozporu je obtížné nalézt, neboť za sledované období se na povodí Klabavy událo mnoho změn, které k tomuto výsledku mohly přispět. Přesné určení těchto důvodů se však nepodařilo zjistit nejen z důvodu jejich velké rozmanitosti, ale i kvůli nedodatečnému množství relevantních informací o sledovaném území a jeho změnách.

Ze sezónních charakteristik bylo nejvíce nehomogenit nalezeno u minimálních měsíčních průtoků, jejichž roky změny se ponejvíce objevovaly v osmdesátých letech. Jediné květnové minimální průtoky také vykazovaly trend, který byl klesající, avšak nepříliš významně.

Povodňová charakteristika přes omezení způsobená nedostatkem dat ukázala na měsíce květen až červen jako na ty, kdy se nejčastěji vykytují povodně a dále označila i synoptické situace, za kterých nejčastěji dochází k povodním. Překvapivé je minimální množství povodní, které se na Klabavě objevily v březnu a dubnu, které jsou sice měsíci, kdy obecně dochází k nejvyššímu odtoku, ale povodně se takřka nevyskytly.

Klabava reaguje na srážky velmi rychle, v profilu Nová Huť, nacházejícím se nedaleko před ústím toku do Berounky, bývá dosahováno nejvyšších průtoků den po nejintenzivnějších srážkách. Vodní dílo Klabava je schopné ovlivnit jen menší povodně.

ZDROJE:

- BALATKA, B., KALVODA, J. (2006): Geomorfologické členění reliéfu Čech. Kartografie Praha, Praha, 79 s.
- BARTÁK, Zdeněk (2003): Zpráva o povodni prosinec 2002 – leden 2003 povodí Berounky a Horní Ohře, ČHMÚ, 19 s.
- BEVEN, K (2012): Rainfall-Runoff Modelling. The Primer. Second edition, Wiley-Blackwell, Lancaster UK, 457 s.
- BÍNA, J., DEMEK, J. (2012) Z nížin do hor – Geomorfologické jednotky České republiky, Academia, Praha, 343 s.
- BLAHUŠIAKOVÁ, A, MATOUŠKOVÁ, M. (2012): Analysis of floods in the upper course of the Hron River in 1930–2010. Geografie, 117, č. 4, s. 415–433.
- CAMERON, D.S. et al. (1999): Flood frequency estimation by continuous simulation for a gauged upland catchment (with uncertainty), Journal of hydrology, 219, s. 169-187
- ČÁKA, J. (1998): Střední Brdy krajina neznámá, Mladá fronta, Praha, 160 s.
- ČÁKA, J. (1999): Toulání po Brdech, Mladá fronta, Praha, 336 s.
- ČERNÝ et al. (2014): Rainfall interception in a mature spruce forest – a case study. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 27-39
- ČGS (2009): Ejpovické útesy
- ČHMÚ (2015): Odtok ze suché krajiny
- DEMEK, J. et al. (1965): Geomorfologie českých zemí, Nakladatelství Československé akademie věd, Praha, 336 s.
- DEMEK, J., MACKOVČIN, P. (ed.) (2006): Zeměpisný lexikon ČR, Hory a nížiny, AOPK ČR, Brno, 582 s.
- DUB, O (1957): Hydrológia, hydrografia, hydrometria, Slovenské vydavateľstvo technickej literatúry, Bratislava, 526 s.
- DVOŘÁK, O. (2012): Pustinami Středních Brd, Regia, Praha, 239 s.
- DVOŘÁK, O. (2014): Podbrdskou krajinou Rokycanska a Zbirožska, Regia, Praha, 319 s.
- FIALA, O. (2014): Změny srážko-odtokového režimu v oblasti Šumavy, Diplomová práce, Přf UK 100 s.
- FIŠÁK, J. et al. (2014): Vyhodnocení příspěvku množství usazených srážek k celkovému srážkovému úhrnu. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 75-80

- HASA, M. (2012): Modelování odtokových procesů v experimentálním povodí Bystřice v Krušných horách, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 99 s.
- HLAVČOVÁ, K. et al. (2006): ANALÝZA ZMENY ODTOKU SPÔSOBENEJ ZMENOU VYUŽÍVANIA ÚZEMIA NA POVODÍ IPLA, konference Strečno, Česká bioklimatologická společnost
- HOSTÝNEK, Jiří (et al.) (2006): Zpráva o povodni květen – červen 2006, ČHMÚ, 56 s.
- HRACHOVÁ, H. (2011): Rokycany, Lidové noviny, Praha, 318 s.
- HUBINGER, L. (2013): Infiltrační vlastnosti půd při extrémních srážkách v povodí Litavky, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 88 s.
- HYDROPROJEKT (2007): Studie odtokových poměrů na Klabavě, 176 s.
- CHLUPÁČ, I. et al. (2011): Geologická minulost České republiky, Academia, Praha, 436 s.
- JANEČEK M. et al. (2012): Ochrana zemědělské půdy před erozí, ČZÚ, Praha, 117 s.
- JUST, T. (2010): Přírodě blízké úpravy vodních toků v intravilánech a jejich význam v ochraně před povodněmi. Revitalizace sídelního prostředí vodními prvky. AOPK ČR, Ochrana přírody, číslo 6/2010.
- JUST, T., et al., (2003): Revitalizace vodního prostředí. AOPK ČR. Praha, 2003
- JUST, T., et al., (2005): Vodohospodářské revitalizace a jejich uplatnění před povodněmi, MŽP, VÚMOP v.v.i., 28s.+79s., (http://www.mzp.cz/cz/priode_blizka_opatreni)
- KACÍŘ, J. (2010): Hydrosynoptická analýza mimořádných situací v povodí horní Berounky, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta UK, 68 s.
- KANTOR, P. et al. (2003): Lesy a povodně – souhrnná studie, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 48 s.
- KANTOR, P., ŠACH, F. (2003): Účinnost lesních ekosystémů při tlumení povodní in: Lesy a povodně – celostátní seminář, Česká lesnická společnost, Praha, s. 11-16
- KANTOR, P., ŠACH, F., (2007): Vodní režim mladého horského smrkového a bukového porostu ve vegetačních obdobích 2005 a 2006, In: Střelcová, K., Škvarenina, J., Blaženec, M., (eds): “BIOCLIMATOLOGY AND NATURAL HAZARDS“ International Scientific Conference, Poľana nad Detvou, Slovakia, September 17 – 20, 2007
- KARBOVÁ B. (2014): Testovanie parametrov metódy SCS - CN – efekt predchádzajúcich vlhových podmienok na simuláciu odtoku. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 199-205
- KAŠPÁREK, Ladislav (2006): Vyhodnocení jarní povodně 2006 na území ČR, Ministerstvo životního prostředí, Praha, 164 s.
- Kemel, M. (2000): Klimatologie, Meteorologie and Hydrologie. FS ČVUT v Praze, 289 s.

- KEMEL, M. (2010): Klimatologie, meteorologie, hydrologie. Praha: Vydavatelství ČVUT. 289 s.
- KLIMENT Z., MATOUŠKOVÁ M., (2008): Long-term Trends of Rainfall and Runoff Regime in Upper Otava River Basin. *Soil and Water Research*, 3, 3, 155–167.
- KLIMENT Z., MATOUŠKOVÁ M., (2009): Runoff changes in the Šumava Mountains (Bohemian Forest) and the foothill regions: Extent of influence by human impact and climate
- KRÁLOVEC, V. (2009): Změny srážkoodtokových poměrů v povodí horní Otavy, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 148 s.
- KRÁSNÝ, J. et al. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa, ČHMÚ, Praha, 50 s.
- KŘÍŽ, H. (1983): Hydrologie podzemních vod, Academia, Praha, 289 s.
- KŘÍŽ, H. (2014): Výsledky měření povrchového odtoku vody zalesněného a nezalesněného malého povodí v oblasti Bílého Kříže v Moravskoslezských Beskydech letech (2004 – 2009). In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 259-262
- KULASOVÁ, A. et al. (2014): Vývoj nového přístroje na kontinuální měření vodní hodnoty sněhu. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 263-267
- KULHAVÝ, Z., FUČÍK, P., TLAPÁKOVÁ, L. (2013): Pracovní postupy eliminace negativních funkcí odvodňovacích zařízení v krajině. Metodická příručka pro žadatele OPŽP.
- LANGHAMMER, J. (ed.) (2007): Povodně a změny v krajině, Přf UK, Praha, 396 s.
- LANGHAMMER, J. (ed.) (2008): Údolní niva jako prostor ovlivňující průběh a následky povodní, Přf UK Praha, 278 s.
- LAUTNEROVÁ, L. (2010): Analýza povodňových situací v pramenné oblasti Opavy, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 122 s.
- LEDVINKA, O. (2008): Trendy srážkoodtokového režimu v povodí Rolavy, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 137 s.
- MALÝ A. (2009): Vliv rozdílného využití krajiny na srážko-odtokový proces v experimentálních povodích Bytiny, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 152 s.
- MATOUŠEK, V. (2010): Poznávání odtokových vlastností malých povodí za regionálních dešťů, VÚV TGM, Praha, 104 s.

- MATOUŠKOVÁ, M. (2008): Ekohydrologický monitoring vodních toků: v kontextu evropské Rámcové směrnice o vodní politice 2000/60/ES. Vyd. 1. Praha: Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, 209 s.
- MATOUŠKOVÁ, M. et al. (2011): Application of selected statistical tests to detect changes in the rainfall and runoff régime, *Die Bodenkultur*, s. 95-100
- MŽP ČR (2002): Výsledná zpráva o projektu Vyhodnocení katastrofální povodně v srpnu 2002 a návrhu úpravy systému prevence před povodněmi. 174 s.
- NĚMEC, J. (ed.) (2014): Drobné vodní toky v České republice, Jan Němec – Consult, 295 s.
- NĚMEC, J., HLADNÝ, J. (ed.) (2006): Voda v České republice, Consult, Praha, 255 s.
- POKORNÝ et al. (2005): TRANSPIRACE A EVAPOTRANSPIRACE V EKOFYZIOLOGII LESNÍCH DŘEVIN in: ROŽNOVSKÝ, J., LITSCHMANN, T. (ed): Seminář „Evaporace a evapotranspirace“, Brno, 23. března 2005, s. 67 - 72
- POVODÍ VLTAVY (2014): Souhrnná zpráva o povodni v dílčích povodích horní Vltavy, Berounky, dolní Vltavy a ostatních přítocích Dunaje. Červen 2013. 351 s.
- SWECO HYDROPROJEKT (2015): Vodní dílo Amerika – studie proveditelnosti, Povodí Vltavy, 84 s.
- ŠERCL, P. (2008): Hodnocení metod odhadu plošných srážek, *Meteorologické zprávy*, r. 61, č. 2, s. 33-43
- ŠEREŠ, M. (2011): Role evapotranspirace v hydrologické bilanci malého povodí, bakalářská práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 56 s.
- ŠVIHLA, V., ČERNOHOUS, V., ŠACH, F. (2014): Hydrologická bilance jako charakteristika vodního režimu malých horských lesních povodí. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: *Hydrologie malého povodí*, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 511-515
- TACHECÍ, P. et al. (2014): Dopad změn využití území ve třech zónách malého zemědělského povodí simulovaný pomocí modelu MIKE SHE. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: *Hydrologie malého povodí*, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 524-527
- TOLASZ, R. (ed.) (2007): Atlas podnebí Česka. Český hydrometeorologický ústav, Olomouc, 255 s.
- TOMÁŠEK, M. (2007): Půdy České republiky. Český geologický ústav, Praha, 67 s.
- TRÁVNÍČKOVÁ, A, KOŽÍN, R. (2014): Odhad základního odtoku na malých vodních tocích. In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: *Hydrologie malého povodí*, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 534-538

VÍCHA, Z. et al. (2014): 60 let lesnicko-hydrologického výzkumu v Moravskoslezských Beskydech (1953-2013). In: BRYCH, K., TESAŘ, M. ed.: Hydrologie malého povodí, AV ČR, ČHMÚ, Praha 2014, s. 551-557

VOLKOVÁ A. (2010): Změny ve srážko-odtokovém procesu v povodí Stropnice, diplomová práce, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Praha, 130 s.

VÚMOP (2013): Nabídka mapových a datových produktů – Hydrologické charakteristiky
Zákon č. 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)

Internetové zdroje:

ARCDATA PRAHA: Digitální vektorová geografická databáze ArcČR 500,
(<http://www.arcdata.cz/produkty-a-sluzby/geograficka-data/arcchr-500/>), citováno 30.1.2018

CENIA: Národní geoportál INSPIRE, (<http://geoportal.gov.cz/web/guest/home/>), citováno
15.2.2018

ČGS: Mapy online, (<http://www.geology.cz/extranet/mapy/mapy-online>), citováno
26.12.2017

ČHMÚ (www.chmi.cz)

ČHMÚ: Evidenční list hlásného profilu č. 189
(http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307132), citováno 13.3.2018

ČHMÚ: Evidenční list hlásného profilu č. 191
(http://hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfbk_detail.php?seq=307174), citováno 23.1.2018

ČÚZK (2015): Geoportál – geoprohlížeč, <http://geoportal.cuzk.cz/geoprohlizec/>, citováno
17.2.2018

MAPY.CZ: (<http://mapy.cz/zakladni/>) citováno 22.3.2018

VÚV TGM (2016): Katalog evidencí ISVS VODA vedených VÚV TGM,
v.v.i. (<http://heis.vuv.cz/data/spusteni/identchk.asp?typ=02>) datum stažení: 23.12.2017