

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**  
**katedra fyzické geografie a geoekologie**

**Jana Janková**

**PROBLEMATIKA URČENÍ PLOŠNÝCH ODHADŮ SRÁŽEK  
NA PŘÍKLADU POVODÍ ÚPY**

*(bakalářská práce)*

**Praha 2006**

**Vedoucí bakalářské práce: Mgr. Jan Daňhelka, Ph.D.**

100-1010  
Anita Ondříčková  
předseda  
dop. poradí (číslo)

(437.31-17)

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité informační zdroje.

V Praze 22.5.2006

.....  
.....

**Poděkování:**

Děkuji panu Mgr. Janu Daňhelkovi, Ph.D. za věcné připomínky, vstřícný přístup a odborné vedení mé bakalářské práce.

## **ABSTRACT**

Work presents physical geography of the Úpa River basin from the point of view of geology, geomorphology and soil characteristics. Climate, hydrography and hydrology are described more in detail. Úpa River basin is specific in its shape and position in the headwater where runoff is generated.

The main aim of the study is to explain different approaches to mean areal precipitation (MAP) computing. The MAP is one of the most important inputs of hydrological models. We explain seven most common methods of MAP computation. Methods differ in interpolation technique or use of other factors (like elevation). The differences in methods are illustrated on the example.

At the end there is a short description of Sacramento model as well.

**Key words:** Mean areal precipitation, Úpa River, rainfall-runoff modelling

# OBSAH

ABSTRACT .....	4
1. ÚVOD .....	7
2. FYZICKO-GEOGRAFICKÉ POMĚRY .....	8
2.1 GEOLOGICKÉ POMĚRY .....	8
2.2 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY .....	11
2.2.1 Podzemní vody .....	12
2.3 GEOMORFOLGICKÉ POMĚRY .....	13
2.4 PŮDNÍ POMĚRY .....	15
2.5 BIOGEOGRAFICKÉ ČLENĚNÍ .....	17
2.6 KRAJINNÝ POKRYV .....	18
2.7 FYTOGEOGRAFIE .....	19
2.8 CHRÁNĚNÁ ÚZEMÍ .....	19
2.9 KLIMATICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	22
2.10 HYDROLOGICKÁ CHARAKTERISTIKA .....	23
2.10.1 Přítoky Úpy a jejich charakteristika .....	27
3. METODY VÝPOČTU PLOŠNÝCH SRÁŽEK .....	31
3.1 ARITMETICKÁ METODA .....	31
3.2 METODA THIESSENOVÝCH POLYGONŮ .....	32
3.3 METODA IZOHYET .....	34
3.4 METODA INVERSE DISTANCE (ID) .....	35
3.1.1 Využití metody inverse distance .....	36
3.5 VÝPOČET PLOŠNÝCH SRÁŽEK .....	37
3.1.1 Metoda aritmetického průměru .....	38
3.1.2 Metoda Thiessenových polygonů .....	38
3.1.3 Metoda izohyet .....	38
3.1.4 Metoda inverse distance – těžiště .....	39
3.1.5 Metoda inverse distance – krigging .....	40
3.1.6 Výsledky výpočtu .....	41
3.6 OROGRAFICKÁ INTERPOLACE .....	42
3.7 KLIMATICKÉ PRIZMA .....	43
4. SRÁŽKO-ODTOKOVÉ MODELY .....	45
4.1 CHARAKTERISTIKA SRÁŽKO-ODTOKOVÝCH MODELŮ .....	45
4.2 MODEL SACRAMENTO (SAC-SMA) .....	45
5. ZÁVĚR .....	47
6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	48

## OBRÁZKY A TABULKY

Obr. 2.1 - Geologická mapa povodí .....	9
Obr. 2.2 - Geomorfologická mapa povodí.....	14
Obr. 2.3 - Úpské rašeliniště s Luční Boudou.....	15
Obr. 2.4 - Zóny KRNAPu.....	20
Obr. 2.5 - Černoohorské rašeliniště.....	20
Obr. 2.6 - Babiččino údolí, Viktorčin splav.....	21
Obr. 2.7 - Zličský rybník.....	21
Obr. 2.8 - Průměrná roční teplota vybraných stanic ČHMÚ.....	22
Obr. 2.9 - Průměrné roční srážky vybraných stanic ČHMÚ .....	23
Obr. 2.10 - Povodí Úpy.....	24
Obr. 2.11 - Kruhový graf vývoje povodí .....	25
Obr. 2.12 - Podélný profil Úpy a jejích přítoků.....	28
Obr. 3.1 - Aritmetická metoda.....	32
Obr. 3.2 - Thiessenovy polygony.....	33
Obr. 3.3 - Mapa izohyet.....	34
Obr. 3.4 - Mapa izohyet, interpolace .....	34
Obr. 3.5 - Metoda inverse distance – náčrtek .....	35
Obr. 3.6 - Inverse distance hydromodelu podle těžiště .....	36
Obr. 3.7 - Inverse distance, síť.....	37
Obr. 3.8 - Inverse distance, krigging .....	37
Obr. 3.9 - Metoda aritmetického průměru.....	38
Obr. 3.10 - Metoda Thiessonových polygonů .....	38
Obr. 3.11 - Metoda izohyet.....	39
Obr. 3.12 - Metoda inverse distance těžiště.....	39
Obr. 3.13 - Metoda inverse distance - krigging.....	40
Obr. 3.14 - Orografická interpolace - náčrtek.....	42
Obr. 3.15 - Orografická interpolace .....	43
Obr. 3.16 - Klimatické prizma - náčrtek.....	44
Obr. 3.17 - Klimatické prizma.....	44
Obr. 4.1 - Struktura modelu Sacramento .....	46
Tab. 2.1 - Základní údaje vodoměrných stanic.....	26
Tab. 2.2 - Jakost vody v profilu Jaroměř, v období 2003-2004.....	27

# 1. ÚVOD

Téma bakalářské práce „Problematika určení plošných odhadů srážek na příkladu povodí Úpy“, jsem si po konzultaci s vedoucím práce vybrala proto, že z oborů fyzické geografie se nejvíce zajímám o hydrologii a meteorologii. Důvodem výběru povodí řeky Úpy je pak nejen její vhodnost z hlediska tvaru povodí a poloze ve zdrojové oblasti povodí Labe, ale také fakt, že se jedná o mé bydliště a tedy krajinu, kterou velmi dobře znám.

Cílem bakalářské práce je podání podrobné fyzicko-geografické charakteristiky povodí Úpy a prezentace a zhodnocení metod výpočtu plošného úhrnu srážek. V první části bude podrobně popsáno povodí Úpy z hlediska různých fyzicko-geografických charakteristik a to včetně mapových podkladů. Popsány budou geologické a hydrogeologické poměry a jejich vliv na vývoj říční sítě. Pozornost bude věnována také geomorfologickým poměrům, včetně začlenění povodí do systému geomorfologického členění ČR. Prezentovány budou také údaje o půdním pokryvu území, který je ovlivněn geologickým podložím a klimatem, a také o krajinném pokryvu. Zmíněny budou také význačné bioregiony a chráněná území zasahující do povodí. Podrobnější popis bude věnován klimatickým a hydrologickým poměrům povodí Úpy.

Ve druhé části práce budou popsány a stručně analyzovány metody výpočtu průměrné srážky vztahované k určité ploše. Cílem bude vystihnout odlišnosti daných metod a porovnat je z hlediska přesnosti výpočtu. Použití metod a jejich srovnání bude provedeno na modelovém případě.

S výhledem na pokračování mé práce v rámci magisterského studia bude v závěru práce ještě zmíněna problematika srážko-odtokových modelů. Výsledky srážko-odtokových simulací jsou velmi závislé právě na vstupních datech, a to především na jejich kvalitě, reprezentativnosti a aktuálnosti, tedy mimo jiné na metodě výpočtu plošného srážkového úhrnu. Podrobněji bude prezentován pouze model Sacramento, který bude výhledově použit v mé diplomové práci.

## 2. FYZICKO-GEOGRAFICKÉ POMĚRY

*„Řeka to je divoká Úpa, která utíká s hor Krkonošských, vrhají se přes sráže a skály, proplítají se úzkými údolínami až do roviny, kudy bez překážky do Labe pospíchá, ustavičně mezi zelenými břehy, majíc s jedné strany vysoké stráně, porostlé rozličným stromovím.“*

B. Němcová, Babička

Takto kdysi popsala Božena Němcová v knížce Babička řeku Úpu. Od té doby se mnohé změnilo. Značná část toku, zejména v prvních desetiletích 20. století, byla regulována, čímž se charakter toku velmi změnil. Dřívější divokost se zmírnila a břehy již nejsou jen zelené.

Název řeky Úpy je keltského původu a v překladu znamená „voda“. Úpa se nachází v Královehradeckém regionu a protéká okresem Trutnov a Náchod. Úpa je levostranný přítok horního Labe, které patří do úmoří Severního moře. Pramení v Krkonoších v Úpském rašeliništi asi 1,5 km od Studniční hory (1554 m n. m.), v nadmořské výšce 1432 m a ústí do Labe v Jaroměři ve výšce 250 m n. m.

Úpa je převážně horská a podhorská řeka, sbírající vody z východní části Krkonoš a přilehlého Podkrkonoší. Z Krkonoš pokračuje do Krkonošského podhůří, kde protéká Podkrkonošskou pahorkatinou a Zvičinsko-Kocleřovský hřbet a u České Skalice vtéká na území Úpsko-metujské tabule. Ta již je součástí České Tabule, stejně jako Pardubická kotlina, v jejímž nejsevernějším výběžku řeka ústí (Faltysová, 2002). Úpa teče nejdříve jižním, pak převážně jihovýchodním směrem až k České Skalici, kde se obrací k jihozápadu a u Jaroměře se vlévá do Labe (Kohoutek, 1987).

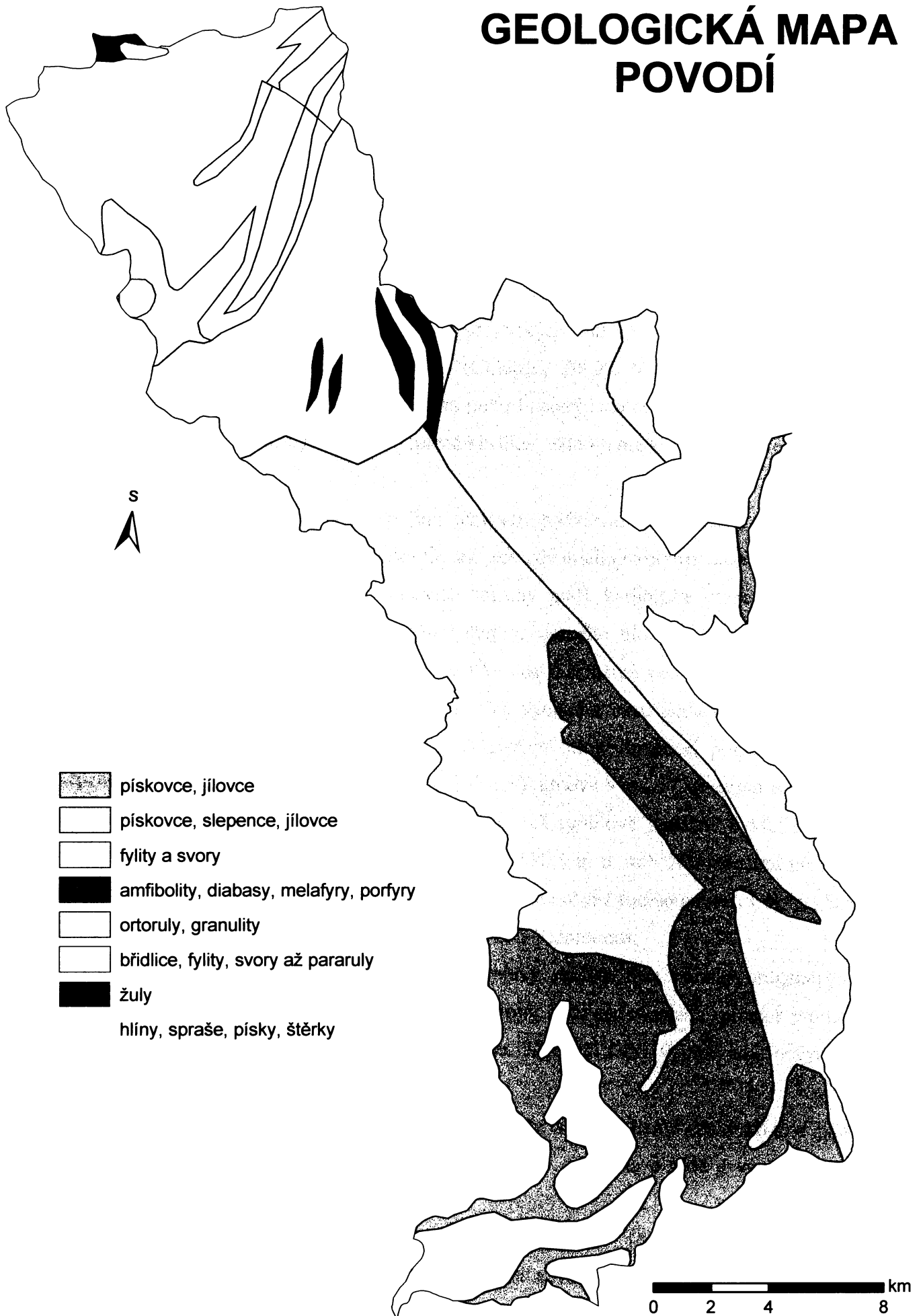
Na následujících stránkách jsou popsány fyzicko-geografické poměry včetně zpracovaných vybraných map v GIS a dalších grafických výstupů.

### 2.1 Geologické poměry

Geologická stavba celého povodí Úpy se skládá především z jednotek Českého masivu, které jsou součástí vnitrosudetské, podkrkonošské a české křídové pánve. Území má poměrně pestrou geologickou stavbu (obr 3.1), uspořádanou v pruzích směru západ – východ. Stavba



# GEOLOGICKÁ MAPA POVODÍ



Obr. 2.1 - Geologická mapa povodí

byla nejvíce ovlivněna hercynským (variským) vrásněním. Rozmanitost je daná protáhlostí povodí a hlavně velkým výškovým rozdílem, který činí od pramene k ústí skoro 1200 m. Krkonoše mají charakteristický reliéf kerné hornatiny se zbytky zaronaného povrchu na temenech pohoří. Svahy jsou rozčleněny hlubokými erozními údolími (Culek, 1996).

Nejvýše položené horské partie, hřbety a rozsochy Krkonoš, jsou tvořeny krystalickými horninami starohorního až staroprvohorního stáří. Krkonošslo-jizerský pluton vyplňuje jádro klenbovitě struktury a také jeho vnitřní stavba je klenbovitá, což naznačuje slupkovité nahromadění lehčích hrubě porfyrických odrůd v okrajových a převaha jemnozrnějších typů ve vnitřních částech. (Chlupáč, 2002). V západní části území sem zasahuje hrubozrná žula a ve zbývající části pohoří pestrý soubor metamorfovaných hornin, zejména ruly, svory, fylity, amfibolity, zelené břidlice, dále křemence, krystalické vápence až dolomity atd.

Horský masiv Krkonoš je na jihu lemován podkrkonošskou pánví a na východě vnitrosudetskou pánví. Převažujícími horninami jsou zde mladoprvohorní usazeniny, případně sopečné vyvřeliny. Mezi nejstarší usazené horniny patří karbonské slepence a arkózy, prostoupené v žacléřsko-svatoňovické pánvi slojemi černého uhlí (Faltysová, 2002). Tyto usazeniny svrchního karbonu vyplňují podstatnou část Žacléřské vrchoviny a tvoří výrazný hřbet Jestřebích hor (Žaltman 739,1 m n. m.). Ve východní části podkrkonošské pánve se vyskytují červenohnědé permské usazeniny (pískovce, jílové břidlice, prachovce, arkózy, slepence apod.). Nalezneme je východně a jižně od Trutnova a mezi Červeným Kostelcem a Náchodem (Chlupáč, 2002). Permského stáří jsou též ryolitové sopečné vyvřeliny tvořící výraznou skupinu Vraních hor (Královecký Špičák 880,5 m n. m.). Nejmladšími horninami téhož geotektonického cyklu jsou triasové pískovce (bohdašínského souvrství) v Polesí Devíti Křížů severozápadně od Červeného Kostelce a v okolí Vízmburku.

Charakter další sedimentace ovlivnily projevy saalské fáze variské orogeneze. Ve východní části podkrkonošské pánve se zakládá nový dílčí sedimentační prostor protažený sz.-jv. směrem, tzv. trutnovsko-náchodská deprese. Nejstarší částí výplně jsou nevytříděné slepence a brekcie (Chlupáč, 2002).

Oblast kolem České Skalice a Jaroměře je tvořena usazeninami české křídové pánve. Zde se však vyskytují výhradně jemnozrné sedimenty, zejména písčité a vápnité jílovce, spongility, prachovce, jemnozrné pískovce aj.

Ze starších čtvrtohor pocházejí ledovcové nánosy (čelní a boční morény) v krkonošských údolích, periglaciální sutě a většina navátých uloženin – spraší a vátých písků. Glaciál také přemodeloval horská říční údolí tvaru V na široká ledovcová údolí tzv.

trogy s typickým U profilem. Závěry údolí byly přehlobeny do podoby strmých karů. Působením mrazu, ledu a střídáním teplot se na hřbetech Krkonoš objevují výrazně vystupující žulové skalní útvary (tory), na svazích vznikají skalní stupně (mrazové sruby), kryoplanační terasy a kamenná moře. Na vrcholových plošinách najdeme mrazové půdní formy - polygonální půdy a na svazích pak brázděné půdy. Čtvrtohorní jsou i říční terasové usazeniny (štěrkopísky) v řece Úpě.

Některé přírodní procesy, především vodní eroze, zvětrávání a svahové procesy, formují georeliéf hor i v současnosti. Nápadné jsou strukturní mury (blokovobahenní proudy). Méně intenzivně, ale trvale působí soliflukce, nivální eroze a sněhové laviny, díky nimž se vyvíjí drobné tvary skalního povrchu, např. skalní mísy. Stále intenzivněji, hlavně v nižších polohách, je reliéf ovlivněn výstavbou sídel, komunikací a těžbou surovin (Faltysová, 2002).

## **2.2 Hydrogeologické poměry**

Říční síť prodělala dlouhý a složitý vývoj. Její rozložení bylo ovlivněno geologickou stavbou podloží, geomorfologickým vývojem pohoří Krkonoš i změnami klimatu ve čtvrtohorách. Směry hlavních krkonošských toků jsou až na nepočtené výjimky zhruba shodné s původními úvalovitými údolními třetihorního zarovnaného reliéfu.

Hlavní krkonošské toky na české straně mají základní směr kolmý k hlavnímu hřebeni, ale vlivem větší rozlohy této části pohoří, větší délky řek, většího přehlobení údolí, menšího sklonu hladiny a složitějších horninových podmínek zde vznikly rozvětvenější a rozsáhlejší říční systémy. Mezi tyto toky patří i Úpa. Je pro ni typické, že na rozdíl opolských řek přibírá početné přítoky ještě v horách. Tyto přítoky jsou nejčastěji kolmé na hlavní tok a jejich přítoky opět ústí převážně v pravém úhlu, takže vzniká tzv. mřížovitá vodní síť (Krkonošský národní park, 2006).

V závislosti na geologicko-morfologických a spádových poměrech má řeka na horním toku hluboce zaříznuté glaciálně modelované údolí se zbytky morén a glaciofluviálních teras, které v hlavním i postranních údolích tvoří dva stupně. V úseku mezi Maršovem a Svobodou nad Úpou, již mimo dosah pleistocénního ledovce, nejsou v hlubokém erozním údolí terasy morfologicky patrné, zachovaly se nanejvýš jako nepatrné zbytky pohřbené pod svahovými uloženinami (Balatka, Sládek, 1962).

Od Svobody nad Úpou při vstupu do permokarbonu vytvořila řeka údolí méně hluboké a poněkud širší. Objevují se zde již akumulární terasy, které řeku sledují ve čtyřech

proti proudu konvergujících úrovních (kromě údolní nivy) na úseku toku dlouhém téměř 60 km. Na středním toku (pod Trutnovem) má údolí místy kaňonovitý ráz s terasami mimo vlastní údolní zářez, jinak se zde plošně málo rozsáhlé terasy zachovaly v jesebních částech zákrutů a v údolních kotlinách. Rozsáhlé plochy pokrývají terasové šterky nižších stupňů na nejdolejším toku (pod Českou Skalici) v oblasti měkkých křídových hornin, a to zvláště v metujsko-úpském rozvodí.

Zahloubení údolí od nejstarší terasy činí v okolí Trutnova přes 90 m, na dolním toku u České Skalice kolem 120 m. Mocnost terasových akumulací je vzhledem k velikosti toku poměrně značná a pohybuje se v rozmezí 10-20 m. Asi 20-50 m nad nejstarší kvartérní terasou se vyskytují na pravém břehu řeky mezi Úpicí a Hoříčkami petrograficky cizorodé šterky neogenního stáří, které patří jiné říční soustavě (Balatka, Sládek, 1962).

Dnešní říční soustava se patrně vyvinula na konci třetihor (pliocén) v souvislosti se vznikem dnešního labského toku, takže v nejstarším kvartéru má povodí Úpy již zhruba dnešní podobu, s výjimkou plochého území dolního toku, kde řeka tekla od Starkoče k Metuji.

### **2.2.1 Podzemní vody**

Část území povodí má vhodné podmínky pro vytváření zásob podzemních vod. Pro jejich ochranu zde byly vyhlášeny chráněné krajinné oblasti přirozené akumulace vod (CHOPAV). Do povodí Úpy zasahuje CHOPAV Východočeská křída a Krkonoše.

V celé oblasti CHOPAV Východočeská křída se vytvářejí zásoby kvalitních podzemních vod v cenomanských a turonských sedimentech, zvrásněných do systému zlomových vrás a tektonických příkopů. Nejvydatnější zdroje jsou v oblasti Podorlické křídý, zasahující i do povodí Úpy. Hodnoty odtoku podzemní vody jsou zde zvýšené 3-5 l/s km<sup>2</sup>.

Podkrkonošská pánev vyplněná permokarbonskými sedimenty je díky jejich pestrému složení rozdělená na řadu izolovaných zvodní. Význam pro zásobování podzemní vodou je zde spíše lokální.

Oblast krystalinika Krkonoš nemá předpoklady pro vytvoření vydatnějších zdrojů podzemní vody, horniny krystalinika jsou málo propustné, proudění je víceméně lokální a po puklinách. Lepší propustnost má zvětralinový plášť a kvartérní pokryv, vyšší propustnost je i v místech čoček vápenců a v místech zvýšeného tektonického postižení. Odtok podzemní vody je v nejvyšších polohách extrémně vysoký (nad 10 l/s km<sup>2</sup>) a i v nižších částech Krkonoš dosahuje vysokých hodnot (nad 5 l/s km<sup>2</sup>), jak uvádí Faltysová (2002).

Údolí Úpy a jejích přítoků není sice vymezeno jako samostatný rajon, chování podzemních vod v nich však má, na rozdíl od okolních krystalinických a permokarbonských hornin, odlišný režim. Důvodem jsou geologické poměry, tj. přítomnost výhradně průlinových zvodnělých kvartérních akumulací písčitohlinitého až šterkovitého charakteru. Vzhledem k tomu, že údolnice mají funkci místních erozních bází, lze předpokládat, že hladina podzemní vody se bude významně shodovat s hladinou v Úpě i s hladinou navazujících toků (ČEU, 2005).

### **2.3 Geomorfologické poměry**

Podle regionálně-geomorfologického třídění patří povodí Úpy do provincie Česká vysočina. Ta se dále dělí do dvou soustav – většina povodí spadá do Krkonoško-jesenické soustavy (Sudetská soustava) a jen nejspodnější část dolního toku do soustavy České křídové tabule (obr. 3.2) (Faltysová, 2002).

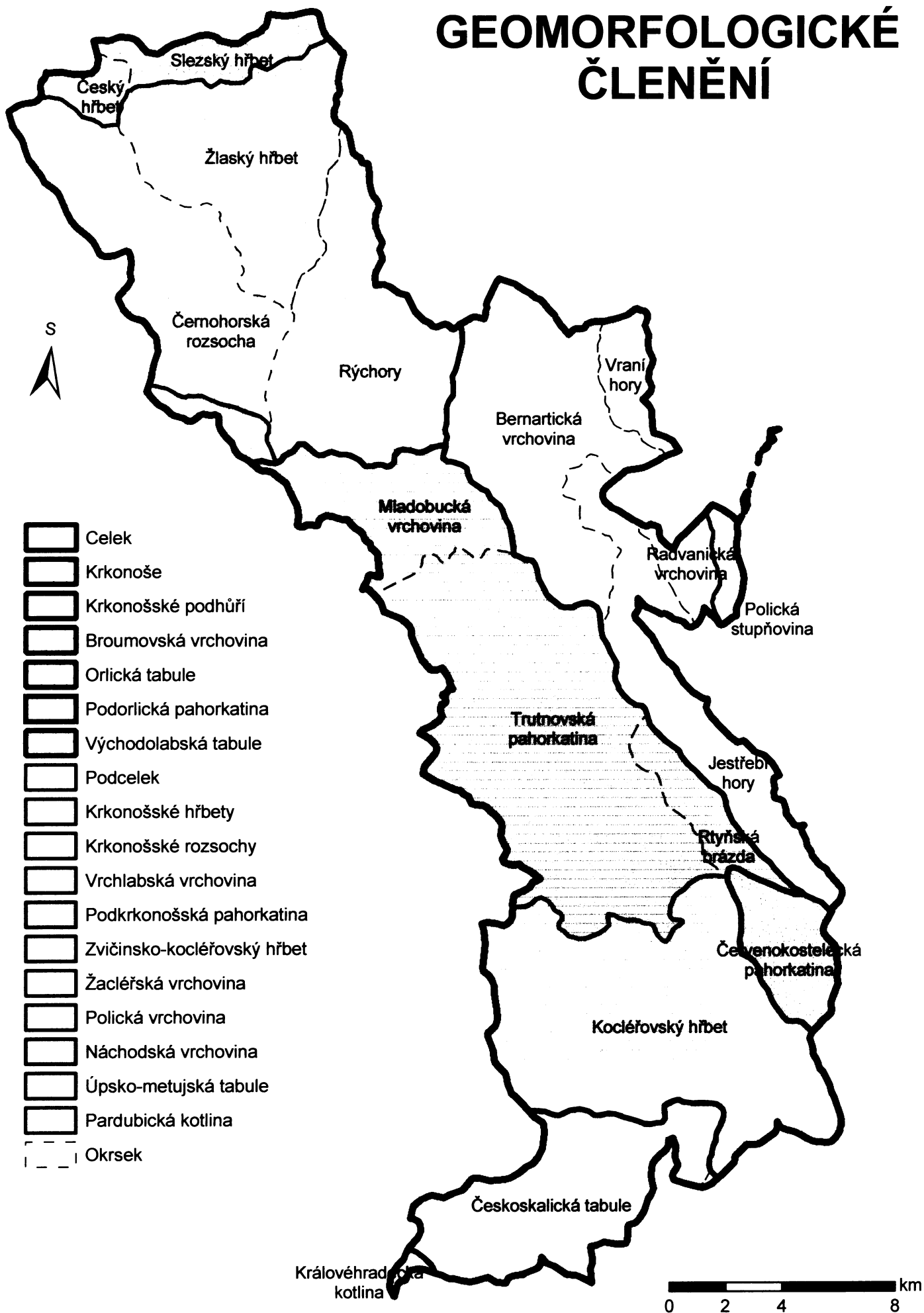
Základní podobu daly Krkonošim mladokaledonské orogenetické pohyby. Dnešní konečné rysy jsou výsledkem saxonských tektonických pohybů ve starším terciéru, kdy došlo v důsledku výzdvihu k oživení erozní a denudační schopnosti vodních toků. Členitá hornatina Krkonoš se dělí na vyšší Krkonošské hřbety podél státní hranice s Polskem a na nižší Krkonošské rozsochy. Na východě do povodí ještě nepatrně zasahuje Vrchlabská vrchovina.

Krkonošské hřbety mají nadmořskou výšku okolo 1120 m. Z tvarů reliéfu jsou významné vysoké hřbety a pláně s dobře vyvinutými ledovcovými kary (Culek, 1996). Z plošin na hřbetech (zbytky polorovin) se zvedají nejvyšší vrcholy jako suky (často se skalními útvary), kde dominuje Sněžka 1602,3 m n. m. V ledových dobách v pleistocénu tu ležely horské ledovce (Faltysová, 2002).

Druhá část Krkonoš, tj. horské rozsochy, má ráz širokých zalesněných hřbetů, převážně S-J směru. Vrcholové části jsou ploché a nesou zbytky okrajů vyzdvižené paroviny (Demek, 1965).

Na celek Krkonoš navazuje rozsáhlý geomorfologický celek Krkonošské podhůří. Je to členitá pahorkatina až plochá vrchovina se střední nadmořskou výškou 463 m. Vyznačuje se pestrým strukturně-denudačním georeliéfem podél řeky Úpy. Krkonošské podhůří má tři podcelky, z nichž do povodí zasahují jen dva. Největší část povodí se nachází v podcelku Podkrkonošské pahorkatiny na permokarbonských usazeninách zvaném Trutnovská pahorkatina. Na jihu je lemována zdaleka viditelným Zvičinsko-kocléřovským hřbetem.

# GEOMORFOLOGICKÉ ČLENĚNÍ



Obr. 2.2 - Geomorfologická mapa povodí

Na levém břehu Úpy přechází Podkrkonošská pahorkatina do Broumovské vrchoviny, jež sem zasahuje jen podcelkem Žacléřovskou vrchovinou, jejímž výrazným okrskem je nesouměrný strukturální hřbet Jestřebích hor vyzvednutý podél hronovsko-poříčské poruchy (Demek, 1965). Jihovýchodní část povodí vyplňuje severní výběžek Podorlické pahorkatiny zvaný Náchodská vrchovina s okrskem Červenokostecká pahorkatina.

Z České křídové tabule zasahuje do povodí Úpy severní část Orlické tabule s okrskem Českoskalické tabule v Úpsko-metujské tabuli a malý výběžek Východolabské tabule s okrskem Královehradecká kotlina.

## 2.4 Půdní poměry

Půdy v povodí řeky Úpy jsou velmi rozmanité. V Krkonoších je dobře zřetelná vertikální půdní stupňovitost. Jejich nejvýše položené partie jsou pokryty alpínskými (kryogenními) půdními formami. V holocénu, v teplejším a na srážky bohatším klimatu, vznikala ve vrcholových částech Krkonoš postupným zarůstáním depresí a pramenišť ostrůvky vrchovištních organozemí, později se vytvořila i rozsáhlá rašeliniště.



*Obr. 2.3 - Úpské rašeliniště s Luční Boudou*

Úpské rašeliniště (Obr. 2.3) je nejrozsáhlejší vrcholové rašeliniště v Krkonoších o ploše asi 100ha. Rozkládá se na severním úbočí Studniční hory mezi Obří a Luční boudou ve výšce kolem 1430 m. Západním směrem z něho vytéká Labe a východním Úpa.

Na Krkonošských rozsochách se nacházejí rozsáhlé oblasti podzolů, vázaných na svahoviny kyselých intruzív, rul a granulitů. Vznikly v podmínkách humidního klimatu, kdy

došlo k diferenciaci šedého eluviálního (ochuzeného) horizontu a okrového až rezivého iluviálního (obohaceného) spodinového horizontu. Podzol kambický i typický (humusový) se tu vyskytují v celcích s doprovodnou kambizemí dystrickou a kryptopodzoly (rezivé půdy). Ojedinele se tyto půdy prolínají s přídatnými rankery jako tzv. alpské drnové půdy. Kambizem dytrická (velmi silně kyselá kambizem s náznaky podzolizace) vznikla na svahovinách kyselých intruzív, rul a granulitů v nižších partiích Krkonoš mezi Svobodou nad Úpou a hranicí s Polskem (Faltysová, 2002).

V určitých partiích Krkonoš se můžeme také setkat s litozeměmi (surové půdy), které jsou vývojově nejmladší. Jedná se o iniciální půdy s mělkým minerálním humusovým horizontem mocnosti do 10 cm přímo na podložní hornině.

Převážnou část povodí zaujímají hnědé půdy neboli kambizemě. Tyto půdy se nejčastěji vyskytují v nadmořské výšce mezi 400-800 m. Vznikly vnitropůdním zvětráváním (Tomášek, 2003). Na svazích Krkonoš se ojedinele vyskytují eutrofní kambizemě (s vysokým obsahem humusu). V nižších polohách, na ně pak navazují hnědé půdy silně kyselé. Největší zastoupení kambizemě kyselé je na svahovinách svorů, fylitů a bezkarbonátových permských hornin v celé oblasti Krkonošského podhůří mezi Svobodou nad Úpou, Žacléřem a Rtyní v Podkrkonoší.

V zónách kyselých kambizemí se na svahovinách bezkarbonátových permských hornin (v okolí Úpy i na nevápnitých pískovcích) vyvinula kambizem typická (nasycená) v samostatných celcích a nebo i ve spojení s kambizemě kyselou (nenasycenou). Nasycené kambizemě nalezneme ve střední a jižní oblasti okresu Trutnov, dále pak jižně a východně od Červeného Kostelce. V oblasti Úpice a Červeného Kostelce do povodí Úpy zasahují hnědé půdy se surovými půdami.

Severně od Svobody nad Úpou se na svahovinách vápenců vytvořila na několika menších územích rendzina kambizemní. V nejnižších místech Trutnovska se nachází ojedinelý okrsek pararendziny kambizemní s méně rozšířenou pararendzinou typickou na slínových jílech až slínech a jejich svahovinách (Faltysová, 2002).

Část povodí spadající do okresu Náchod pokrývají illimerické a hnědé půdy. Luvizemě se vyvinuly na spraších a sprašových hlínách a patří mezi velice úrodné půdy. Většinou se vyskytují v mírně zvlněném terénu v nízkých pahorkatinách a jejich humusový horizont dosahuje do 30 cm. V oblasti České Skalice můžeme nalézt v malé míře hnědozemě, které vznikly méně výraznou illimerizací, při které je svrchní část profilu ochuzována o jílnaté součástky, které jsou vsakující vodou přemísťovány do hlubších půdních horizontů.



Mezi Jaroměří a vodní nádrží Rozkoš se na slítných jílech až slínech vyvinula pararendzina typická, na polygenetických hlínách a svahovinách opuk potom pararendzina kambizemí neboli pelosoly. Pelosoly jsou velmi těžké půdy, které jsou vázány na horniny poskytující zvětraliny, tvořené ve značné míře druhotnými jílovými minerály (Tomášek, 2003). Na severovýchodním okraji Rozkoše se na velmi malém území vytvořila černice pelická.

Na kambizemě pak navazují hydromorfní půdy, převážně gleje. Stagnující hladina podzemní vody způsobila vznik šedého až zeleného glejového redukčního horizontu. Místa nad ním ještě leží šedorezavý oxidačně-redukční horizont. Tento horizont se vyvinul podél četných menších potoků (Modrý potok, Zelený potok, Javoří potok, aj.) napájejících horní tok Úpy. Šedorezavý horizont je typický pro pseudoglej a je vázán na bezkarbonátové nivní sedimenty a polygenetické hlíny. Vyskytuje se v oblasti Žacléře a podhůří Krkonoš.

V neposlední řadě se přímo podél řeky Úpy asi od České Skalice k ústí vyskytují půdy nivní. Tyto bezkarbonátové nivní sedimenty pokrývají fluvizemě (nivní půdy) vzniklé akumulací humusu s periodickou fluviální akumulací, jejímž projevem je texturní různorodost (Faltysová, 2002).

## **2.5 Biogeografické členění**

Povodí Úpy spadá do třech bioregionů – Krkonošského, Podkrkonošského a Broumovského. Krkonošský bioregion zabírá nejvyšší pohoří celé hercynské podprovincie a jako jediný celek v ČR dostatečně převyšuje horní hranici lesa a má dobře vyvinutý subalpínský stupeň s autochtonní kosodřevinou. Biota má převážně horský hercynský charakter se zastoupením společenstva 5. jedlovo-bukového až 8. subalpínského, klečového vegetačního stupně a dokonce i s ostrůvky přirozeného alpínského bezlesí. Potenciální vegetace je tvořena květnatými, klenovými a acidofilními horskými bučinami, přirozenými smrčínami, subalpínskými společenstvy a vrchovišti.

Podkrkonošský bioregion zabírá střední a východní část geomorfologického celku Krkonošského podhůří a je tvořen monotónní pahorkatinou na permu s ochuzenou hercynskou biotou, odpovídající v převažující míře 4. bukovému vegetačnímu stupni. Potenciální vegetaci tvoří bučiny, na jižním okraji též acidofilní doubravy s ostrovy květnatých bučin.

Broumovský bioregion do povodí zasahuje jen menší mírou na východě povodí. Je tvořen vrchovinou na kulmu, permu a pískovcích. Je dosti pestrý, s biotou 3. dubovo-bukového až 5. jedlovo-bukového vegetačního stupně. Potenciální vegetace je tvořena květnatými bučinami, na pískovcích reliktními bory, v údolích suťovými lesy, v nižší části též acidofilními doubravami (Culek, 1996).

## **2.6 Krajinný pokryv**

Krajinný pokryv není tak rozmanitý. Pokud vezmeme oblast v hrubých rysech, tak zde převažují jehličnaté až smíšené lesy, nezavlažovaná orná půda a v menší míře městská zástavba.

Přirozené louky, vřesoviště a slatiny nalezneme u pramenu Úpy a na horním toku pak přecházejí v převážně jehličnaté lesy, kde se místy vyskytují lesokřoviny, louky a pastviny. Na ně pak navazuje městská zástavba Maršova, Svobody nad Úpou, Janských Lázní, Rudníku a Žaclěře, kolem nichž jsou jehličnaté a smíšené lesy, nezavlažovaná orná půda a zemědělské areály s výrazným podílem přirozené vegetace. Na východě Žaclěře jsou ještě sportovní areály a na jihu přirozené louky.

Kolem bytové zástavby Mladé Buky a městské zástavby Trutnov nalezneme více nezavlažované orné půdy, ale skoro vůbec žádné zemědělské areály. V Trutnově jsou pak také průmyslové a obchodní areály a u Poříčí je odkalová nádrž. Na jihu Trutnova pak zástavba přechází v mozaiku polí, luk a trvalých kultur a ve smíšené až jehličnaté lesy.

Významnou sídelní jednotkou jsou také Rtyň v Podkrkonoší. Městská zástavba a průmyslové a obchodní areály jsou pak v Úpici a kolem ní se vyskytují zemědělské areály, jehličnaté lesy a nezavlažovaná orná půda. Na rozhraní NPP Babiččino údolí přecházejí jehličnaté lesy ve smíšené lesy. V Babiččině údolí pak nalezneme hlavně louky a pastviny, ovocné sady a plantáže ovocnin. V menší míře se tu vyskytují listnaté lesy a zemědělské areály.

Městskou zástavbu pak představují Červený Kostelec, Česká Skalice a Jaroměř. V blízkosti České Skalice se vyskytuje vodní plocha Rozkoš a na východě sportovní areály. Jižně od Skalice a západně od nádrže Rozkoše najdeme zemědělské areály, smíšené lesy a přechodné lesokřoviny. Od Skalice podél řeky Úpy se vyskytují hlavně louky a pastviny a ovocné sady (Faltysová, 2002).

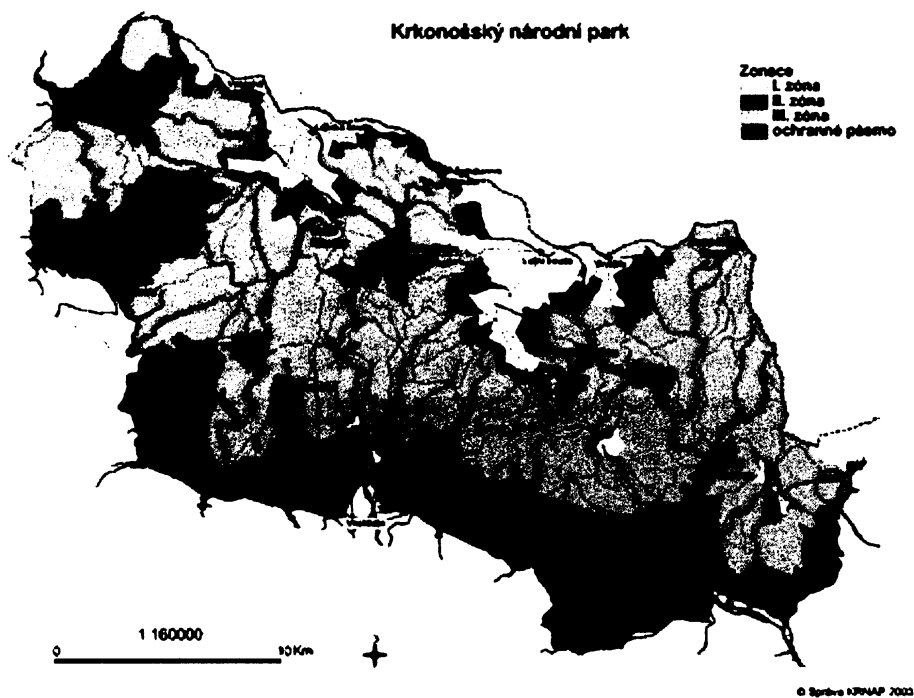
## **2.7 Fytogeografie**

Většina povodí z fytogeografického hlediska spadá do mezofytika. Patří sem oblast Podkrkonoší a část Sudetského mezihoří. Severní část území, vymezená zhruba hranicemi KRNAP, patří do oblasti horské květeny nazývané oreofytikum. Dolní tok Úpy patří do teplomilné květeny zvané termofytikum (Faltysová, 2002).

## **2.8 Chráněná území**

V celém povodí je několik chráněných území a díky výskytu jednoho ze čtyř národních parků v České republice se může oblast pyšnit svou výjimečností. Území horního povodí zaujímá velkoplošné chráněné území Krkonošský národní park (KRNAP), který byl založen v roce 1963. Jeho celková výměra činí 54,969 ha, ale do povodí Úpy zasahuje asi tak třetinou rozlohy. Park je ohraničen hranicemi s Polskem, Mladými Buky, Kalnou Vodou, Babím a Žacléřem. Zahrnuje tedy Pec pod Sněžkou, Janské Lázně a Svobodu nad Úpou. Většina území národního parku spadá do geomorfologického celku Krkonoše (podcelky Krkonošské hřbety, Krkonošské rozsochy a Vrchlabská vrchovina) a jen okrajově sem zasahuje Krkonošské podhůří (podcelek Podkrkonošská pahorkatina).

KRNAP se dělí do čtyř zón (obr 2.4) podle stupně ochrany - I. zóna zahrnuje oblast Sněžky a pramen Úpy; II. zóna horní úsek Úpy a horní levostranný přítok; III. zóna Pec pod Sněžkou, Horní Maršov, Malou a Velkou Úpu; IV. zóna zahrnuje oblast až po Svobodu nad Úpou.



Obr. 2.4 - Zóny KRNAPu (zdroj: [www.krnep.cz](http://www.krnep.cz))

Přírodní památkou zahrnující katastrální území Černou Horu v Krkonoších a Velkou Úpu je Černohorské rašeliniště vyhlášené roku 1952. Oblast zahrnuje komplex rašelinišť situovaných severně od Černé hory asi 4 km severozápadně od města Janské Lázně v okrese Trutnov a spadá pod administrativní správu KRNAP.



Obr. 2.5 - Černohorské rašeliniště (zdroj: [www.„Expedice Krkonoše 97“](http://www.„Expedice Krkonoše 97“))

Mezi maloplošná chráněná území patří PP Slunečná Stráž vyskytující se severovýchodně od Svobody nad Úpou. PP byla vyhlášená v roce 1995. Nachází se v submontánním stupni v ochranném pásmu KRNAP, asi 800 m východně od papírny

v Dolním Maršově, na katastrálním území Svoboda nad Úpou a Maršov u Úpice. Předmětem ochrany je rozsáhlý komplex slatinných a rašeliništních luk s bohatou a dosud zachovalou mozaikou celostátně ohrožených rostlinných společenstev.

Dalším chráněným územím je NPP Babiččino údolí založené v roce 1952. Tato památka krajinného rázu zachycuje harmonický, člověkem dotvořený úsek krajiny v lučinatém údolí Úpy mající parkový charakter. Oblast zahrnuje katastrální území Zlích, Žernov, Červenou horu, Malou Skalici a Ratibořice



*Obr. 2.6 - Babiččino údolí, Viktorčin splav (zdroj: [www „Školní exkurze do Babiččina údolí“](http://www.Školní exkurze do Babiččina údolí))*

Posledním chráněným územím je PR Dubno nacházející se severně od přehradní nádrže Rozkoše, asi dva kilometry severovýchodně od České Skalice u obce Kleny. Rezervace vznikla v roce 1956 a zahrnuje katastrální území České Skalice, Kleny a Zlíše. Obsahuje komplex lužního lesa (tzv. tvrdý luh), slatinných luk a Zlíčského rybníka.



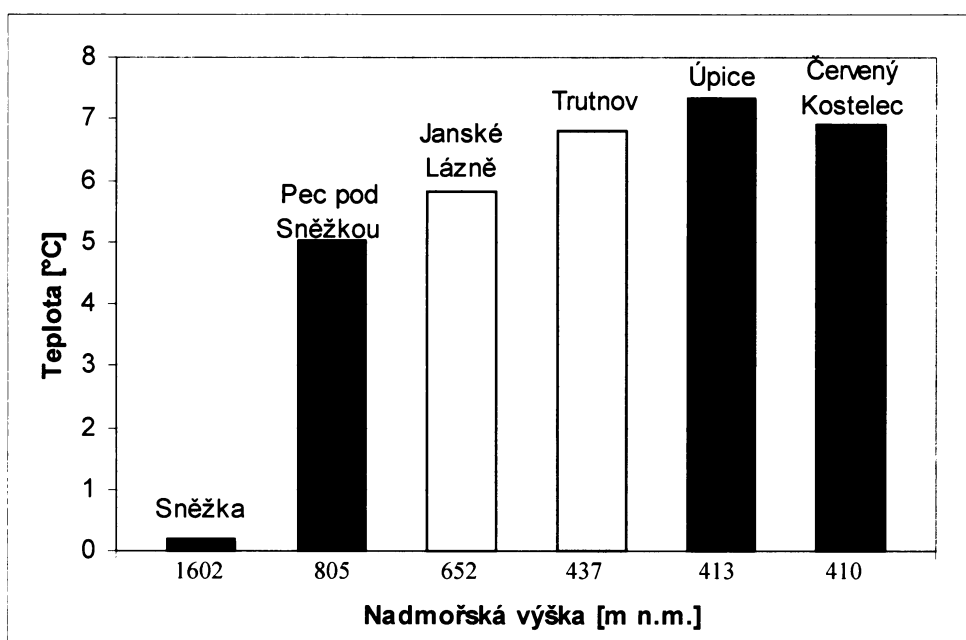
*Obr. 2.7 - Zlíčský rybník (zdroj: [www „Příroda Náchodska“](http://www.„Příroda Náchodska“))*

## 2.9 Klimatická charakteristika

Podnebí povodí řeky Úpy je určováno polohou i lokálními klimatotvornými vlivy, především orografickými. Opět se na velké různorodosti podnebí projevuje poměrně velký rozsah nadmořských výšek – nejvyšším bodem Sněžka 1602 m n. m., nejnižším bodem ústí Úpy do Labe 250 m n. m. Podnebí se s nadmořskou výškou výrazně mění od poměrně teplého a suchého v nejnižších částech povodí až po velmi chladné, vlhké a drsné s velkým množstvím sněhu v zimě na hřebtech Krkonoš.

Podle E. Quitta (1971) spadá povodí Úpy do dvou klimatických oblastí – do chladné a mírně teplé klimatické oblasti. Nejchladnější oblastí České republiky je CH4, která se v povodí vyskytuje ve výškách nad 1200 m n. m. Polohy nad 1000 m patří do oblasti CH6 a přelom Krkonošského a Podkrkonošského bioregionu do CH7. Nejrozsáhlejší území mírně teplé oblasti zabírá MT2, dále pak MT7, MT9 a MT11. Většina povodí Úpy od ústí po Svobodu nad Úpou leží v mírně teplé klimatické oblasti.

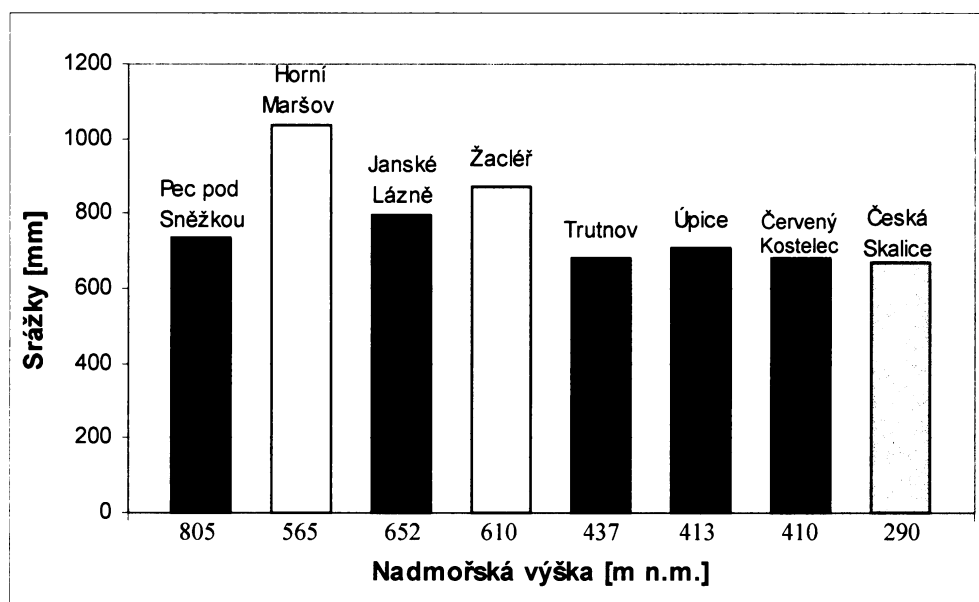
V mírně teplé oblasti se průměrná červencová teplotou vzduchu pohybuje kolem 16-18 °C, průměrným počtem letních dnů 20-50 a průměrným počtem mrazových dnů 110-160. V chladné klimatické oblasti je průměrná červencová teplotou vzduchu 12-16 °C, průměrný počet letních dnů do 30 a průměrný počet mrazových dnů nad 140. Průměrná roční teplota některých oblastí je zakreslena v obr. 2.8. Teplota vzduchu je rozhodujícím způsobem ovlivněná nadmořskou výškou a částečně konfigurací terénu. Závislost na zeměpisné šířce a délce je zde velice malá.



Obr. 2.8 - Průměrná roční teplota vybraných stanic ČHMÚ

Krkonoše mají své specifické klima. Vysokohorské rysy přírody krkonošských hřbetů a hřebenů podtrhuje a formuje drsné klima s velmi chladnými severními a severozápadními větry, nízkými teplotami vzduchu a vysokými úhrny atmosférických srážek. Roční úhrny srážek zde dosahují 900 až 1600 mm. Na náhorní plošině má podnebí vzhledem k velké nadmořské výšce a exponované poloze velmi chladný ráz. Nejchladnějším a nejdeštivějším územím je Sněžka s průměrnou roční teplotou 0,2 °C a srážkami 1227 mm. Nižší chráněné polohy jsou příznivější. Srážky rychle stoupají do nitra pohoří a na východním úpatí se projevuje mírný srážkový stín, srážky v Žacléři dosahují asi 850 mm za rok (Culek, 1996).

Pokud vynecháme Krkonoše, tak průměrná roční teplota území činí 7-8 °C. Pod bodem mrazu je území v období od 1. prosince do 1. března, na Trutnovsku se mrazové dny objevují do konce 1. poloviny května, na Jaroměřsku do začátku května. Období bez mrazů trvá průměrně 280 dní a na Trutnovsku 260 dní v roce. První sníh se objevuje kolem 21. listopadu a na Trutnovsku již 11. listopadu do 11. dubna. Sníh na Jaroměřsku se vyskytuje asi čtyři měsíce od 21. listopadu do 21. března. Sněhová pokrývka se vyskytuje asi 80 dní, na Trutnovsku 100 dní, na Jaroměřsku 60 dní v roce (Faltysová, 2002). Průměrné množství srážek v podhorské oblasti se pohybuje kolem 700-900 mm a v dolní části povodí kolem 650-700 mm za rok (obr. 2.9).

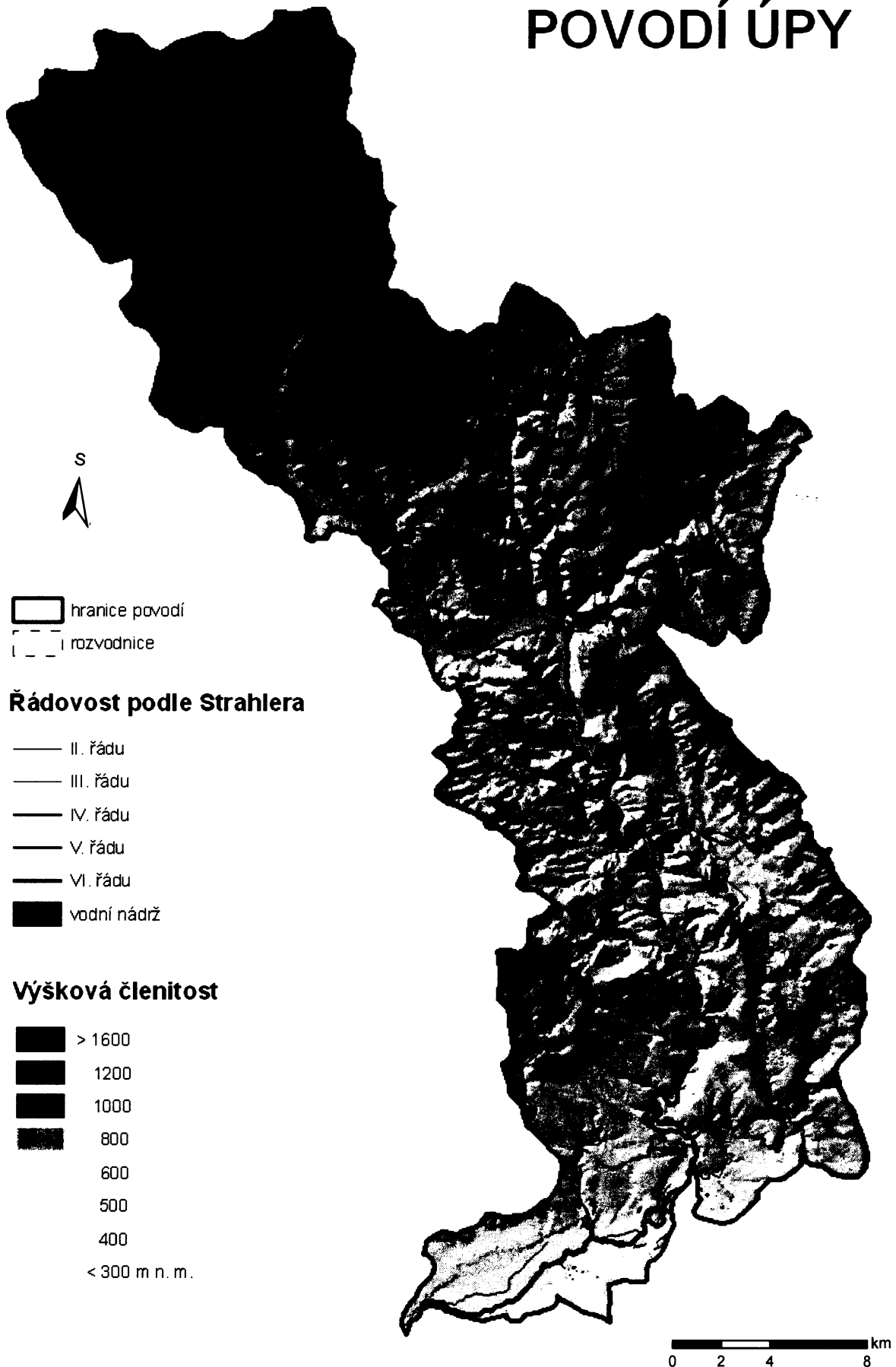


Obr. 2.9 - Průměrné roční srážky vybraných stanic ČHMÚ

## 2.10 Hydrologická charakteristika

Říční síť prodělala dlouhý a složitý vývoj. Její rozložení bylo ovlivněno geologickou stavbou podloží, geomorfologickým vývojem (obr 2.10) i změnami klimatu ve čtvrtohorách.

# POVODÍ ÚPY



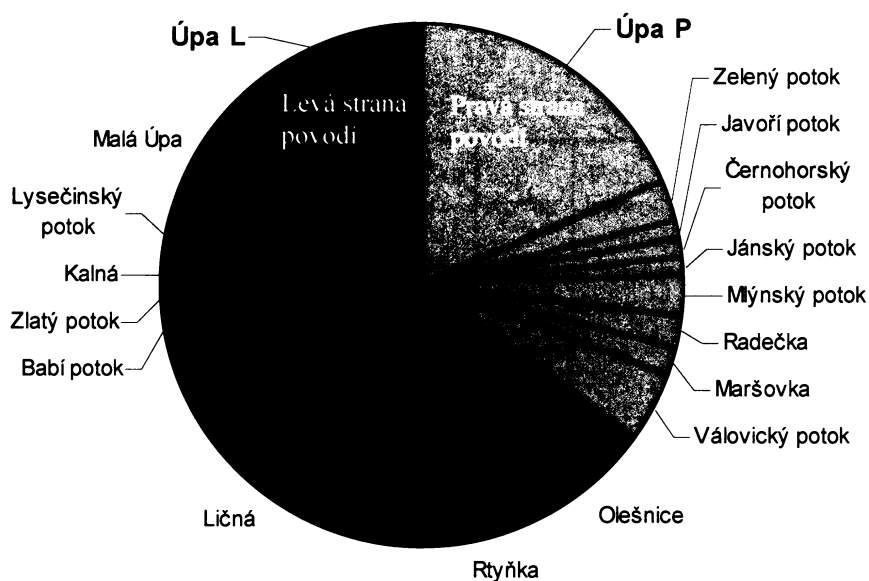
Obr. 2.10 – Povodí Úpy



Nejhořejší tok pod Pecí pod Sněžkou je velmi balvanitý s velkým spádem. Od soutoku Úpy a Malé Úpy se spád poněkud zmírňuje. Pod Poříčím vstupuje Úpa do hlubokého, lesnatého údolí, kde je koryto kamenité, šterkovité a s množstvím peřejí. Poté protéká řeka Viktorčiným splavem, Starým Bělídlem, Ratibořicemi a Českou Skalicí, pod níž se údolí otevírá a rozšiřuje. Řeka pak opouští lesy a s malým spádem meandruje loukami k Jaroměři. V této části má řeka mnoho jezů, jízku a stupňů v jednotvárné krajině.

V dolním povodí Úpy u obce Zlích podtéká řeku Olešnici úpský přivaděč a o něco níže se vlévá do Úpy. Úpský přivaděč je veden od splavu k tomu účelu zbudovanému v jižní části Babiččina údolí a pomáhá doplňovat stav nádrže Rozkoš u České Skalice, která již ale patří do povodí řeky Metuje. Z ní teče voda potokem Rozkoš a vlévá se u Šestajovic do Metuje. Stavba přehrady byla dokončena v roce 1972. Nádrž je poměrně plošně rozsáhlá, ale mělká (plocha 1001,3 ha, průměrná hloubka 10 m, maximální hloubka 17 m). Je hrazena zemní sypanou hrází o výšce 26 m a 420 m dlouhou. Hlavním účelem je zabezpečení zavlažování téměř 40 tisíc ha zemědělské půdy na středním Labi, ochrana před povodněmi, nadlepšení průtoků, chov ryb a v neposlední řadě též sportovní a rekreační využití. Úkolem nádrže je stabilizovat zejména letní stav vody v Labi (Příroda Náchodska, 2006).

Úpa je přímým přítokem Labe a proto patří do II. absolutního řádu. Podle Strahlera (obr. 2.10) radíme Úpu do VI. relativního řádu, který se počítá od pramene k ústí podle přítoků Úpy. Řeka odvodňuje povodí protáhlého tvaru o ploše 513,1 km<sup>2</sup>. Plocha povodí kolem hlavního toku je značně nesouměrná. Mnohem větší plochu zaujímá levá strana povodí (obr. 3.11). Je to dáno tím, že Úpa protéká napříč okresy Trutnov a Náchod spolu s Labem, které ji z pravé strany povodí velmi omezuje.



Obr. 2.11 - Kruhový graf vývoje povodí

Tok Úpy je dlouhý 77,1 km a průměrný dlouhodobý průtok u ústí Úpy činí 6,99 m<sup>3</sup>/s. Spádové poměry jsou poměrně jednoduché s výjimkou horního toku, kde byl podélný profil Úpy ovlivněn morfoloogickým vývojem a pleistocenním zaledněním Krkonoš. Na nejhořejším toku má řeka v úseku 6 km dlouhém velký spád 109,8 ‰. Odtud směrem po toku spád řeky plynule klesá – na dalších 9 km je 22,3 ‰, na středním toku až k České Skalici v průměru 5,6 ‰. Na dolním toku od České Skalice je spád 2,2 ‰. Absolutní spád činí 1182 m (převýšení toku) a průměrný relativní spád je 15,07 ‰ (Balatka, Sládek, 1962).

Pramenná oblast Úpy patří z hlediska zásob povrchových vod mezi důležité sběrné oblasti řek. Oblast je velmi vodná se specifickým odtokem z ploch 10-50 l/s km<sup>2</sup>. Vysoký je i odtokový koeficient (podíl průměrných ročních srážek a průměrného ročního odtoku), který v této oblasti má hodnoty vyšší než 0,5. Zbytek Úpy v podhorské oblasti je dosti vodný se specifickým odtokem 5-10 l/s km<sup>2</sup> (Faltysová, 2002).

Rozdělení odtoků během roku vychází z klimatických podmínek. Podle kritérií M.I. Lvoviče (1945) náležejí české řeky k oderskému typu, protože na všech tocích spadají nejvodnější měsíce do období jarního tání sněhové pokrývky (u nížinných toků je to převážně únor a březen, v pahorkatinách a vrchovinách březen, ve vrcholových partiích vrchovin a v hornatinách nejčastěji duben a ve vrcholových partiích hornatin až květen), jak uvádí Vlček (1984).

Nejvodnějšími měsíci Úpy jsou duben a květen. V chladném období roku (nejčastěji únor, březen) se mohou vytvářet povodňové vlny smíšeného sněhovo-dešťového typu, zatímco v letních měsících bývají povodně z přívalových srážek. Nejnížší průtoky se obvykle vyskytují v září a říjnu. Průtok Úpy patří mezi nejvyrovnanější (0,9 – 1,1). Základní informace o průtocích v povodí Úpy nám poskytují hydrologické stanice (tab. 2.1).

Tab. 2.1 - Základní údaje vodoměrných stanic (zdroj: Hydrologická ročenka 2004)

Vodoměrné stanice	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Nadmořská výška nuly vodočtu [m n.m.]	Vznik	Pozorované hydrologické veličiny	Průměrný roční stav [cm]	Průměrný roční průtok [m <sup>3</sup> /s]
Obří Důl	9,08	887,76	1988	Q	-	-
Horní Maršov	81,63	570,65	1931	Q,T	36	2,69
Horní Staré Město - Trutnov	144,42	445,46	1933	Q	-	-
Bohuslavice nad Úpou*	290,55	371,11	-	-	-	5,45
Slatina nad Úpou	400,46	298,75	1977	Q,T	-	-
Česká Skalice	460,69	274,42	1911	Q	56	6,62

Q = průtok, T = teplota

\* provozuje MěU Trutnov

Přirozený odtok je však již do značné míry ovlivňován člověkem – výstavbou vodních nádrží, odběry, převody vod mezi povodími. Současné měřené hodnoty proto většinou nevyjadřují přirozený srážko-odtokový režim.

Čistota vody je stále problém, i když v průběhu posledních deseti až patnácti let, charakteristických intenzivní výstavbou a uváděním do provozu čistíren odpadních vod ve větších městech a obcích, se postupně zlepšovala jakost vody v celém povodí. Čistota toku spadá (mimo horní tok) do II. - IV. třídy. Na horním toku je střední poškození a zbytek toku mírné poškození. V Trutnově díky tepelné elektrárně dochází ke znečištění vod, znečišťuje se celý tok kromě krkonošské oblasti.

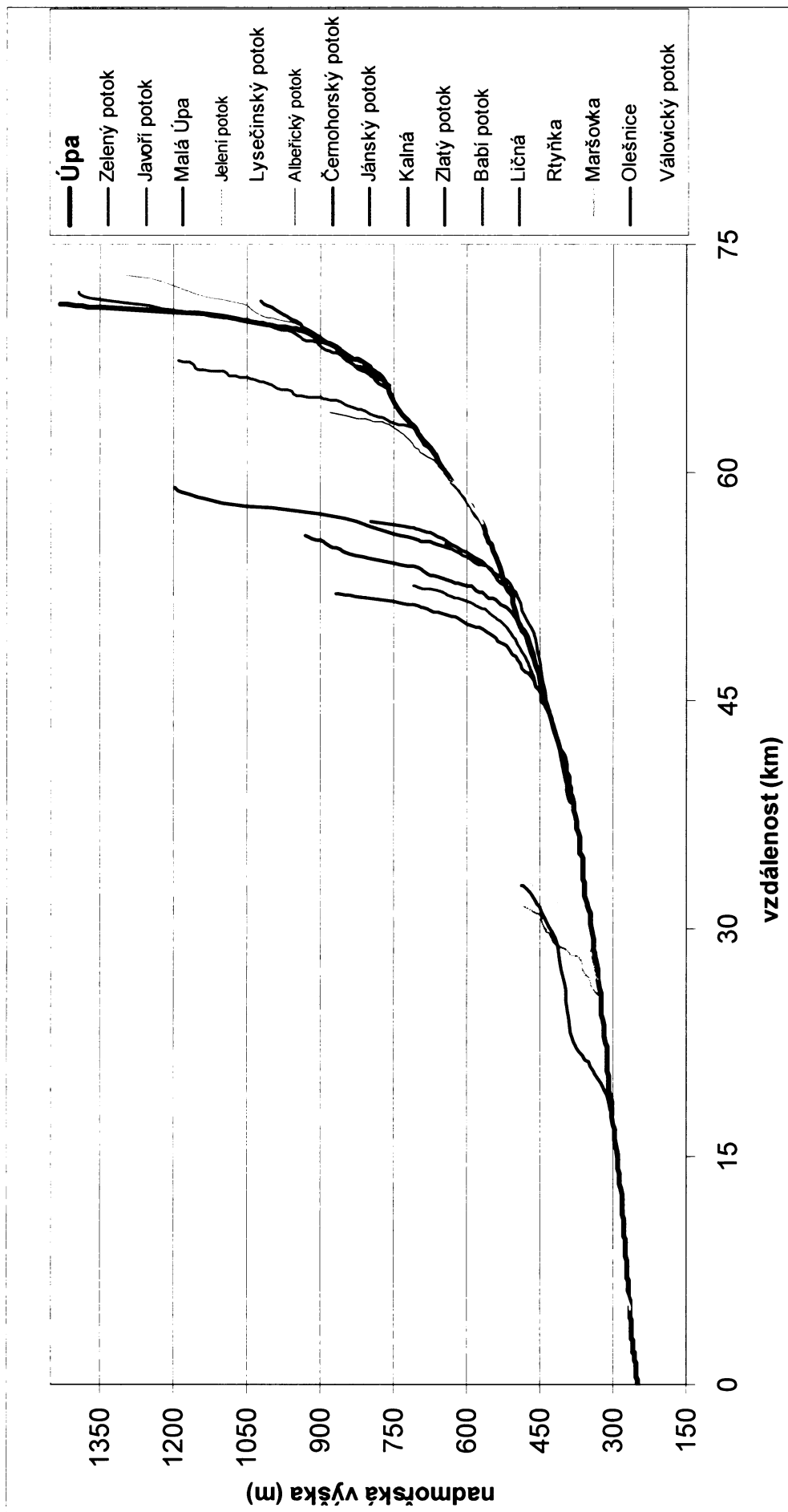
Tab. 2.2 - Jakost vody v profilu Jaroměř, v období 2003-2004 (zdroj: ISVS)

ukazatel	jednotka	min	max	průměr	medián	C90	C95	imisní limity	třída jakosti
teplota vody	°C	1.1	17.3	8.0	6.3	16.3	0.7	25	
reakce vody		7.8	8.2	8.0	7.9	8.2	1.0	6 - 8	
elektrolytická konduktivita	mS/m	21.4	45.4	33.6	33.8	43.7	0.0		II.
biochemická spotřeba kyslíku BSK-5	mg/l	1.5	5.2	3.0	2.6	5.1	0.9	6	III.
chemická spotřeba kyslíku dichromanem	mg/l	8.9	27.0	15.3	14.0	23.2	0.8	35	II.
amoniakální dusík	mg/l	0.01	0.63	0.15	0.13	0.40	1.17	0.5	II.
dusičnanový dusík	mg/l	2.1	4.8	3.2	3.1	4.4	0.7	7	II.
celkový fosfor	mg/l	0.09	0.44	0.29	0.31	0.43	2.92	0.15	IV.

### 2.10.1 Přítoky Úpy a jejich charakteristika

Povodí Úpy je velmi protáhlé, proto má řeka poměrně velké množství přítoků. Některé přítoky jsou velmi krátké, v mapách často nepojmenované, někdy ani nezakreslené. Pravostranné přítoky budu označovat jako P-přítok a levostranné jako L-přítok. Největší množství přítoků je na horním a středním toku (obr. 2.12) Úpy, kde je tedy i nejhustší říční síť. Uspořádání říční sítě je lehce asymetrické, protože plocha levé strany povodí je výrazně větší.

Úpa vyvěrá z Úpské rašeliny a je svým prameništěm ve výšce 1432 m n. m. nejvýše pramenící českou řekou. Po poměrně krátkém toku spadá potok asi 120 m vysokým kaskádovým Horním Úpským vodopádem do Úpské jámy, což je závěr Obřího dolu. Zde se již můžeme setkat s menšími přítoky.



Obr. 2.12 - Podélný profil Úpy a jejích přítoků

Nejvodnatějším přítokem v Obřím Dole je *P-Zelený potok* dlouhý přes šest kilometrů. Pramení u Výrovky a odvodňuje oblast omezenou Širokým hřbetem, úbočí Zadní Planiny a hřbetem Liščí hory.

Z Pece pod Sněžkou teče Úpa jihovýchodním směrem poměrně úzkým údolím obcí Velká Úpa. Pod Červeným vrchem se vlévá do Úpy *L-Malá Úpa* pramenící v oblasti Pomezních bud. Malá Úpa je velmi důležitým přítokem Úpy dlouhým asi 10 km a odvodňuje nejvýchodnější oblasti Krkonoš.

Od soutoku Velké a Malé Úpy teče řeka úzkým, hlubokým údolím jižním a pak východním směrem k Hornímu Maršovu, kde přibírá *L-Lysečinský potok* (573,8 m n. m.) pramenící v údolí mezi Albeřickým vrchem na východě a Pomezním hřebenem na západě. Teče zhruba jižním směrem poměrně úzkým údolím. Jeho velkým přítokem v Dolních Lysečínách je *L-Albeřický potok*, který pramení na východním úbočí Albeřického vrchu.

Z Horního Maršova teče Úpa na jih již širším údolím do Svobody nad Úpou. V tomto úseku přijímá jen několik menších přítoků, na mapě většinou nepojmenovaných. Od Svobody nad Úpou přes Mladé Buky k Trutnovu teče Úpa směrem jihovýchodním. Zprava nemá prakticky žádné přítoky a jsou zde poměrně prudké svahy. Řada potoků pramenících v blízkosti Úpy už teče na JZ do Labe (Fetters, 1989). Zleva přijímá Úpa v tomto úseku přítoky z Rýchor a jihozápadních svahů Vraních hor. Známější je *L-Babí potok* (Trutina) přitékající pod Zlatým potokem v Horním Starém Městě.

V Trutnově tok Úpy mění směr z JV na SSV a na konci Poříčí se stáčí prudce opět téměř k jihu. Dalším důležitým přítokem je *L-Ličná* dlouhá 17,5 km pramenící u Rybníčku nad Bernarticemi. Sbírá vody ze Žacléřsko-lampertické pánve a na západě je omezená severovýchodními svahy Rýchor a na východě západním svahem pásma Vraních hor.

Za Poříčím teče Úpa opět úzkým údolím, několikrát prudce mění směr, který však v zásadě zůstává JJV. Za Úpicí se vlévá *L-Rtyňka*, která pramení v Horní Rtyni a odvodňuje jihozápadní svahy Jestřebích hor. Kousek před ústím byl na potoku vybudován v 60. letech rybník Na Podhájí pro rekreaci a pod ústím Rtyňky do Úpy je splav, nad nímž je veden náhon do továrny Juta v Sychrově (Fetters, 1989).

Za Havlovicemi se opět údolí Úpy výrazně zužuje, po obou stranách jsou prudké lesnaté stráně. Úpa zde teče mnoha zákruty zhruba jižním směrem, údolí se rozšiřuje až v Ratibořicích. Za Ratibořicemi se vlévá *L-Olešnice*, která je největším přítokem v náhodském okrese. Pramení pod Bohdašínem a jejím větším přítokem je Špinka protékající stejnojmenným rybníkem pro rekreaci.

V České Skalici se Úpa stáčí k JZ a teče rovinatějším krajem ke svému ústí do Labe v Jaroměři, v této části se povodí Úpy zužuje. Několik kilometrů jižněji od dolního toku Úpy již teče Metuje a severozápadně sbírají vody přítoky Labe. Posledním důležitým přítokem je *P-Válovický potok* pramenící u Mezilesí.

### 3. METODY VÝPOČTU PLOŠNÝCH SRÁŽEK

V kapitole o fyzicko-geografických charakteristikách povodí Úpy byl podán přehled jednotlivých složek FG sféry a jejich uplatnění v povodí. Z prezentovaných dat a podkladů mimo jiné vyplývají některé podstatné okolnosti, které ovlivňují chování odtoku v povodí a možnosti jeho modelování. Povodí Úpy je protáhlé a prochází od pramene k ústí mnoha změnami, ať už se týkají sklonitosti, podloží, klimatu nebo směru toku, aj. Úpa je horská řeka, ležící ve zdrojové oblasti povodí. Zdrojem odtoku tak jsou výhradně atmosférické srážky. Pokud se budeme chtít zabývat charakteristikou a možnostmi modelování odtoku, vyvstane zásadní potřeba správného odhadu množství srážek v povodí. Z toho důvodu bude na následujících stránkách podán přehled různých metod výpočtu plošných srážek.

Pro výpočet úhrnu plošné srážky v uvažovaném povodí pro uvažovaný časový interval se používají různé metody. Metody se od sebe odlišují způsobem jejich výpočtu, použitím v praxi a zohledněním určitých faktorů. Při výpočtu plošných srážek by měly být v ideálním případě zohledněny následující faktory: nadmořská výška, sklon svahů, expozice svahů z hlediska slunce, převládající směry větrů, rychlosti větru a fyzicko-geografické vlivy. Také horstva a jiné geografické útvary ovlivňují atmosférickou cirkulaci a v důsledku toho i výskyt přívalových dešťů a extrémních srážek. Vyhodnocení těchto procesů je obvykle omezeno nedostatkem pozorování (Daňhelka a kol., 2003).

Na následujících stránkách jsou krátce charakterizovány některé základní metody výpočtu plošné srážky (MAP – *mean areal precipitation*), vysvětleny jsou také jejich odlišnosti, výhody a limity.

#### 3.1 Aritmetická metoda

Nejjednodušší a nejzákladnější metodou je metoda prostého aritmetického průměru určující průměr plošných srážek (obr. 3.1).



Obr. 3.1 - Aritmetická metoda (Chow a kol., 1988)

Nejprve změříme hodnoty jednotlivých stanic ležících přímo ve zkoumané oblasti a spočítáme jejich průměr podle jednoduchého vzorce:

$$\bar{P} = \sum P_n / n, \text{ kde}$$

$P_n$  = množství srážek v dané stanici

$n$  = počet stanic

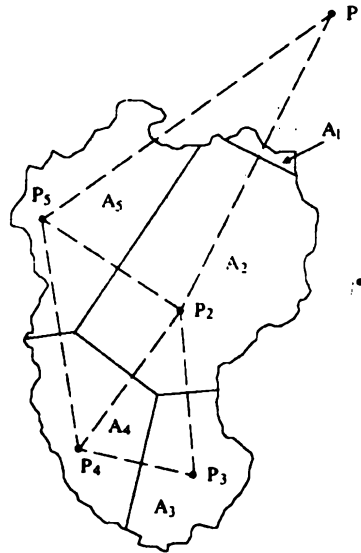
Tato metoda je dostačující, jestliže stanice v dané oblasti jsou rovnoměrně rozložené, nemají mezi sebou velká převýšení a jednotlivé naměřené hodnoty se příliš neodlišují od průměru. Metoda se v praxi používá spíše pro malá povodí.

### **3.2 Metoda Thiessenových polygonů**

Metoda Thiessenových polygonů je o něco přesnější než metoda aritmetického průměru. Tato metoda zohledňuje vzdálenost dopadu srážky od stanice a jejich dlouhodobý úhrn.

Předpokládejme, že chceme zjistit průměrnou hodnotu spadlých srážek na ploše  $A$ . V daném území máme  $n$  počet srážkových stanic  $P$ . Každé stanici přiřadíme určitou plochu v závislosti na tom, jakou váhu má tato stanice v měřené oblasti. K tomu použijeme metodu Thiessenových polygonů (obr. 3.2).





Obr. 3.2 - Thiessenovy polygony (Chow a kol., 1988)

Tato metoda předpokládá, že v jakémkoliv místě oblasti jsou srážky stejné jako v místě nejbližší stanice. Zaznamenané úhrny srážek daných stanic se vztahují na plochy, které rozdělují území na  $A_n$  oblastí. Tyto oblasti nazýváme polygony. K jejich získání použijeme následující postup:

1. pomyslnou čarou spojíme vždy dvě nejbližší stanice
2. ve středu těchto spojníc uděláme kolmici
3. průsečíky těchto kolmic uzavírají hranice polygonů

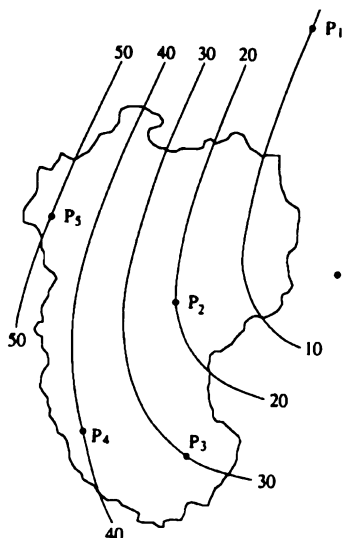
Pokud máme  $P$  stanic a ploše každého polygonu přiřadíme oblast  $A_n$  a  $P_n$  jsou zaznamenané srážky v  $n$ -té oblasti, tak plošný průměr se rovná:

$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n A_j P_j, \text{ kde plocha } A = \sum_{j=1}^n A_j$$

Tato metoda je o něco přesnější než metoda aritmetického průměru. Je výhodná zejména v případech nerovnoměrného rozmístění stanic. Výsledkem zpracování je získání vah jednotlivých stanic, kde váha je dána plochou polygonu. Metoda je vysoce objektivní, umožňuje postupné zpřesňování vah stanic s rostoucí délkou pozorovaného období (Daňhelka, 2003). Nevýhodou je, že není flexibilní, protože pro každé nové území nebo chybějící data z nějaké stanice, se musí vytvořit nová síť polygonů. Metoda opět nebere v úvahu orografické poměry, které pak ovlivňují úhrn srážek, např. jiná nadmořská výška, srážkový stín, aj.

### 3.3 Metoda izohyet

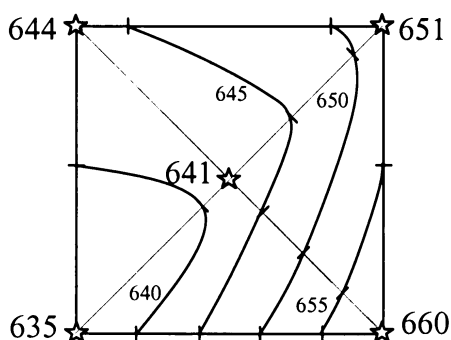
Metoda izohyet překonává některé z problémů předchozích metod pomocí vytvoření izohyet, což jsou spojnice míst na mapě se stejnými hodnotami naměřených srážek (obr. 3.3).



Obr. 3.3 - Mapa izohyet (Chow a kol., 1988)

Abychom mohli spočítat plošný srážkový průměr, musíme sestavit mapu izohyet. Jelikož často nemáme dostatečně velké množství stanic se stejným úhrnem srážek, musíme použít pro sestavení mapy izohyet interpolaci:

1. pomyslnou čarou spojíme vždy dvě nejbližší stanice
2. spojnici stanic rozdělíme na intervaly, hustotu intervalů si můžeme libovolně zvolit
3. spojíme hodnoty o stejné velikosti a vznikne mapa izohyet (obr. 3.4)



Obr. 3.4 - Mapa izohyet, interpolace

Poté, co je mapa izohyet sestavená, zjistíme plochu  $A_n$  mezi každým párem izohyet a vynásobíme srážkovým průměrem  $P_n$  dvou sousedících izohyet, kterými je plocha vytyčena.

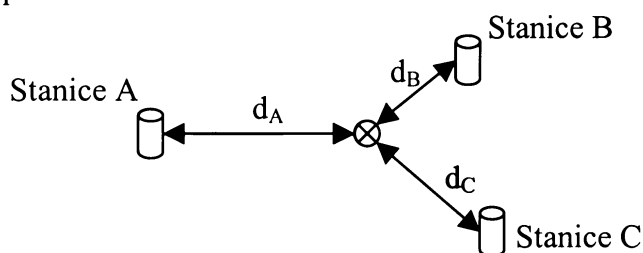
$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n A_j P_j, \text{ kde plocha } A = \sum_{j=1}^n A_j$$

Výhodou metody izohyet je její flexibilita. Abychom sestavili mapu izohyet správně, potřebujeme hustší síť měřících stanic. Pokud máme hustější síť srážkových měřících stanic, tak mapa izohyet může být sestavená pomocí počítačového programu.

### 3.4 Metoda inverse distance (ID)

Metoda ID je jednoduchá interpolace (jiný postup než výše zmiňovaná interpolace), která oproti ostatním metodám dává často přesnější a vyhovující výsledek. Většinou se tato metoda používá u menších povodí.

Na začátku si zvolíme nějaký bod  $x$ , u kterého chceme vypočítat srážku. Kolem daného bodu si zvolíme určitou vzdálenost  $d$ , ve které máme  $j$  počet stanic  $P$  (obr. 3.5). Nyní se můžeme pustit k samotné interpolaci.



Obr. 3.5 – Metoda inverse distance – náčrtek

Základní předpoklad metody ID je, že srážky ze stanic jsou váženy převrácením jejich vzdálenosti od interpolovaného bodu. To znamená, že nejprve musíme změřit vzdálenost každé stanice od bodu  $x$  a potom ji dosadíme do jednoduchého vzorce:

$$x = \sum_{j=1}^n W_j P_j, \text{ kde váha vzdálenosti } W_A = \frac{\frac{1}{d_A^\beta}}{\frac{1}{d_A^\beta} + \frac{1}{d_B^\beta} + \frac{1}{d_C^\beta} + \dots}$$

$x$  = interpolovaný bod

$\beta$  = znázorňuje sílu váhy

$W_j$  = váha vzdálenosti každé stanice

$d_j$  = vzdálenost mezi  $x$  a každou stanicí

$P_j$  = úhrn srážek stanice  $n$

$n$  = počet stanic

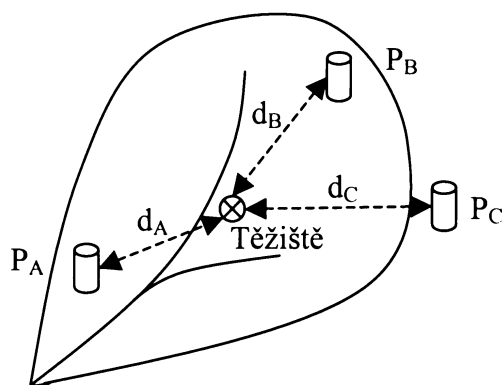
$W_A$  = váha vzdálenosti stanice A

Tento způsob přepočítávání hodnoty upřednostňuje bližší stanice před stanicemi vzdálenějšími, což je oproti ostatním metodám výhodou. Díky převrácení vzdálenosti získávají bližší naměřené hodnoty větší význam. Tento vliv se dá ještě prohloubit mocninou  $\beta$ , jejíž hodnotu si sami můžeme zvolit. Nejčastěji se používá  $\beta = 2$ . Čím bude mocnina větší, tím budou mít bližší stanice větší váhu.

### 3.1.1 Využití metody inverse distance

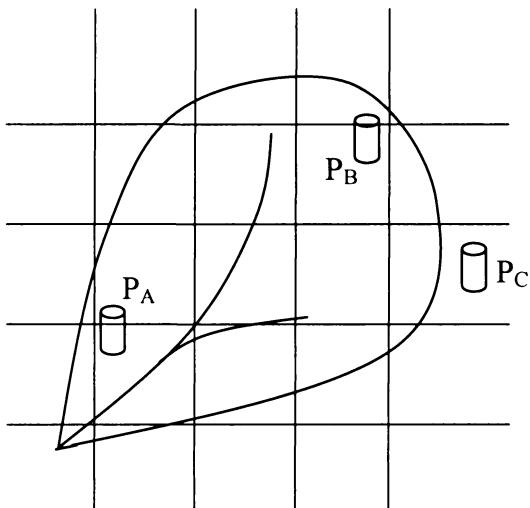
Metodou ID se můžou srážky v povodí počítat buď vzhledem k celému povodí nebo pouze pro jeho dílčí části. Většinou to záleží na dalším využití vypočítané srážky.

Nejprve bude popsán výpočet metodou ID jen pro celé povodí. Při zkoumání určitého hydrologického modelu, v našem případě povodí, musíme nejprve zjistit jeho těžiště. Toto těžiště se stane našim interpolovaným bodem a jeho hodnotu srážky spočítáme klasicky metodou inverse distance. Jeho vypočítaná průměrná srážka se potom vztahuje k celému hydrologickému modelu (obr. 3.6). Tato metoda není většinou dostačující. Aby informace nebyly moc zkreslené, může se využívat jen u malých povodí. Metoda se používá pro modely typu lumped.

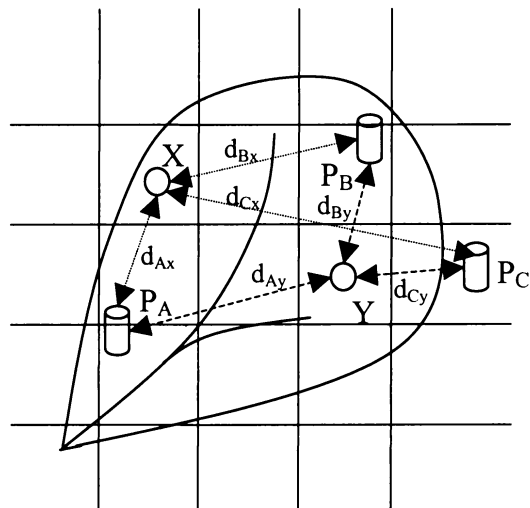


Obr. 3.6 - Inverse distance hydromodelu podle těžiště

Druhou možností metody ID je krigging. Tento způsob se používá u hydrologických modelů distribuovaně. Na začátku máme hydrologický model, který rozdělíme čtvercovou sítí (obr. 3.7). Velikost stran mřížky si sami zvolíme podle velikosti plochy hydrologického modelu. Nyní pro každý grid (i buňky, které se vyskytují na okraji hydrologického modelu) vypočítáme hodnotu srážky pomocí metody ID (obr. 3.8). Vznikne nám tak síť s úhrny srážek.



Obr. 3.7 - Inverse distance, síť



Obr. 3.8 - Inverse distance, krigging

Metoda ID - krigging je oproti předcházejícímu způsobu složitější, ale také dokonalejší. Výhodou je, že s hodnotami v síti lze dále pracovat jednotlivě nebo se dá získat průměr srážek pro celý hydrologický model. Můžeme tak např. dopočítat průtoky pro vnitřní body v povodí. Průměrnou srážku pro celý hydrologický model získáme vypočtením váženého průměru ze všech hodnot tvarů:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j A_j}{\sum_{j=1}^n A_j}, \text{ kde}$$

$\bar{P}$  = průměrné množství srážek hydromodelu

$P_j$  = hodnota srážky každého gridu

$A_j$  = plocha každého gridu

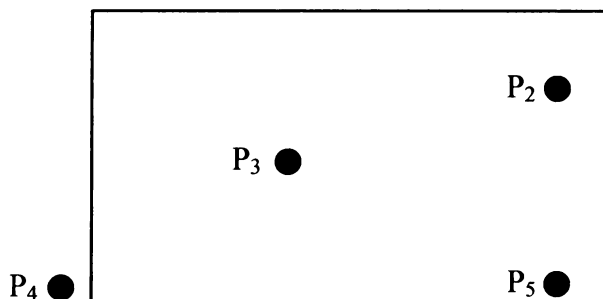
### 3.5 Výpočet plošných srážek

Tato část bude věnována samotnému výpočtu plošných srážek podle popsaných předchozích metod. Aby vše bylo zřetelnější a jednodušší, bude k tomu použito schematické povodí ve tvaru obdélníku o délce stran  $a = 4 \text{ km}$  a  $b = 7 \text{ km}$ , jehož plocha bude  $A = 28 \text{ km}^2$ . Dále vezmeme pět stanic  $P$  s úhrny srážek  $P_1 = 20 \text{ mm}$ ,  $P_2 = 18 \text{ mm}$ ,  $P_3 = 14 \text{ mm}$ ,  $P_4 = 11 \text{ mm}$  a  $P_5 = 20 \text{ mm}$  a přistoupíme k jednotlivým metodám.

### 3.1.1 Metoda aritmetického průměru

Do aritmetického průměru se počítají pouze stanice, které leží ve zkoumaném území.

P<sub>1</sub> ●



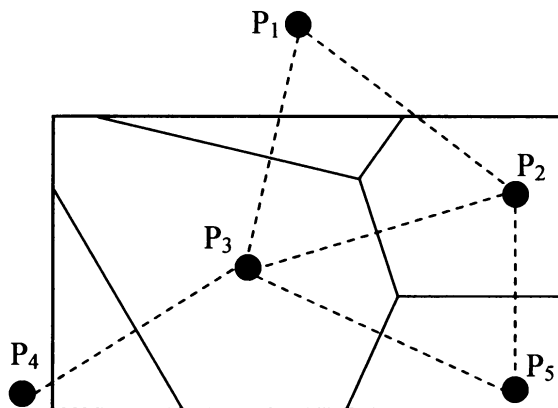
$$\bar{P} = \sum P_n / n$$

$$\bar{P} = \frac{18 + 14 + 20}{3} = 17,3 \text{ mm}$$

Obr. 3.9 – Metoda aritmetického průměru

### 3.1.2 Metoda Thiessenových polygonů

Stanice	Úhrn srážek [mm]	Plocha A [km <sup>2</sup> ]	Srážky vztahené k ploše [mm]
P <sub>1</sub>	20	1,89	37,8
P <sub>2</sub>	18	6	108
P <sub>3</sub>	14	13,51	189,14
P <sub>4</sub>	11	2,7	29,7
P <sub>5</sub>	20	3,9	78
Σ		<b>28</b>	<b>442,64</b>



Obr. 3.10 – Metoda Thiessenových polygonů

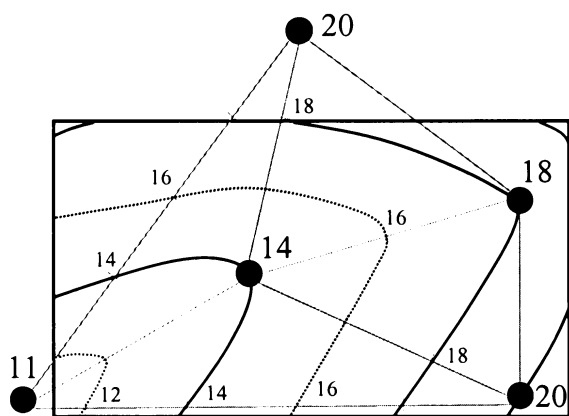
$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n A_j P_j, \text{ kde plocha } A = \sum_{j=1}^n A_j$$

$$\bar{P} = 442,64 / 28 = 15,8 \text{ mm}$$

### 3.1.3 Metoda izohyet

Stanice	Úhrn srážek [mm]	Plocha A [km <sup>2</sup> ]	Průměr srážek [mm]	Srážky vztahené k ploše [mm]
P <sub>1</sub>	20	0,3	21*	6,3
P <sub>2</sub>	18	6,3	19	119,7
P <sub>3</sub>	14	16,9	16	270,4
P <sub>4</sub>	11	3,2	12,5	40
P <sub>5</sub>	20	0,7	15,5	10,85
		0,6	22*	13,2
Σ		<b>28</b>		<b>454,15</b>

\*odhadem



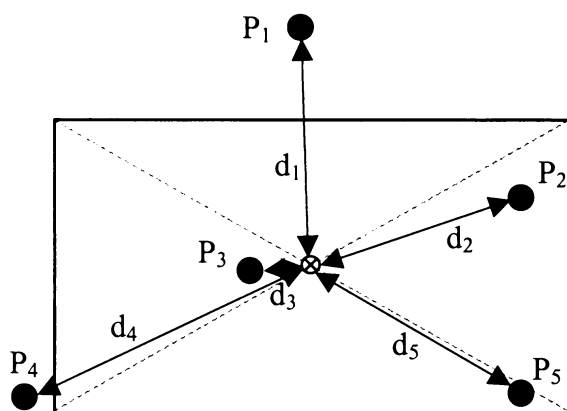
$$\bar{P} = \frac{1}{A} \sum_{j=1}^n A_j P_j, \text{ kde plocha } A = \sum_{j=1}^n A_j$$

$$\bar{P} = 454,15/28 = 16,2 \text{ mm}$$

Obr. 3.11 – Metoda izohyet

### 3.1.4 Metoda inverse distance – těžiště

Stanice	Úhrn srážek [mm]	Vzdálenost [km]	Síla váhy $\beta$	Převrácená vzdálenost	Jmenovatel váhy	Váha vzdálenosti stanice	Srážky vážené vzdáleností
P <sub>1</sub>	20	3,3	2	0,0918	1,9060	<b>0,0482</b>	0,9635
P <sub>2</sub>	18	3	2	0,1111	1,9060	<b>0,0583</b>	1,0493
P <sub>3</sub>	14	0,8	2	1,5625	1,9060	<b>0,8198</b>	11,4768
P <sub>4</sub>	11	4,3	2	0,0541	1,9060	<b>0,0284</b>	0,3121
P <sub>5</sub>	20	3,4	2	0,0865	1,9060	<b>0,0454</b>	0,9077
$\Sigma$							<b>14,7094</b>



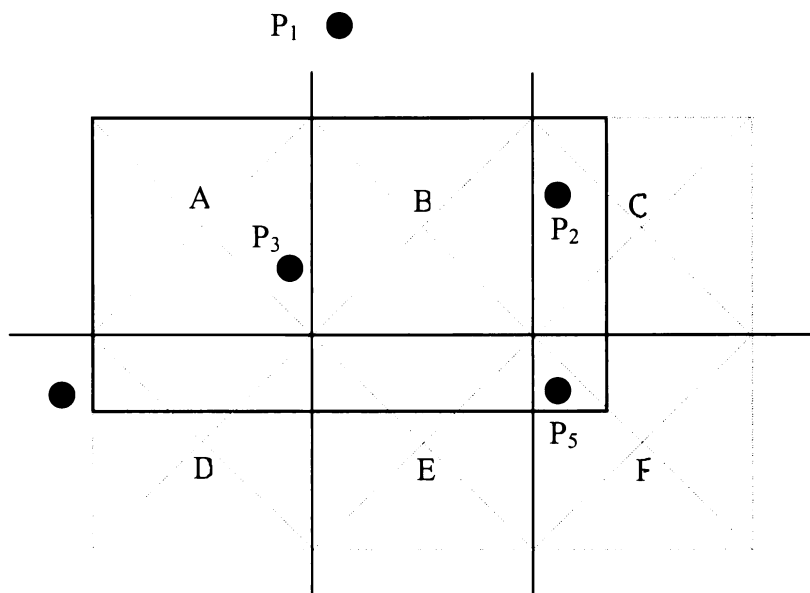
$$x = \sum_{j=1}^n W_j P_j, \text{ kde } W_A = \frac{1}{d_A^\beta} \frac{1}{\frac{1}{d_A^\beta} + \frac{1}{d_B^\beta} + \frac{1}{d_C^\beta} + \dots}$$

$$x = 14,7 \text{ mm}$$

Obr. 3.12 – Metoda inverse distance těžiště

### 3.1.5 Metoda inverse distance – krigging

U této metody nebereme většinou v úvahu všechny stanice. Pro výpočet každého tvaru využíváme stanice jen do určité vzdálenosti, kterou si sami zvolíme. V následující tabulce jsou vypsané stanice, které budeme pro každý interpolovaný bod (A, B, C, D, E, F) používat.



Obr. 3.13 – Metoda inverse distance - krigging

Interpolovaný bod	Stanice
A	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub>
B	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
C	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>5</sub>
D	P <sub>1</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
E	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub>
F	P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>5</sub>

$$x = \sum_{j=1}^n W_j P_j, \text{ kde váha vzdálenosti}$$

$$W_A = \frac{\frac{1}{d_A^\beta}}{\frac{1}{d_A^\beta} + \frac{1}{d_B^\beta} + \frac{1}{d_C^\beta} + \dots}$$

Postup počítání každého interpolovaného bodu je stejný jako postup pro výpočet těžiště popsany výše. Proto pro zjednodušení uvedu již jen výsledek každého bodu: A = 14,5 mm, B = 16,8 mm, C = 18,1 mm, D = 13,6 mm, E = 17,6 mm, F = 19,9 mm.

Nyní z těchto hodnot můžeme vypočítat srážku celého hydrologického modelu pomocí váženého průměru.



Interpolovaný bod	Úhrn srážek [mm]	Zastoupení buňky [0-1]	Váha srážky
A	14,5	1	14,5
B	16,8	1	16,8
C	18,1	0,33	5,973
D	13,6	0,33	4,488
E	17,6	0,33	5,808
F	19,9	0,11	2,189
$\Sigma$		<b>3,1</b>	<b>49,758</b>

$$\bar{P} = \frac{\sum_{j=1}^n P_j A_j}{\sum_{j=1}^n A_j}$$

$$\bar{P} = 49,758/3,1 = 16,1 \text{ mm}$$

### 3.1.6 Výsledky výpočtu

Na závěr jsou všechny výsledky vloženy do tabulky, aby se daly mezi sebou lépe porovnat. Výsledky nejsou příliš odlišné, největší rozdíl je 2,6 mm. Jedna z hlavních příčin jejich podobnosti je, že úhrny srážek jednotlivých stanic se od sebe moc nelišily a proto se rozdíly v jednotlivých metodách tolik neprojevíly.

Metoda	Úhrn srážek [mm]	$\delta$ [mm]
Aritmetický průměr	17,3	1,28
Thiessen polygon	15,8	0,22
Metoda izohyet	16,2	0,18
Metoda izohyet - těžiště	14,7	1,5
Metoda izohyet - krigging	16,1	0,1

I tak je ale vidět, že metoda aritmetického průměru se od ostatních odchýlila nejvíce. Je to způsobené tím, že je velmi jednoduchá. Na rozdíl od ostatních metod vůbec nebere v úvahu plochu nebo vzdálenost stanic.

Asi nejpřesnější metodou je ID – krigging. Je sice nejnáročnější, ale právě proto možná nejlepší. Výhodou metody je, že počítá srážky pro jednotlivé gridy a až potom z těchto hodnot získáme celkovou srážku. Metoda nejvíce zohledňuje vzdálenosti stanic od interpolovaných bodů a uplatňuje se u ní i vliv plochy, pro kterou je srážka počítaná. Na závěr je metodou aritmetického průměru spočítaný průměr získaných hodnot.

$$\bar{P} = \sum P_n / n$$

$$\bar{P} = \frac{17,3 + 15,8 + 16,2 + 14,7 + 16,1}{5} = 16,02 \text{ mm}$$

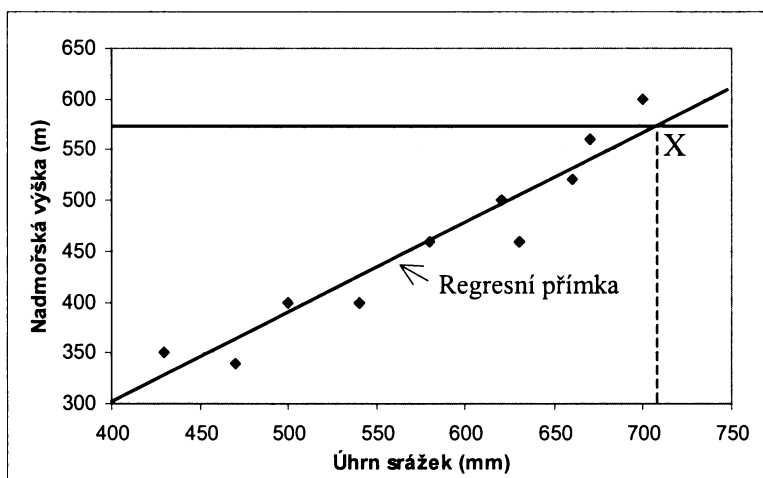
Výsledek je nejvíce podobný výsledku metody ID – krigging. V tabulce je pak znázorněn rozdíl  $\delta$  mezi vypočítaným úhrnem srážek každé stanice a průměrem srážek všech stanic.

### 3.6 Orografická interpolace

Oproti většině předchozích metod je orografická interpolace velmi jednoduchou, a přesto relativně málo používanou metodou. Její výhodou je fakt že do odhadu srážek uvažuje i orografické poměry plochy (respektive stanic). Ostatní metody tento fakt neuvažují, avšak víme, že existuje závislost množství srážek na nadmořské výšce, a to především u dlouhodobějších srážkových úhrnů. Při prostém výpočtu, bez zohlednění nadmořské výšky může dojít k situacím, kdy mezi dvěma stanicemi ležícími v nížině bude například horský hřbet. Při ostatních metodách interpolace, nebude vystižen pravděpodobný nárůst srážek na tomto horském hřbetu.

Při výpočtu této metody musíme znát nejen měřené hodnoty z jednotlivých stanic  $P$ , ale i jejich nadmořskou výšku. Poté sestrojíme graf (viz dole) závislosti úhrnu srážek na nadmořské výšce. Úhrny srážek zakreslíme na osu  $x$  a nadmořskou výšku na osu  $y$ . V grafu vzniknou body, kterými proložíme lineární regresní přímku. Pokud nyní chceme zjistit srážky v určitém bodu  $X$  (případně gridového pole) vyneseme do grafu jeho nadmořskou výšku. Protnutím regresní přímky a nadmořské výšky bodu  $X$  získáme úhrn srážek, který pro náš příklad odpovídá 710 mm.

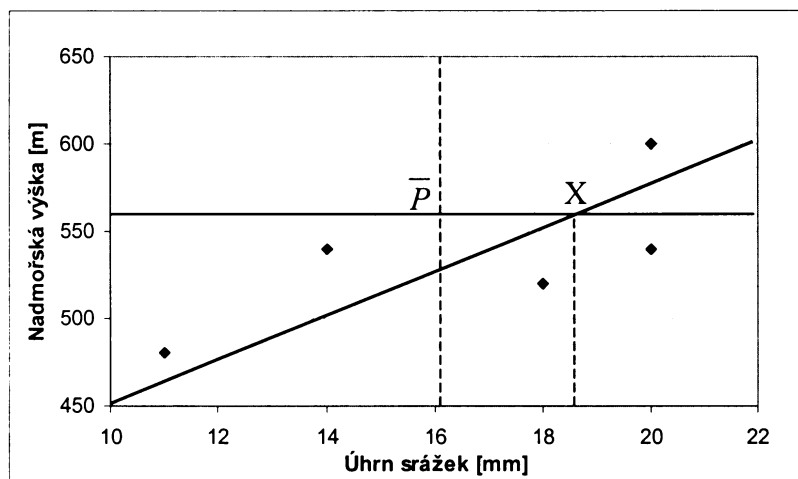
Stanice	Úhrn srážek [mm]	Nadmořská výška [m]
P <sub>1</sub>	620	500
P <sub>2</sub>	580	460
P <sub>3</sub>	700	600
P <sub>4</sub>	660	520
P <sub>5</sub>	540	400
P <sub>6</sub>	430	350
P <sub>7</sub>	630	460
P <sub>8</sub>	470	340
P <sub>9</sub>	670	560
P <sub>10</sub>	500	400
<b>X</b>		<b>570</b>



Obr. 3.14 – Orografická interpolace - náčrtek

Orografická interpolace se většinou používá pro průměrné roční srážky. Důvodem je, že plošné rozložení ročních srážkových úhrnů je méně proměnné, než u krátkodobých srážek a proto výsledná hodnota spíše odpovídá skutečnosti.

Tento způsob se často používá jako doplňkový k ostatním metodám. Jak vidíme z následujícího příkladu, můžeme nejprve vypočítat srážku bodu X a pak výsledek porovnat s orografickou interpolací. Využijeme k tomu výsledek z metody inverse distance – krigging, kde  $\bar{P} = 16,1$  mm. Nyní si zvolíme pro všechny stanice nadmořskou výšku a body zakreslíme do grafu.



Stanice	Úhrn srážek [mm]	Nadmořská výška [m]
P <sub>1</sub>	20	540
P <sub>2</sub>	18	520
P <sub>3</sub>	14	560
P <sub>4</sub>	11	480
P <sub>5</sub>	20	600
$\bar{P}$	<b>16,1</b>	<b>570</b>

Obr. 3.15 – Orografická interpolace

Z grafu vyčteme, že při zohlednění nadmořské výšky dochází k určitému posunu z  $\bar{P} = 16,1$  mm na  $X = 18,7$  mm. Hodnota se od našeho vypočítaného výsledku značně odlišuje. Je to způsobené tím, že bod je oproti ostatním stanicím ve vyšší nadmořské výšce, kde jsou srážky obecně vyšší. Žádná z předchozích metod tento fakt není schopna zohlednit.

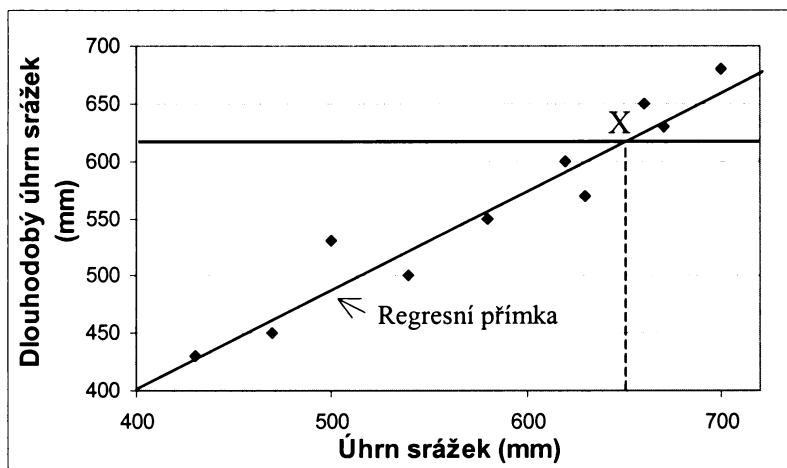
### 3.7 Klimatické prizma

Metoda klimatického prizmatu je podobná orografické interpolaci. Nebere však v úvahu orografické poměry srážek, ale jako jediná metoda zohledňuje dlouhodobé srážky daných stanic. Postup je pak identický jako v předchozím případě.

Na začátku si zvolíme  $n$  počet stanic  $P$  a zjistíme jejich dlouhodobý průměr srážek. Poté tyto body zakreslíme do grafu. Úhrny srážek zakreslíme na osu  $x$  a dlouhodobý průměr srážek na osu  $y$ . V grafu vzniknou body, kterými proložíme regresní lineární přímkou. Nyní si zjistíme

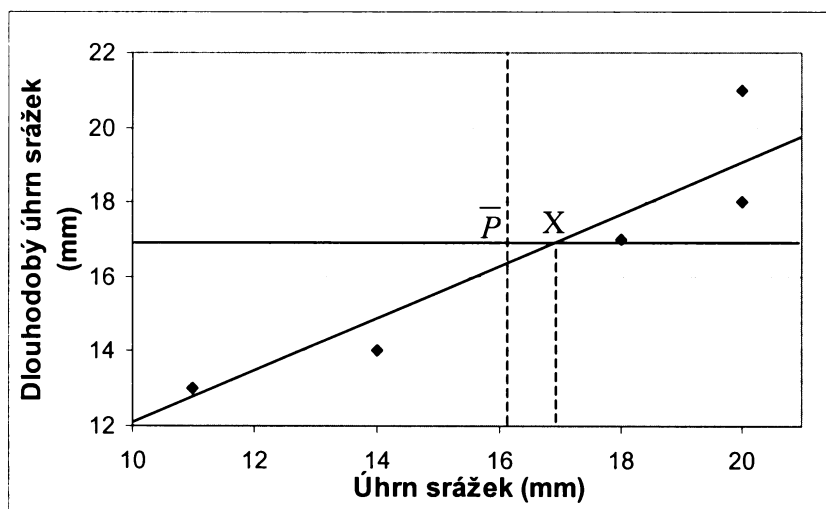
dlouhodobý průměr srážek hledaného bodu X a nanese ho také do grafu jako přímkou rovnoběžnou s osou  $x$ . Protnutím regresní přímky a dlouhodobého průměru srážek bodu X získáme úhrn srážek, který pro náš příklad odpovídá 660 mm.

Stanice	Úhrn srážek [mm]	Dlouhodobý úhrn srážek [mm]
P <sub>1</sub>	620	600
P <sub>2</sub>	580	550
P <sub>3</sub>	700	680
P <sub>4</sub>	660	650
P <sub>5</sub>	540	500
P <sub>6</sub>	430	430
P <sub>7</sub>	630	570
P <sub>8</sub>	470	450
P <sub>9</sub>	670	630
P <sub>10</sub>	500	530
X		620



Obr. 3.16 – Klimatické prizma - náčrtek

Tento způsob se může také využívat jako doplňkový k ostatním metodám. Díky němu lze porovnat změnu krátkodobých a dlouhodobých srážek. Zkusíme si to předvést názorně na příkladu. Opět využijeme výsledek z metody inverse distance krigging, kde  $\bar{P} = 16,1$  mm. Nyní si zvolíme pro všechny stanice dlouhodobý průměr srážek a body zakreslíme do grafu.



Stanice	Úhrn srážek [mm]	Dlouhodobý úhrn srážek [mm]
P <sub>1</sub>	20	21
P <sub>2</sub>	18	17
P <sub>3</sub>	14	14
P <sub>4</sub>	11	13
P <sub>5</sub>	20	18
$\bar{P}$	16,1	17

Obr. 3.17 – Klimatické prizma

Z grafu je vidět, že výsledek je opět odlišný:  $\bar{P} = 16,1$  mm a  $X = 16,9$  mm.

## 4. SRÁŽKO-ODTOKOVÉ MODELY

V rámci svého dalšího studia a zpracování magisterské práce bych se chtěla zaměřit na modelování odtoku právě v povodí Úpy s ohledem na různý způsob zpracování vstupních dat o srážkách. Tyto metody byly představeny v předchozí kapitole. Předpokládám využití modelu Sacramento (SAC-SMA).

### 4.1 Charakteristika srážko-odtokových modelů

Výsledky všech srážko-odtokových modelů jsou jednoznačně závislé na vstupních datech, a to především na jejich kvalitě, reprezentativnosti a aktuálnosti (Lett, Daňhelka 2002).

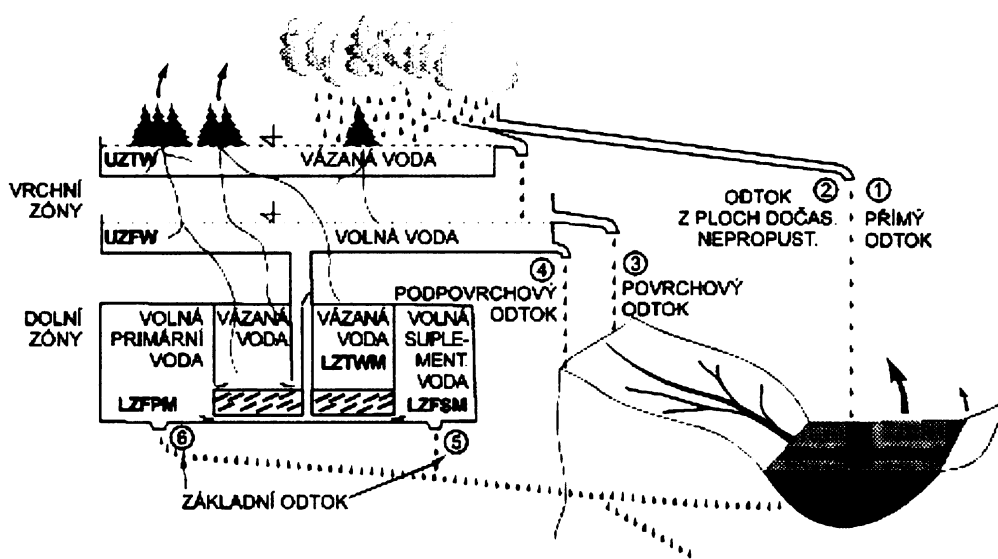
Za standardní vstupy srážko-odtokových modelů jsou většinou považována data z pozemních srážkoměrů. Nevýhoda těchto dat spočívá v jejich plošné diskrétnosti. Údaj získaný ze srážkoměru reprezentuje pouze lokalitu (bod) srážkoměru. Vzhledem k velké plošné variabilitě srážek tak může na základě bodových úhrnů dojít k špatnému odhadu celkových srážek v povodí.

Obecně pro všechny typy srážkoměrů platí, že u nich dochází při měření ke ztrátám, čili že naměřená množství srážek jsou menší než množství skutečně spadlá (Daňhelka, 2005). Tyto ztráty jsou způsobeny mnoha různými vlivy.

### 4.2 Model Sacramento (SAC-SMA)

Mezi nejznámější a nejpoužívanější modely patří model Sacramento. Je to koncepční model založený na principu pohybu vody v půdě. Sacramento patří mezi tzv. lumped modely. Tedy model, který uvažuje celé povodí jako jednu výpočtovou plochu. Nutným vstupem do takového modelu je právě průměrná srážka na celé povodí – MAP.

Model představuje povodí jako soustavu vertikálně a horizontálně uspořádaných zón, resp. nádrží. Voda vstupující do systému je v jednotlivých zónách buď zadržována (např. intercepce v horních zónách) a z nich je buď odčerpávána vegetací (evapotranspirace) nebo perkoluje (infiltruje) do v systému níže položených zón (půdní vláha a zásoby podzemní vody), anebo odtéká ve formě různých složek celkového odtoku do říční sítě. Struktura modelu je patrná z obrázku č. 4.1.



Obr. 4.1 - Struktura modelu Sacramento (zdroj: [www „AquaLogic“](http://www.aqualogic.com))

Označení složek celkového odtoku v modelu Sacramento: 1 – přímý odtok z nepropustných ploch, 2 – přímý odtok z ploch dočasně nepropustných, 3 – povrchový (plošný) odtok, 4 – podpovrchový odtok, 5 – dodatkový (sezónní) podzemní odtok (zóna mělkého proudění), 6 – primární podzemní odtok (zóna hlubokého proudění)

V případě srážek na propustnou plochu (nepropustná plocha vždy produkuje odtok) je nejprve plněna horní zóna vázané vody (půdní vlhkost). V případě, že srážky překročí infiltrační kapacitu dochází k tvorbě přímého odtoku i na jinak propustných vrstvách. Po saturaci (nasycení) horní zóny vázané vody je voda přechodně akumulována v horní zóně volné vody, z té dále perkoluje do nižších zón, nebo je transportována ven ze systému v podobě podpovrchového odtoku. Je-li překročena kapacita perkolace a odtoku podpovrchovým odtokem z horní zóny volné vody, je vytvářen také odtok povrchový.

Tři spodní zóny (spodní zóna vázané vody s vodou dostupnou pro evapotranspiraci, a zóny volné vody primární a suplementární) jsou plněny perkolací současně a odvodňují se nezávisle rozdílnou rychlostí a produkuje základní odtok. Rychlost perkolace z horních do spodních zón je závislá na saturaci spodních zón (za období sucha je nejvyšší).

Evapotranspirace je závislá na vegetačním pokryvu povodí a dostupnosti vody na ni spotřebované (s prodlužující se dobou od poslední srážky se evapotranspirace snižuje).

Model Sacramento je součástí hydrologického předpovědního systému AQUALOG, který pokrývá většinu povodí Labe. Výsledky Sacramento jsou závislé na vstupních srážkových datech a předpovědi srážek (Daňhelka, 2005).

## 5. ZÁVĚR

Úpa je horskou řekou, jejíž povodí je velmi protáhlé. Zároveň leží ve zdrojové oblasti odtoku povodí Labe a proto je velmi důležité zabývat se studiem odtokových poměrů tohoto povodí a možností jeho modelování.

Práce si dala za cíl podrobně charakterizovat fyzicko-geografické poměry povodí Úpy a prezentovat a zhodnotit metody výpočtu plošného úhrnu srážek.

V první části bylo popsáno povodí Úpy z hlediska různých fyzicko-geografických charakteristik a to včetně mapových podkladů. Byl popsán vliv geologických a hydrogeologických poměrů na vývoj říční sítě. Pozornost byla také věnována geomorfologickým charakteristikám, včetně začlenění povodí do systému geomorfologického členění ČR. Zmíněn byl i půdní pokryv území, který je ovlivněn geologickým podložím a klimatem. Krátce byly zmíněny bioregiony a chráněná území zasahující do povodí. Větší pozornost pak byla věnována popisu klimatických a hydrologických poměrů povodí Úpy. Právě otázkou vlivu srážkových vstupů na odtok bych se chtěla zabývat dále v průběhu magisterského studia.

Ve druhé části práce byly popsány a stručně analyzovány metody výpočtu průměrné srážky vztažené k určité ploše, v našem případě k povodí. Byly vysvětleny odlišnosti jednotlivých metod a jejich dopad na přesnost výpočtu. Na modelovém případě bylo demonstrováno použití jednotlivých metod a byly porovnány získané modelové výsledky.

V závěru proto byla krátce zmíněna problematika srážko-odtokových modelů, přitom podrobněji byl popsán pouze model Sacramento.

Z hlediska modelování odtoku jsou znalost modelovaného a srážkové vstupy naprosto zásadním vstupním zdrojem dat, na jejichž kvalitě je úspěšnost každé simulace velmi silně závislá. Metoda výpočtu plošné srážky, případně interpolace srážkového pole, je v takových případech tedy velmi důležitým faktorem pro dosažení úspěšných výsledků modelových simulací.

Tato bakalářská práce by měla být teoretickým podkladem pro mou další práci, která by se měla zabývat zhodnocením dopadu využití různých metod odhadu průměrné srážky na výsledky simulací hydrologického modelu Sacramento.

## 6. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

### Knihy:

- BALATKA, B. a SLÁDEK, J. (1962): Říční terasy v českých zemích. Geofond v ČSAV. Praha. Str. 195-200.
- CULEK, M. a kol. (1996): Biogeografické členění České republiky. Enigma. Praha. 347 stran.
- DAŇHELKA, J. (2005): Nejistota operativních hydrologických předpovědí. Disertační práce. PřF UK. Praha. Rukopis. 217 stran.
- DAŇHELKA, J., KREJČÍ, J., ŠÁLEK, M., ŠERCL, P., ZEŽULÁK, J. (2003): Posouzení vhodnosti aplikace srážko-odtokových modelů s ohledem na simulaci povodňových stavů pro lokality na území ČR. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. Str. F-118 a C-74 až C-82.
- DEMEK, J. (1965): Geomorfologie českých zemí. ČSAV. Praha. 336 stran.
- FALTYSOVÁ, H. (2002): Chráněná území ČR - Královéhradecko V. Agentura ochrany přírody a krajiny. Praha. 410 stran.
- FETTERS, A. (1989): Hydronymie povodí řeky Úpy. Krkonoše/podkrkonoší. Vlastivědný sborník, svazek 8. Muzeum Podkrkonoší Trutnov. Trutnov. Str. 241-268.
- ČHMÚ (2004): Hydrologická ročenka České republiky 2004. ČHMÚ. Praha 2004. 169 stran.
- CHLUPÁČ, I. (2002): Geologická minulost České republiky. Academia. Praha. 436 stran.
- CHOW, V.T., MAIDMENT, D.R., MAYS, L.W. (1988): Applied Hydrology. International Edition, McGraw-Hill Book. Co. Singapore. 572 stran.
- KOHOUTEK, F., HOUSER, M. a DAVÍDEK, B. (1987): Československé řeky – kilometráž. Olympia. Praha. Str. 165-166.
- LETT, P., DAŇHELKA, J. (2002): Požadavky na meteorologické a hydrologické vstupy do hydrologických modelů. In: Povodně: prognózy, vodní toky a krajina. ČVUT v Praze, Fakulta stavební. ČVTVS Praha, listopad 2002. Str. 41-46.
- NĚMCOVÁ, B. (1956): Babička. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. 247 stran.
- NĚMEČEK, J. (1990): Pedologie a paleopedologie. Academia. Praha. 546 stran.
- NETOPIL, R. a kol. (1984): Fyzická geografie I. SPN. Praha. 272 stran.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti Československa. Geografický ústav ČSAV. Brno. 82 stran.



- PORTYCH, Z. (2005): Jakost povrchových vod v povodí Úpy. Diplomová práce. PřF UK. Praha. Rukopis. 167 stran.
- TOMÁŠEK, M. (2003): Půdy České republiky. Česká geologická služba. Praha. 67 stran.
- VLČEK, V. a kol. (1984): Vodní toky a nádrže. Academia. Praha. 316 stran.

### **Další zdroje dat:**

- AquaLogic. [<http://www.aqualogic.cz> – 6.5.2006]
- Český ekologický ústav (2005): Vodovody a kanalizace Trutnov, a. s.: Oznámení záměru – Čistá Horní Úpa. [[http://www.ceu.cz/eia\\_files/HKK114/HKK114\\_\\_oznameni.pdf](http://www.ceu.cz/eia_files/HKK114/HKK114__oznameni.pdf) – 22.4.2006].
- Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). [<http://www.chmi.cz/> - 10.4.2006].
- Expedice Krkonoše 97. [[http://weselka.euweb.cz/turistika/krkonose97/ch\\_raseliniste.jpg](http://weselka.euweb.cz/turistika/krkonose97/ch_raseliniste.jpg) - 3.5.2006].
- Informační systém veřejné zprávy (ISVS). [<http://www.voda.mze.cz/cz/> - 5.5.2006].
- Krkonošský národní park (KRNAP). [<http://www.krnep.cz> – 29.4.2006].
- National Center for Geographic Information and Analysis. [<http://www.ncgia.ucsb.edu> – 15.4.2006].
- Povodí Labe. [<http://www.pla.cz/> - 5.5.2005].
- Příroda Náchodska. [<http://priroda-nachodska.wz.cz/> - 3.5.2006].
- Školní exkurze do Babiččina údolí (28.-29.04.). [<http://lucosek.wz.cz/blog/pix/bu02.jpg> - 3.5.2006].
- The University of Iowa. [<http://www.uiowa.edu/~geog/health/interp/inv.html> – 20.4.2006].
- Ústní konzultace s pracovníky ČHMÚ
- Wikipedia. [<http://en.wikipedia.org/> – 15.4.2006]
- Zdroj geografických dat pro GIS – archiv PřF UK.