

**UNIVERZITA KARLOVA v Praze**  
Přírodovědecká fakulta

Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie  
a užití geofyziky

Albertov 6, 128 43, Praha 2



**Analýza faktorů ovlivňujících chemismus podzemních vod  
krystalinika Šumavy a Krušných hor**

**Diplomová práce**

**Josef Verner**

Vedoucí diplomové práce:

Doc. RNDr. Zbyněk Hrkal, CSc.

Odborný konzultant:

RNDr. Jaromír Šantrůček

Praha, květen, 2006

*Přírodovědecká fakulta UK  
Ústav hydrogeologie, inženýrské geologie a užití geofyziky*

## **Zadání diplomové práce**

**Student:** Josef Verner

posluchač: V roč. šk. r. 05/06

**Téma:** Chemismus podzemních vod

**Odborný konzultant:** RNDr. Jaromír Šantrůček

**Náplň práce:** Posouzení vývoje chemismu podzemních vod a faktorů, které jej mohou ovlivnit

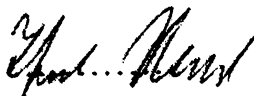
**Podklady:** rešerše podkladů z Geofondu, databáze projektu LOWRGREP

**Termín odevzdání:** 2006

**Název:** Analýza faktorů ovlivňujících chemismus podzemních vod Krušných hor a Šumavy

Praha: 13.3. 2002

Zadávající



Co. Student

Vedoucí diplomové práce

Archiv katedry

## Obsah

<b>Obsah .....</b>	<b>1</b>
<b>Seznam tabulek a obrázků .....</b>	<b>2</b>
<b>Abstrakt .....</b>	<b>5</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>6</b>
<b>Vysvětlivky symbolů a zkratek.....</b>	<b>7</b>
<b>1. Úvod .....</b>	<b>8</b>
<b>2. Metodika práce .....</b>	<b>9</b>
<b>2.1. Terénní práce.....</b>	<b>9</b>
2.1.1. Terénní práce v oblasti krystalinika Šumavy.....	9
2.1.2. Terénní práce v oblasti krystalinika Krušných hor.....	10
<b>2.2. Laboratorní zpracování vzorků.....</b>	<b>11</b>
2.2.1. Laboratorní zpracování vzorků vod krystalinika Šumavy.....	12
2.2.2. Laboratorní zpracování vzorků vod krystalinika Krušných hor	12
<b>3. Lokalizace zájmových území.....</b>	<b>13</b>
<b>3.1. Lokalizace krystalinika Šumavy.....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Lokalizace krystalinika Krušných hor.....</b>	<b>14</b>
<b>4. Přírodní poměry .....</b>	<b>14</b>
<b>4.1. Geomorfologické poměry.....</b>	<b>15</b>
4.1.1. Geomorfologie Šumavy.....	15
4.1.2. Geomorfologie Krušných hor.....	17
<b>4.2. Půdní poměry.....</b>	<b>18</b>
<b>4.3. Klimatické poměry.....</b>	<b>19</b>

4.3.1. Klimatické poměry Šumavy.....	19
4.3.2. Klimatické poměry Krušných hor .....	23
<b>4.4. Hydrologické poměry .....</b>	<b>25</b>
4.4.1. Hydrologické poměry krystalinika Šumavy.....	26
4.4.2. Hydrologické poměry krystalinika Krušných hor.....	27
<b>5. Geologické poměry.....</b>	<b>29</b>
<b>5.1. Geologické poměry krystalinika Šumavy.....</b>	<b>29</b>
5.1.1. Granitoidy modanubického plutonu.....	29
5.1.2. Šumavské moldanubikum.....	30
5.1.3. Kvartérní pokryv.....	32
5.1.4. Tektonika.....	32
<b>5.2. Geologické poměry krystalinika Krušných hor.....</b>	<b>35</b>
5.2.1. Vogtlandsko – saské paleozoikum .....	35
5.2.2. Krušnohorský pluton.....	36
5.2.3. Metamorfity krystalinika Krušných hor.....	36
5.2.4. Kvartérní pokryv.....	38
5.2.5. Tektonika.....	38
<b>6. Hydrogeologické poměry.....</b>	<b>41</b>
<b>6.1. Hydrogeologické poměry krystalinika Šumavy.....</b>	<b>41</b>
6.1.1. Antropogenní vlivy na hydrogeologické poměry na Šumavě...	44
<b>6.2. Hydrogeologické poměry krystalinika Krušných hor.....</b>	<b>45</b>
6.2.1. Antropogenní vlivy na hydrogeologické poměry v oblasti Krušných hor.....	46
<b>7. Přehled terénních a laboratorních metod.....</b>	<b>47</b>

<b>8. Přehled výsledků a diskuze.....</b>	<b>49</b>
<b>8.1. Výsledky statistické korelační analýzy.....</b>	<b>49</b>
<b>8.2. Porovnání chemismu vod krystalinika Šumavy a Krušných hor</b>	<b>51</b>
8.2.1. Mineralizace vod zájmových oblastí.....	51
8.2.2. Hydrochemické vlastnosti forem uhlíku v závislosti na pH....	52
8.2.3. Výskyt hlavních aniontů a kationtů vod zájmových oblastí....	52
8.2.4. Výskyt CO <sub>2</sub> v podzemních vodách.....	54
<b>8.3. Podíl přírodních a antropogenních faktorů na chemismus vod...</b>	<b>54</b>
8.3.1. Přírodní faktory, určující chemismus podzemních vod.....	54
8.3.2. Podíl antropogenních faktorů na chemickém složení podzemních vod.....	55
<b>9. Závěr.....</b>	<b>60</b>
<b>10. Seznam použité literatury.....</b>	<b>61</b>
<b>11. Přílohy.....</b>	<b>62</b>

## Seznam tabulek a obrázků

### Seznam tabulek

Tabulka 1 – Přehled použitých analytických metod.....	11
Tabulka 2 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1931 – 1960 – Šumava.....	21
Tabulka 3 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1996 – 2005 – Šumava.....	21
Tabulka 4 – Průměrné měsíční a roční úhrny sněhových srážek 1996 – 2005 – Šumava	22
Tabulka 5 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1931 – 1960 – Krušné hory...	24
Tabulka 6 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1996 – 2005 – Krušné hory...	24
Tabulka 7 – Průměrné měsíční a roční úhrny sněhových srážek 1996 – 2005 – Krušné hory.....	24
Tabulka 8 – Hydrologické údaje z lokality Šumava z období 1931 – 1960.....	27
Tabulka 9 – Hydrologické údaje z lokality Krušné hory z období 1931 – 1960.....	29
Tabulka 10 – Statisticky významné korelační koeficienty (R) mezi jednotlivými parametry vzorků vod.....	50
Tabulka 11 – Hlavní parametry podzemních vod krystalinika Šumavy a Krušných hor	53
Tabulka 12 – Obsahy toxických prvků ve vzorcích vod. Š Šumava, KH Krušné hory, NMH nejvyšší mezná hodnota, MH mezná hodnota. Hodnoty v mg.l <sup>-1</sup>	58

### Seznam obrázků

Obr. 1 – Geomorfologické členění zájmového území Šumavy podle B.Balatky et al.1972.....	16
Obr. 2 – Geomorfologické členění zájmového území Krušných Hor podle B.Balatky et al.1972.....	18
Obr. 3 – Rozmístění klimatických stanic na Šumavě.....	22
Obr. 4 – Rozmístění klimatických stanic v Krušných Horách.....	25
Obr. 5 – Geologické poměry Šumavy ( <a href="http://map.env.cz">http://map.env.cz</a> ) .....	34
Obr. 6 – Geologické poměry v Krušných horách ( <a href="http://map.env.cz">http://map.env.cz</a> ) .....	40
Obr. 7 – Závislost mezi obsahem Ca <sup>2+</sup> a HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ve vzorcích vod krystalinika Šumavy.....	51

## Abstrakt

Práce se zabývá kvalitativní a kvantitativní charakteristikou přírodních a antropogenních faktorů ovlivňujících chemismus podzemních vod krystalinických hydrogeologických masívů. Obě zájmová území (Šumava a Krušné hory) jsou budovány metamorfity a granitoidními magmatity, v nichž jsou vyvinuty kolektory podzemní vody s puklinovou propustností.

Ve vzorcích ze 104 pramenů byly po periodických odběrech v průběhu let 2000 – 2002 stanoveny hlavní fyzikálně-chemické parametry vod, kationtové a aniontové makrosložky a obsahy stopových prvků.

Výsledky práce ukázaly, že podzemní vody krystalinik Šumavy a Krušných hor se řadí do přípovrchového hydrochemického typu  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$  s nízkými hodnotami celkové mineralizace a obsahu  $\text{CO}_2$  a s průměrnou hodnotou pH ležící v mírně kyselých hodnotách. Hlavní rozdíly mezi zájmovými oblastmi byly zjištěny v typu antropogenních faktorů, ovlivňujících chemismus podzemních vod. Bylo také zjištěno, že z hlediska vlivu na lidské zdraví působí v zájmové oblasti Krušných hor rizikovější antropogenní faktory.

## Abstract

This thesis is aimed at the qualitative and quantitative analysis of natural and anthropogenic factors influencing chemical composition of underground waters of the crystalline hydrogeologic massifs. Both study areas (Šumava and Krušné hory mountains) are composed of metamorphic rocks as well as igneous granites. In these rocks the fissure aquifer have been developed.

The sampling was done at 104 mountain wells. The periodical water withdrawals were done during two-year period of 2000 – 2002. Physical and chemical parameters, main cations and anions and trace elements were determined.

The results of the work show, that the underground waters of crystalline rocks of Šumava and Krušné hory mountains are classed as the upper hydrochemical type  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$  with low values of total dissolved solids and  $\text{CO}_2$  content. The mean pH value of studied waters lies in the field of subacid waters.

The main differences between study areas have been found at the type of anthropogenic factors affecting the chemical composition of the underground waters. It was also found, that in Krušné hory area are taking effect such anthropogenic factors, that are more dangerous for human health.



Vysvětlivky symbolů a zkratk:

AAS	atomová absorpční spektrometrie
AES	atomová emisní spektrometrie
AMA 254	atomový absorpční spektrofotometr AMA 254
BSK <sub>5</sub>	biologická spotřeba kyslíku
DL	detekční limit
CHMI	Czech Hydrometeorologic Institute
CHSK-Cr	chemická spotřeba kyslíku stanovovaná dichromanovou metodou
LOWRGREP	Landscape-use Optimisation With Regards of the Groundwater Resources Protection in the mountain hardrock areas
N	počet vzorků
R	korelační koeficient
SD	standard deviation (směrodatná odchylka)
TDS	total dissolved solids (obsah celkových rozpuštěných pevných látek)

## 1. Úvod

Tato práce se zabývá komplexní analýzou faktorů, ovlivňujících kvalitu podzemní vody krystalinického oběhu v hraničních horských oblastech České republiky. Geologická stavba krystalinik Šumavy a Krušných hor a jejich tektonické charakteristiky daly vzniknout převážně puklinovým kolektorům v pevných horninách a pramenům v kvartérních sedimentech.

Úroveň prozkoumanosti se začala od 60. let zvyšovat v oblasti Krušných hor, a to v souvislosti s rozsáhlou povrchovou těžební činností, která silně zasahuje do hydrogeologických poměrů širšího okolí.

V posledních letech byl v zájmových oblastech v rámci terénních prací projektu LOWRGREP proveden detailnější hydrogeologický průzkum. Výsledky tohoto průzkumu, jejichž přehled podává předkládaná práce, mají přispět k získání nových poznatků o vlivu přírodních a antropogenních faktorů na kvalitu podzemní vody v horských krystalinických oblastech.

Předkládaná práce řeší problematiku vlivu těchto faktorů na chemismus podzemních vod v širších oblastech krystalinických masívů Šumavy a Krušných hor. Řešení tohoto problému směřuje k zodpovězení otázek, týkajících se vzájemné interakce přírodních a antropogenních faktorů z hlediska hydrochemických parametrů podzemních vod.

Cíl této práce spočívá v **hydrochemické charakteristice a popisu podzemních vod krystalinika Šumavy a Krušných hor**. Náplní práce je však také získání **informací o množství antropogenních vlivů na kvalitu podzemních vod**. Třetím a neméně důležitým cílem práce je **porovnání zájmových oblastí z hlediska zastoupení přírodních a antropogenních faktorů**, ovlivňujících chemismus podzemních vod.

## 2. Metodika práce

### 2.1. Terénní práce

Vzorky z pramenů byly odebírány do 1000 ml PET lahví. Vzorkovnice poskytla laboratoř Vodní zdroje GLS Praha, a.s. Čistota vzorkovnic byla zajištěna jejich vyloučením. Vzorkovnice byly transportovány v chladícím zařízení (přenosná lednice) za konstantní teploty odpovídající požadavkům laboratoře. Voda z pramene byla před odebráním do PET vzorkovnic přefiltrována přes síto s velikostí oka 2 mm, aby se zabránilo vniknutí mechanických nečistot. Základní charakteristiky vzorkovaných pramenů viz. příloha 1. Vzorky vod byly po odebrání v chladícím zařízení převezeny do laboratoře.

#### 2.1.1. Terénní práce v oblasti krystalinika Šumavy

V zájmovém území krystalinika Šumavy byly v letech 2000 až 2002 v rámci výzkumných prací projektu LOWRGREP provedeny odběry vzorků podzemní vody z **65 pramenů**, označených S – 1 až S – 65, a také měření terénních fyzikálně-chemických parametrů. Z 65 pramenů bylo celkem odebráno 724 jednotlivých vzorků. Většina pramenů byla za dvouleté období vzorkována 14krát. V těchto případech proběhlo první vzorkování na začátku hydrologického roku, tzn. na přelomu října a listopadu 2000 a poslední odběry byly provedeny v polovině července 2002. Na několika pramenech byly odběrné práce z důvodu nepříznivých klimatických podmínek provedeny v menším množství. Ve většině případů byl odebrán vzorek čisté vody, pouze několik vzorků obsahovalo příměs sedimentu.

V terénu byly stanoveny následující fyzikálně-chemické parametry: **teplota vzduchu, teplota vody a hodnota pH**. Hodnota pH byla stanovena digitálním pH metrem bezprostředně po jeho kalibraci pufracími roztoky. Teplota vzduchu se ve sledovaném období pohybovala v rozmezí od -4,3 °C do 34,2 °C (průměr = 12,6 ; SD = 7,3 ; N = 724). Teplota vody bezprostředně po odběru z pramene se pohybovala v rozmezí od 0,0 °C do 19,8

°C (průměr = 7,5 ; SD = 2,8 ; N = 711). V literatuře (kolektiv autorů, 1964) jsou pro oblast krystalinika Šumavy uváděny poměrně dobře korespondující hodnoty teploty vod pramenů 7 –10 °C. Hodnota pH vody, změřená v terénu se pohybovala od 3,4 do 8,8 (průměr = 5,8 ; SD = 0,9 ; N = 697).

### 2.1.2. Terénní práce v oblasti krystalinika Krušných hor

Také v zájmovém území krystalinika Krušných hor byly provedeny odběry vzorků a terénní měření. V rámci těchto prací projektu LOWRGREP byly v letech 2000 až 2002 odebrány vzorky podzemní vody z **39 pramenů**, označených K-1 až K-39. Z těchto 39 pramenů bylo celkem odebráno 402 jednotlivých vzorků. Odběry byly v jednotlivých letech prováděny v různých časových intervalech a s různou frekvencí. Také v tomto krystaliniku byla voda z většiny pramenů za toto období vzorkována 14krát. Odběrné práce byly také zde započaty počátkem hydrologického roku, konkrétně na konci října 2000 a ukončeny na přelomu července a srpna 2002. Některé prameny byly z důvodu nepříznivých klimatických podmínek vzorkovány méně často. V naprosté většině případů byl odebrán vzorek čisté vody, pouze několik vzorků obsahovalo také menší množství sedimentu.

V oblasti krystalinika Krušných hor zahrnovaly práce v terénu, provedené Ivem Lyszbeckim, měření teploty vzduchu, teploty odebraných vzorků vody a její hodnotu pH. Teplota vzduchu se ve sledovaném období pohybovala v rozmezí od -7,8 °C do 32,2 °C (průměr = 11,7 ; SD = 8,4 ; N = 402). Teplota vody bezprostředně po odběru z pramene se pohybovala v rozmezí od 0,1 °C do 21,4 °C (průměr = 7,9 ; SD = 3,6 ; N = 402). Hodnota pH vody změřená v terénu se pohybovala od 3,6 do 8,2 (průměr = 5,6 ; SD = 0,8 ; N = 402).

Podle těchto hodnot spadají studované vzorky vod obou zájmových oblastí do širšího rozpětí **vod kyselých až slabě alkalických**, které jsou běžné v oblastech krystalinik s významným zastoupením spíše kyselých metamorfítů a granitoidních magmatitů.

## 2.2. Laboratorní zpracování vzorků

Laboratorní analýzu vzorků vod provedla laboratoř Vodní zdroje GLS Praha, a.s. Vzorky s příměsí sedimentu byly před analýzou filtrovány. Při analýze byly použity klasické i instrumentální analytické metody, jejichž výčet je uveden v následující tabulce 1.

Parametr	Analytická metoda
pH	Potenciometrie
alkalita	Acidimetrická titrace
acidita	Alkalimetrická titrace
CO <sub>2</sub>	Vážkově
tvrdost vody	Chelatometrie
sírany	Turbidimetrie
chloridy	Fotometrie
dusičnany	Fotometrie
dusitany	Fotometrie
hydrogenuhličitany	Titrace
hydrogenfosforečnany	Fotometrie
fluoridy	Iontově selektivní elektroda
amonné ionty	Fotometrie
Ca	AAS – plamen
K	AAS – plamen
Na	AAS – plamen
Fe	AAS – plamen
Mn	AAS – plamen
Li	AES – plamen
As	AAS – plamen, kyveta
Ba	AAS – plamen, kyveta
Be	AAS – plamen, kyveta
Cr	AAS – plamen, kyveta
Al	AAS – plamen, kyveta
Cd	AAS – plamen, kyveta
Cu	AAS – plamen, kyveta
Ni	AAS – plamen, kyveta
Pb	AAS – plamen, kyveta
V	AAS – kyveta
Zn	AES – plamen
Hg	AMA 254
Si	Fotometrie
SiO <sub>2</sub>	Vážkově

Tabulka 1– Přehled použitých analytických metod.

Dále bylo důkladně rozlišeno, zda se jedná o hodnotu skutečnou nebo jestli daná hodnota leží pod detekčním limitem metody. Údaje ležící pod detekčním limitem byly ze statistického zpracování vyloučeny, neboť nemají vypovídající schopnost analytické hodnoty.

### **2.2.1. Laboratorní zpracování vzorků vod krystalinika Šumavy**

Výše uvedenými analytickými metodami bylo ve vzorcích vod krystalinika Šumavy stanoveno celkem 33 hydrochemických parametrů. Základní stanovené fyzikálně-chemické parametry jsou laboratorní hodnota pH, alkalita, acidita, obsah CO<sub>2</sub> a tvrdost vody. Vzorky byly dále analyzovány na obsahy následujících aniontů: sírany (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>), chloridy (Cl<sup>-</sup>), dusičnany (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>), dusitany (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>), hydrogenuhličitanů (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), hydrogenfosforečnany (HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) a fluoridy (F<sup>-</sup>). Z kationtů byly stanovovány amonné ionty (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a obsahy těchto hlavních a stopových prvků: Ca, K, Na, Fe, Mn, Li, As, Ba, Be, Cr, Al, Cd, Cu, Ni, Pb, V, Zn a Hg. Dále byly měřeny obsahy Si a SiO<sub>2</sub>.

Při analýze bylo zjištěno, že větší množství převážně stopových prvků se ve vzorcích vyskytuje v množství nižším, než je detekční limit metody. Některé prvky nebyly detekovány v žádném vzorku. Všechny hodnoty, ležící pod detekčním limitem, byly z důvodu jejich nerepresentativnosti vyloučeny z dalšího zpracování.

### **2.2.2. Laboratorní zpracování vzorků vod krystalinika Krušných hor**

Ve vzorcích vod krystalinika Krušných hor bylo stanoveno 35 hydrochemických parametrů. Základní stanovené fyzikálně-chemické parametry jsou laboratorní hodnota pH, alkalita, acidita, obsah CO<sub>2</sub> a tvrdost vody. Vzorky byly dále analyzovány na obsahy následujících aniontů: sírany, chloridy, dusičnany, dusitany, hydrogenuhličitanů, hydrogenfosforečnany a fluoridy. Z kationtů byly stanoveny amonné ionty (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) a obsahy následujících hlavních a

stopových prvků: Ca, K, Na, Fe, Mn, Li, As, Ba, Be, Cr, Al, Cd, Cu, Ni, Pb, Se, Ag, V, Zn a Hg. Dále byly měřeny obsahy Si a SiO<sub>2</sub>.

Také vzorky vod z krystalinika Krušných hor obsahují většinu stopových prvků v množství nižším, než je detekční limit metody a některé prvky nebyly detekovány v žádném vzorku. Všechny hodnoty, ležící pod detekčním limitem, byly vyloučeny z dalšího zpracování.

### **3. Lokalizace zájmových území**

#### **3.1. Lokalizace krystalinika Šumavy**

Zájmové území krystalinika Šumavy se nachází v okolí měst Vimperk, Sušice a Kašperské hory. Na severu a na západě sahá k obci Prášily (cca 15 km západně od hraničního přechodu Železná Ruda) a na východě k obci Vlachovo Březí. Ohraničení zájmového území na jihozápadě tvoří státní hranice se Spolkovou republikou Německo a s Rakouskou republikou. Plocha zájmového území je 1466 km<sup>2</sup> z čehož přibližně 607 km<sup>2</sup> spadá přímo do oblasti Národního parku Šumava. Nejdelší vzdálenost je mezi severozápadním (vrchol Javorná u obce Keply) a jižním cípem území (přírodní rezervace, Rašeliniště Borková) a činí 77 km, maximální šířky dosahuje ve své střední části (mezi vrcholem Pomezny na hranici s Německem a vrchem Frankovec u obce Černětice). Kromě Národního parku Šumava na zájmové území zasahuje převážná část CHKO Šumava, dvě národní přírodní rezervace (Boubínský prales a Velká Niva), dvě národní přírodní památky (Blanice, U Hajnice), dvacet čtyři přírodních rezervací (např.: Milešický prales) a padesát tři přírodních památek (např.: pramen Vltavy, Vltavský luh, Modravské slatě či Trojmezna hora). Na jihu území se nachází vojenský prostor Boletice.

### **3.2. Lokalizace krystalinika Krušných hor**

Zájmové území krystalinika Krušných hor je svým rozsahem větší, než území krystalinika Šumavy. Rozprostírá se v celém území české části Krušných hor. Jedná se o území mnohem delší než širší, protažené podél osy JZ – SV směru, v tomto protažená dosahuje největší délky cca 130 km. Šířka území se pohybuje v rozmezí mezi 4 km ve východní části (hraniční pásmo u obce Fojtovice a severní okraj města Krupka) až 17 km v západní části (hraniční pásmo u obce Bublava a obec Háje). Na jihozápadě sahá zájmové území k obci Oloví (cca 15 km SZ od Sokolova) a na severovýchodě tvoří jeho ohraničení západní okraj města Ústí nad Labem. Zájmové území je dále ohraničeno státní hranicí se Spolkovou republikou Německo. Směrem do vnitrozemí České republiky je jeho ohraničení nejostřeji a nejvýstižněji definováno geologicky, neboť jej tvoří tzv. krušnohorský zlom, dělící krystalinické horniny Krušných hor od terciálních sedimentů a vulkanitů oháreckého riftu. Celková plocha zájmového území je cca 1432 km<sup>2</sup>.

## **4. Přírodní poměry**

Tato část, podávající informace o geomorfologických, klimatických a hydrologických podmínkách zájmového území Krušných hor a Šumavy, vychází zejména z Vysvětlivek k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200000, listu 21-Klatovy (Hazdrová, et al. 1985), listu 22-Strakonice (Hazdrová, et al. 1984), list 32-České Budějovice (Jiří Krásný, et al.) a listy 01 a 11 (Margareta Kolářová – Zbyněk Hrkal et al.).



## **4.1. Geomorfologické poměry**

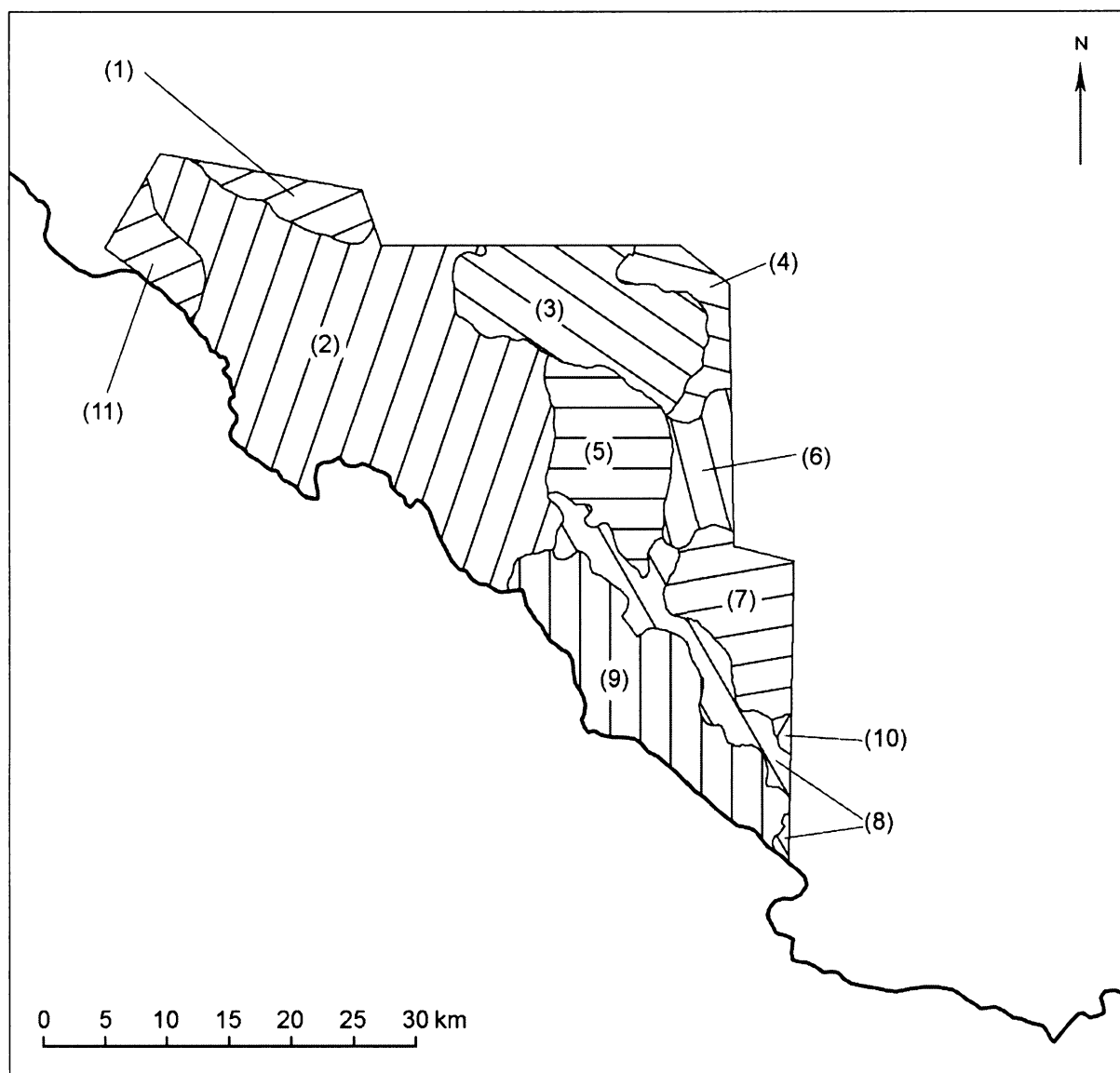
### **4.1.1. Geomorfologie Šumavy**

Celé zájmové území spadá do Jihočeské orografické soustavy (Balatka, et al. 1972), která je zde zastoupena pouze podsoustavou Šumavy: Šumavou a Šumavským podhůřím, viz. obrázek 1.

Na Šumavě lze z morfologického hlediska pozorovat tři pásma (Sekyra in Kodým jun., et al. 1961), táhnoucí se od severozápadu k jihovýchodu. V prvním, pohraničním pásmu, se nachází nejvyšší hřbety a plošiny. Pod hřbety a mírně klenutými kupami nejvyšších vrcholů se nachází četné plošinaté pánve pokryté rašeliništi. Nejvyšší vrcholy tohoto pásma jsou situované v části označované Balatkou, et al. (1972) jako Šumavské pláně (Blatný vrch – 1367 m, Velká Mokrůvka – 1370 m, Černá hora – 1315 m) a v tzv. Trojmezenské hornatině, kde se nachází i nejvyšší vrchol zájmového území (Plechý – 1378 m).

Druhé pásmo leží v nadmořské výšce 600 – 1000 m. Toto pásmo výrazně rozčleněné říční erozí. Na utváření morfologie terénu měla vliv i různá odolnost hornin skalního podkladu.

Pro třetí, nejnižší položené pásmo, je charakteristická selektivní denudace, která izolovala množství vrchů vázaných na průběh žilních hornin.



**Obr. 1 – Geomorfologické členění zájmového území Šumavy podle B. Balatky et al. 1972**

1) I B 2B – Svatoborská vrchovina, 2) I B 1A – Šumavské pláně, 3) I B 2C – Vimperská vrchovina, 4) I B 2F – Bavorovská vrchovina, 5) I B 1D – Boubínská hornatina, 6) I B 2D – Prachatická vrchovina, 7) I B 1E – Želnavská hornatina, 8) I B 1F – Vltavická brázda, 9) I B 1C – Trojmezenská hornatina, 10) I B 2E – Českokrumlovská vrchovina, 11) I B 1B – Železnorudská hornatina

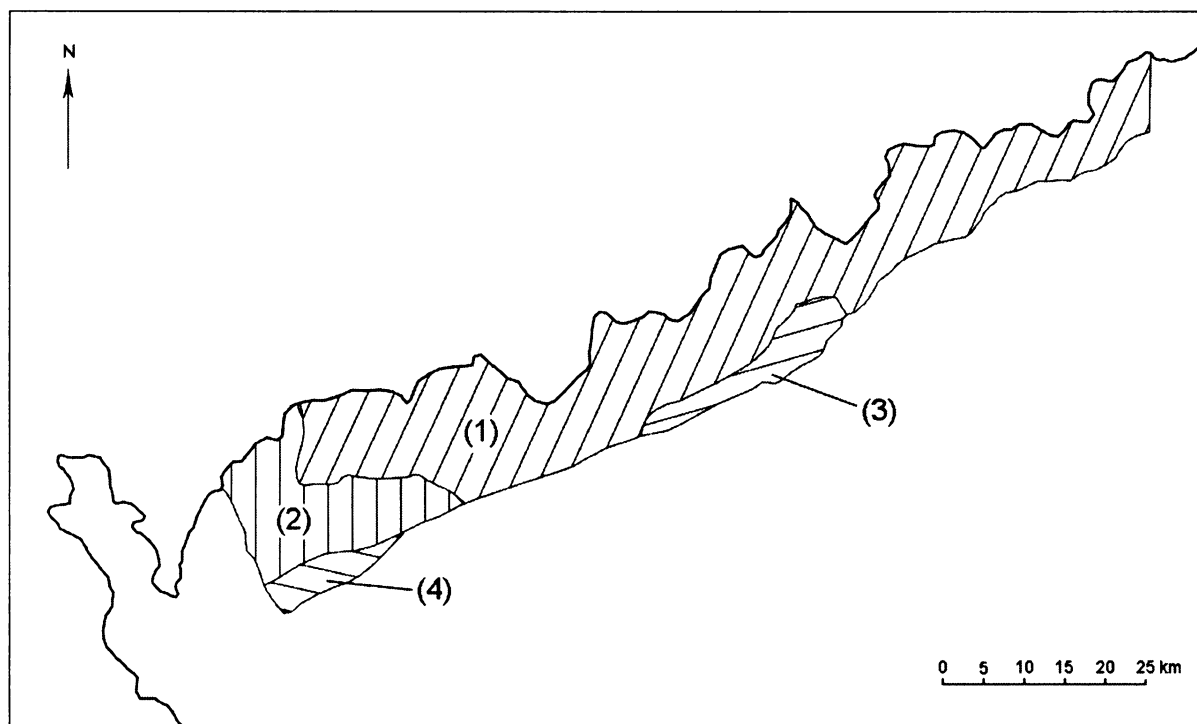
I: Šumavská soustava

I B: Šumavská hornatina: I B – 1: Šumava

I B – 2: Šumavské podhůří

#### **4.1.2. Geomorfologie Krušných hor**

Podle Balatky et al. (1972) patří Krušné hory do geomorfologické soustavy Krušnohorské v provincii Česká vysočina. Krušnohorská soustava je v zájmovém území vytvářena z převážné části Klínoveckou hornatinou a dále pak Nejdeckou vrchovinou, Bolebořskou vrchovinou a Krajkovskou pahorkatinou (obr. 2). Krušné hory tvoří asymetrická kra se složitou stavbou jejíž vrcholová část má parovinný charakter. Nejvyšších nadmořských výšek dosahuje v území podél státní hranice se Spolkovou Republikou Německo. Mezi nejvýraznější morfologické elevace patří Klínovec (1244 m) a Špičák (1115 m). Obě tělesa se nachází v západní části Krušných hor, směrem na severovýchod se pak nadmořská výška vrcholů postupně snižuje (Jelení hora – 994 m, Medvědí skála – 924 m, Loučná - 956 m, Pramenáč 909 m, Cínovec 881 m). Pohoří směrem do vnitrozemí (od podkrušnohorských pánví) velmi prudce klesá s výškovým rozdílem místy až 500 m (Hazdrová, 1985), zatímco do Saska klesá pozvolna a stupňovitě.



Obr.2 – Geomorfologické členění zájmového území Krušných hor podle B. Balatky et al. 1972

1) III A 2a – Klínovecká hornatina, 2) III A 2b – Nejdecká vrchovina, 3) III A 2d – Bolebošská vrchovina,

4) III A 2c – Krajkovská pahorkatina

III: Krušnohorská soustava

## 4.2. Půdní poměry

Vývoj půd je závislý na mnoha přírodních faktorech, především však na složení matečné horniny, na klimatických podmínkách a reliéfu. Podle toho, jak daleko pokročil půdní vývoj, se rozlišují **půdní typy**, na které jsou zájmová území poměrně chudá. Podle Atlasu podnebí ČSR (sine 1958) jsou jak na Šumavě tak v Krušných horách zastoupeny tři hlavní typy půd: **podzoly** a půdy podzolované, **půdy horských poloh** (skeletové půdy) a **půdy rašeliníštní**. Ve velmi malé míře v nejteplejších polohách obou území se nacházejí hnědozemě, půdy tvořící se zvláště v listnatých lesích, které ale často vlivem srážek podléhají vyluhování a přecházejí do podzolů.

Podzoly, které se tvoří zejména na kyselých horninách a nachází se pod lesními porosty, jsou tak vůbec nejvíce zastoupeným typem půd na obou zájmových územích. Středně

podzolované půdy nalezneme například na většině lesních ploch Šumavského podhůří, silně podzolované půdy jsou vázané na výše položená území s velkým množstvím srážek.

Půdy horských poloh se vyskytují v horských částech Krušných hor i Šumavy.

V podmáčených oblastech obou zájmových území se vyskytují rašelinistní půdy. Tyto půdy patří mezi půdy aklimatogení neboli půdy u jejichž vzniku se více uplatnilo složení matečné horniny, případně reliéf a prosycení vodou než klimatická zóna. Na Šumavě můžeme nalézt tento typ půdy například v rašelinisti Borková nebo ve Splavském rašelinisti. V Krušných horách na Božídarském či Cínoveckém rašelinisti.

I z hlediska **půdních druhů** jsou na obou lokalitách půdní poměry značně jednotvárné. Všechny horniny zde zvětrávají na písky více či méně hlinité. V nejvyšších polohách Šumavy a Krušných hor se vyskytují kamenité půdy (většinou horské a lesní). Na většině plochých částí krystalinika (např. Šumavské podhůří, Boží dar a ve většině východní části Krušných hor) se nacházejí hlinité půdy. Na Šumavě a v Šumavském podhůří v místech s mladší erozí se ještě vyskytují písčítokamenité půdy a do oblastí při východní hranici Krušných hor omezeně zasahují půdy písčítohlinité.

### **4.3. Klimatické poměry**

Klimatické poměry zájmových území jsou spjaty s jejich horským charakterem. Zájmová území jsou zpracována podle Atlasu podnebí ČSR (sine 1958).

#### **4.3.1. Klimatické poměry Šumavy**

Nejteplejší část zájmového území na Šumavě je **Šumavské podhůří**, patří do okrsku mírně teplého, velmi vlhkého, vrchovinového (do 1000 m n.m.), v okrajích zájmového území až dokonce mírně teplého, vlhkého, vrchovinového. Tyto okrsky jsou typické počtem letních dnů pod 50, s maximálními teplotami vzduchu do 25 °C. Průměrné teploty vzduchu nejteplejšího

měsíce července jsou kolem 15 °C i více, průměrná lednová teplota kolísá mezi -2,5 až -3,5 °C. Letní průměr (duben – září) je 13 až 14 °C, v zimních měsících (říjen – březen) se průměrná teplota pohybuje kolem 1 °C. Roční průměrná teplota se pohybuje mezi 7 až 8 °C.

Centrální část Šumavy spadá do chladné oblasti a to do mírně chladného okrsku, v nejvyšších částech do okrsku chladného, horského. Červencové teploty se pohybují průměrně mezi 12 až 15 °C, v nejvyšších vrcholcích a hřebenech pouze mezi 10 a 12 °C. Průměrná teplota nejchladnějšího měsíce (leden) klesá až k -4 °C. V letní půlroce se průměrné teploty pohybují v rozmezí 9 – 12 °C, v zimním pak slabě pod 0 °C. Průměrná roční teplota je 4 – 6 °C.

Srážkové úhrny ve sledované oblasti jsou vyjádřeny v dlouhodobých průměrech v tabulkách 2 a 3. Byla použita měření z let 1931 – 1960 a novější měření z let 1996 – 2005. Z původních třinácti srážkoměrných stanic z období 1931 – 1960 se zachovalo do roku 2005 osm v provozu a v mezičase vzniklo třináct dalších.

Průměrné roční srážkové úhrny se pohybují mezi 600 mm až 1200 mm (místy až přes 1400 mm – Prášíly). Je patrné že s nadmořskou výškou rostou i roční srážkové úhrny (Hazdrová, et al. 1984). Letní půlrok je srážkově vydatnější než zimní půlrok. V letním období je úhrn srážek 400 mm až 600 mm, v zimním 250 mm až 600 mm. Nejvíce srážek připadá na měsíc červenec, srážkově nejslabší se jeví duben, přestože podle starších měření to byl březen. Z novodobých měření lze vypočítat nárůst celkového ročního úhrnu srážek a také nárůst úhrnu srážek v zimním půlroce (říjen – březen), naopak letní půlrok byl v posledním desetiletí v průměru sušší než z období 1931 – 1960. Toto se některých případech (Filipova Hut', Kvilda, Srní, Prášíly) projevilo jako vyšší úhrn srážek v zimním půlroku než v letním. Úhrny sněhových srážek jsou uvedeny v tabulce 4.

	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	IV-IX	X-III
1. Bělá - Želnavské myslivny	735	54	46	37	55	71	93	104	88	58	54	46	48	754	469	285
2. České Žleby, Dobrá	766	56	59	41	59	72	93	108	96	53	57	52	58	804	481	323
3. Horní Vltavice, Kubova Huť	1003	55	62	46	58	94	108	127	106	72	63	46	54	891	565	326
4. Knížecí Pláně	1005	84	87	56	68	84	108	135	117	73	73	66	66	1017	585	432
5. Lenora, Houžná	790	55	61	45	48	79	92	115	100	59	52	43	51	800	493	307
6. Nová Pec, Jelení	865	56	53	46	43	66	73	87	72	54	42	46	53	691	395	296
7. Záhvozdí, Myslivna v Červeném Lese	770	50	54	36	53	76	96	107	98	58	48	37	50	763	488	275
8. Husinec	536	22	27	25	43	71	93	98	82	46	44	31	25	607	433	174
9. Kašperské hory	746	46	49	41	56	92	103	122	95	56	55	40	43	798	524	274
10. Prášíly	883	104	105	78	86	101	128	143	119	97	98	81	93	1233	674	559
11. Srní, Schätzův les	390	82	76	56	64	86	102	115	99	66	59	69	76	950	532	418
12. Stachy, Zadov	1003	56	65	53	63	89	115	122	88	64	64	54	56	889	541	348
13. Vimperk	686	40	44	35	51	84	103	111	88	57	49	37	42	741	494	247

Tabulka 2 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1931 – 1960 – Šumava

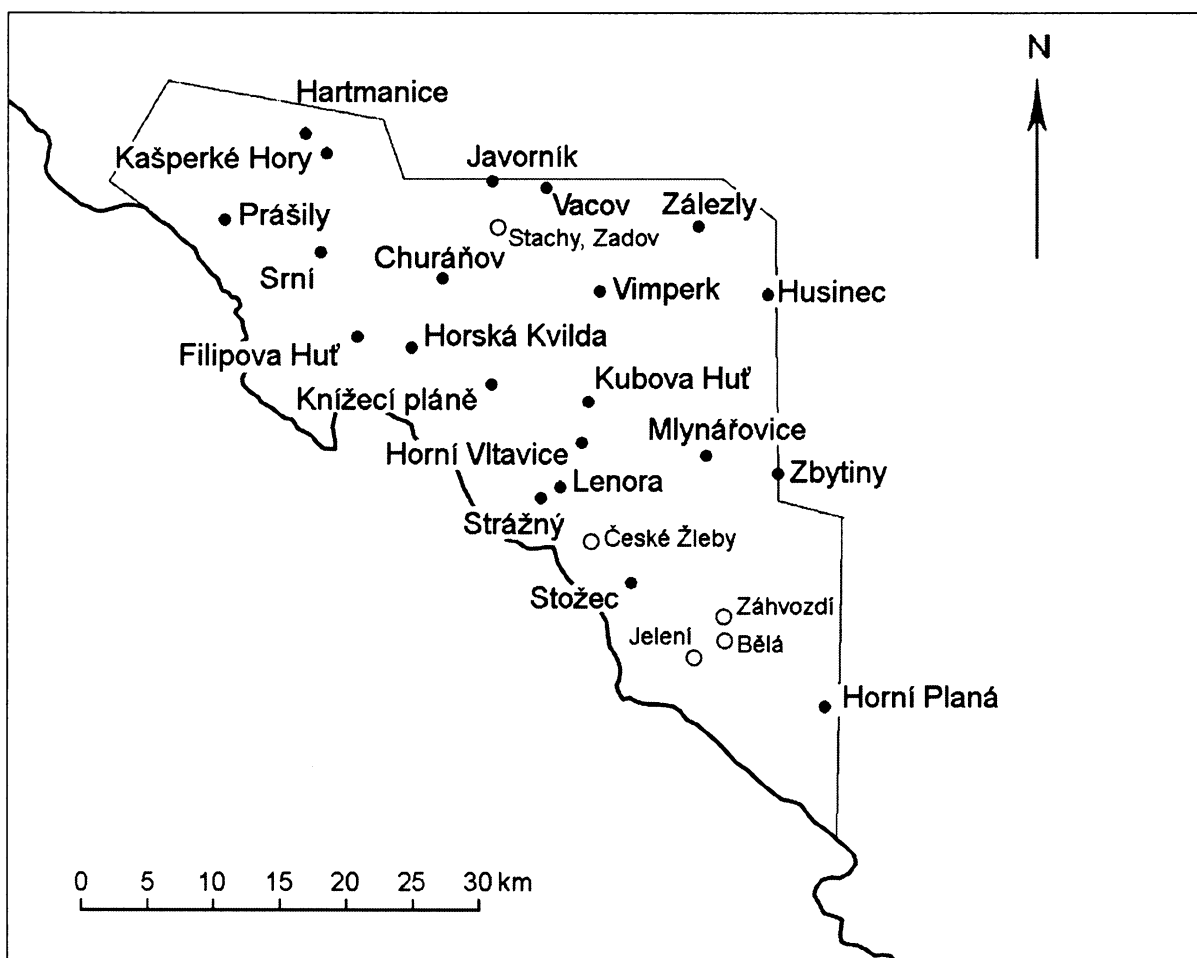
	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	IV-IX	X-III
3. Horní Vltavice, Kubova Huť	1003	64	76	80	54	82	107	131	118	72	78	63	67	991	564	427
4. Knížecí Pláně	1005	68	81	82	50	79	104	130	98	69	89	66	78	995	532	463
5. Lenora, Houžná	790	61	71	66	40	72	83	108	102	71	79	54	65	873	476	397
8. Husinec	536	32	33	56	38	71	90	94	72	55	54	39	32	652	420	247
9. Kašperské hory	746	48	56	63	50	65	92	108	113	66	66	52	48	828	495	333
10. Prášíly	883	132	153	133	67	91	109	139	119	120	138	106	147	1454	645	808
11. Srní, Schätzův les	390	82	104	92	58	73	88	112	106	81	93	75	89	1056	520	536
13. Vimperk	686	44	51	61	45	72	95	103	103	57	64	47	44	787	475	312
14. Churáňov	1118	80	99	103	66	92	100	138	123	86	96	74	86	1141	604	537
15. Filip. Huť	1102	94	118	108	66	85	105	139	112	102	108	82	102	1221	609	612
16. Hartmanice	684	56	72	71	46	62	88	97	101	70	75	62	60	860	464	396
17. Horská Kvilda	1048	92	109	102	62	88	113	141	125	97	101	72	94	1196	626	571
18. Horní Planá	772	41	48	54	38	59	69	111	99	51	65	42	47	724	427	297
19. Javorník	988	52	62	78	49	80	108	120	115	73	73	60	52	922	545	376
20. Kvilda	1062	96	114	105	60	91	106	129	106	89	106	83	105	1189	580	608
21. Mlynářovice	743	60	65	70	44	81	90	112	104	61	76	55	56	873	492	380
22. Stožec	765	67	72	83	56	69	84	106	98	64	79	60	68	905	476	429
23. Strážný	823	80	93	82	47	69	93	115	95	75	91	65	84	990	494	496
24. Vacov, Peckov	738	38	42	60	39	71	94	101	95	62	59	48	40	750	461	287
25. Zálezly	569	28	28	49	36	64	98	91	99	54	51	39	29	665	442	223
26. Zbytiny	887	50	54	56	40	68	84	102	113	55	63	50	47	781	461	320

Tabulka 3 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1996 – 2005 – Šumava

	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	
3. Horní Vltavice, Kubova Huť	1003	54	70	58	18	0	0	0	0	0	0	1	19	39	260
4. Knížecí Pláně	1005	41	52	41	12	0	0	0	0	0	0	1	14	32	194
5. Lenora, Houžná	790	36	47	34	4	0	0	0	0	0	0	0	10	29	161
8. Husinec	536	18	16	9	4	0	0	0	0	0	0	1	5	10	62
9. Kašperské hory	746	25	30	28	8	0	0	0	0	0	0	1	10	20	121
10. Prášíly	883	77	103	85	37	0	0	0	0	0	1	3	23	59	388
11. Srní, Schätzův les	390	37	44	36	10	0	0	0	0	0	1	1	14	32	174

13. Vimperk	686	25	26	20	6	0	0	0	0	0	1	7	17	101
14. Churáňov	1118	59	74	65	28	0	0	0	0	2	4	23	44	297
15. Filip. Huť	1102	90	113	105	59	0	0	0	0	2	5	28	68	470
16. Hartmanice	684	21	26	18	4	0	0	0	0	0	0	9	18	97
17. Horská Kvilda	1048	65	80	62	21	0	0	0	0	1	2	23	47	301
18. Horní Planá	772	21	24	18	4	0	0	0	0	0	0	8	19	95
19. Javorník	988	35	38	35	12	0	0	0	0	1	1	13	27	162
20. Kvilda	1062	66	86	73	33	0	0	0	0	1	2	21	48	328
21. Mlynářovice	743	32	40	31	5	0	0	0	0	0	1	10	27	145
22. Stožec	765	33	42	33	6	0	0	0	0	0	0	13	27	155
23. Strážný	823	44	61	43	10	0	0	0	0	0	0	14	37	209
24. Vacov, Peckov	738	22	22	13	4	0	0	0	0	0	1	7	15	84
25. Zálezly	569	19	18	12	3	0	0	0	0	0	1	6	11	70
26. Zbytiny	887	29	35	31	7	0	0	0	0	0	1	11	23	136

Tabulka 4 – Průměrné měsíční a roční úhrny sněhových srážek 1996 – 2005 – Šumava



Obr. 3 – Rozmístění klimatických stanic na Šumavě



#### 4.3.2. Klimatické poměry Krušných hor

Kromě území nad 1000 m n.m v okolí Klínovce, které patří v rámci chladné oblasti do chladného horského okrsku, spadá převážná část zájmového území Krušných hor stejně jako centrální část Šumavy do chladné oblasti, do mírně chladného okrsku, s průměrnými ročními teplotami pohybujícími se kolem 5 °C a počtem letních dnů pod 50. V nejteplejším měsíci červenci dosahuje průměrná teplota maximálně 14 – 15 °C, v nejstudenějším měsíci lednu klesá až k -6 °C. Průměry letního období kolísají kolem 12 °C, v zimním období se pohybují mírně pod bodem mrazu. Výjimečně v okrajových částech zájmového území zasahuje klimatická oblast mírně teplá, mírně vlhká až vlhká, vrchovinová s mírně teplým podnebím a průměrnou teplotou 6 – 7 °C a počtem dnů pod 50.

Srážkové úhrny jsou v zájmovém území Krušných hor vyjádřeny v dlouhodobých průměrech v tabulkách 5 a 6. Stejně jako v případě Šumavy i zde byla použita měření z let 1931 – 1960 a novější měření z let 1996 – 2005. Z dvanácti původních srážkoměrných stanic z období 1931 – 1960 se zachovaly do roku 2005 v provozu pouze tři. Nových stanic vzniklo osm.

Průměrné roční srážkové úhrny se pohybují mezi necelými 800 mm až 1100 mm. I v Krušných horách lze na mnohých stanicích pozorovat trend z posledního desetiletí, kdy se letní půlrok stává srážkově méně vydatný oproti zimnímu, než tomu bylo v záznamech z let 1931 – 1960. V letním období se úhrn srážek pohybuje od necelých 400 mm až do 560 mm, v zimním 340 mm až 600 mm. Opět ve shodě se Šumavou i zde nejvíce srážek připadá na měsíc červenec, srážkově nejslabší se jeví duben, podle starších měření to byl březen.

Úhrny sněhových srážek jsou uvedeny v tabulce 7.

	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	IV-IX	X-III
1.Abertamy	890	85	83	63	79	70	83	119	92	69	76	74	70	963	512	451
2.Boží Dar - Zlatý Kopec	812	80	80	69	80	83	90	126	92	74	81	63	66	984	545	439
3.Hora Sv.Šebestiána	841	83	79	81	72	81	87	112	84	73	82	65	66	965	509	456
4.Jáchymov	648	82	82	63	77	71	82	116	88	73	86	74	68	962	507	455
5.Klínovec	1244	118	106	76	68	75	95	147	99	79	90	89	112	1154	563	591
6.Přísečnice - Špičák	790	77	67	66	65	78	83	100	79	59	73	57	64	868	464	490
7.Vejprty	780	73	75	66	70	83	85	122	86	67	77	58	62	924	513	411
8.Výsluní	570	61	60	51	56	68	76	93	75	58	67	54	55	774	426	348
9.Jindřichovice	650	57	52	41	50	60	68	95	74	55	55	51	56	714	402	312
10.Oloví	595	69	60	49	53	63	73	97	82	62	64	62	63	797	430	367
11.Stříbrná - Nová Ves	730	67	55	48	51	63	77	106	86	69	67	53	68	810	452	358
12.Velflík	938	74	65	53	64	57	81	117	80	59	70	73	66	859	458	401

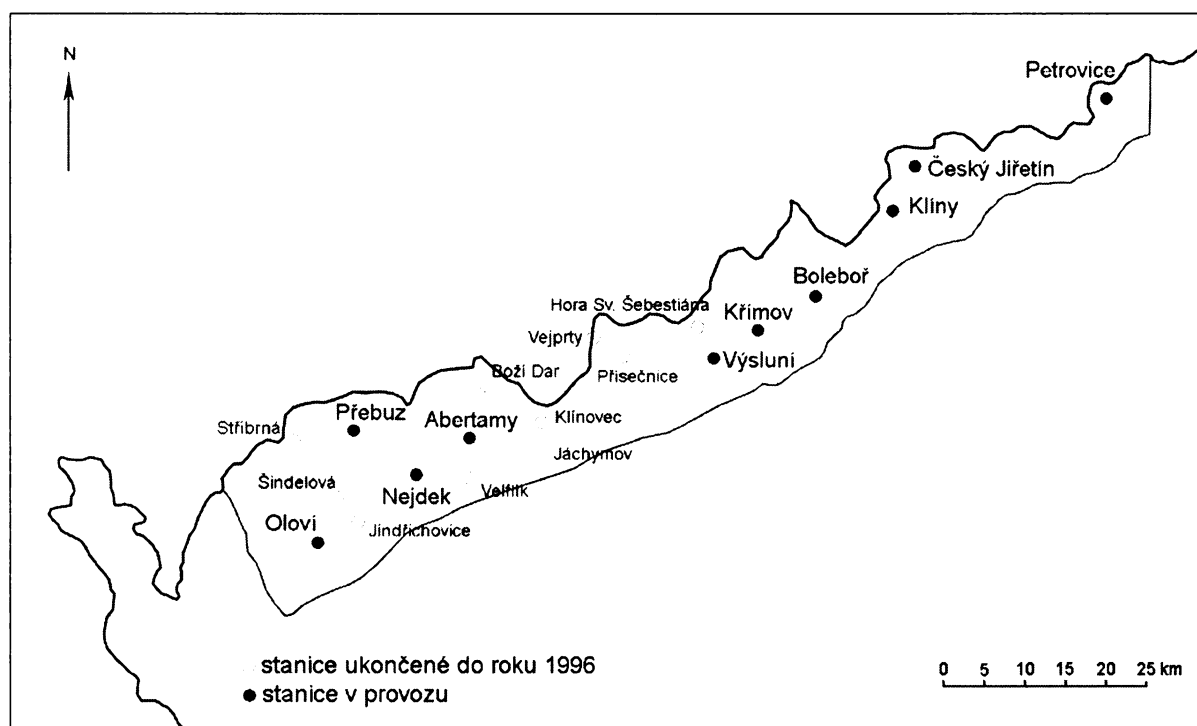
Tabulka 5 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1931 – 1960 – Krušné hory

	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	IV-IX	X-III
1.Abertamy	890	72	89	87	43	70	86	112	84	99	88	80	89	1000	494	506
8.Výsluní	570	57	63	80	37	71	80	96	70	70	61	64	69	818	425	393
10.Oloví	595	64	63	60	36	59	67	79	68	72	72	70	68	777	379	397
13.Nejdek	590	74	82	82	36	56	77	91	71	87	79	71	88	893	417	476
14.Přebuz	889	94	104	103	49	78	95	128	94	116	105	96	111	1173	560	613
15.Šindelová	587	90	97	113	62	75	87	122	86	96	97	90	102	1118	529	589
16.Klíny	820	85	101	105	48	90	88	119	96	89	80	81	90	1072	530	542
17.Boleboř	640	66	61	83	42	68	69	103	70	69	56	69	73	827	420	407
18.Český Jiřetín	790	76	88	98	47	83	86	129	102	87	80	79	83	1038	534	504
19.Křimov	570	58	61	73	35	72	77	94	77	68	62	65	67	810	422	387
20.Petrovice - Krásný Les	630	50	53	59	36	67	91	124	90	57	56	62	57	802	465	337

Tabulka 6 – Průměrné měsíční a roční úhrny srážek 1996 – 2005 – Krušné hory

	m n.m.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	I-XII	
1.Abertamy	890	55	64	51	12	0	0	0	0	0	0	1	19	48	251
10.Oloví	595	22	21	12	0	0	0	0	0	0	0	0	8	17	80
8.Výsluní	570	28	29	26	5	0	0	0	0	0	0	0	11	25	125
13.Nejdek	590	40	41	27	2	0	0	0	0	0	0	0	13	36	158
14.Přebuz	889	46	55	45	10	0	0	0	0	0	0	1	16	40	214
15.Šindelová	587	43	41	28	4	0	0	0	0	0	0	0	15	35	166
16.Klíny	820	37	41	38	8	1	0	0	0	0	0	1	10	32	166
17.Boleboř	640	34	34	26	7	0	0	0	0	0	0	0	8	25	135
18.Český Jiřetín	790	36	44	39	7	0	0	0	0	0	0	1	11	30	168
19.Křimov	570	30	25	18	3	0	0	0	0	0	0	0	7	26	109
20.Petrovice - Krásný Les	630	29	29	21	5	0	0	0	0	0	0	0	9	26	120

Tabulka 7 – Průměrné měsíční a roční úhrny sněhových srážek 1996 – 2005 – Krušné hory



Obr. 4 – Rozmístění klimatických stanic v Krušných Horách

#### 4.4. Hydrologické poměry zájmových území

Základní hydrometeorologické údaje jsou v tabulce 8 (území Šumavy) a v tabulce 9 (území Krušných hor). Údaje jsou z reprezentativního období let 1931-1960 a nachází se zde jednotlivé limnigrafické stanice na vybraných tocích, s přesným hydrologickým číslem. Hydrologické číslo je ve tvaru A-B-CC-DD-EEE-FF a jeho součástí je i číslo hydrologického pořadí. Každé číslo hydrologického pořadí určuje jednoznačně zařazení jednotlivých ploch povodí toků v jejich hydrologickém sledu v rámci celé České Republiky. Číslo je osmimístné a je sestaveno ze 4 skupin. První skupina (B) je jednomístná a určuje příslušnost do povodí hlavního toku I.řádu, a to 1 – Labe, 2 – Odra. Druhá skupina (CC) je dvojmístná a určuje příslušnost do dílčího povodí hlavního toku, třetí skupina (DD) je opět dvojmístná a vyjadřuje hydrologické pořadí dalšího dělení dílčích ploch povodí hlavního toku na jednotlivé přítoky. Čtvrtá skupina (EEE) je trojmístná a udává hydrologické pořadí detailních plošek povodí v rámci dílčích ploch povodí. Hydrologické číslo hydrologických objektů pak obsahuje ještě

jednomístnou skupinu A, která značí druh objektu, a to 1 – objekt povrchových vod, 2 - objekt podzemních vod, 3 - objekt pramenů, a pak dvoumístnou skupinu FF, která určuje číslo objektu v povodí určeném předcházejícími osmi čísly (číslo hydrologického pořadí).

#### **4.4.1. Hydrologické poměry krystalinika Šumavy**

Celé zájmové území je odvodňováno do Severního moře povodím Labe. V hraničním pásmu pramení několik významných toků. Jedním z nich je Vltava, vzniklá soutokem Teplé a Studené Vltavy. Teplá Vltava má zpočátku bystrinný charakter, později se její spád vyrovnává a z pravé strany přibírá Studenou Vltavu. Tato část povodí se vyznačuje vysokými specifickými odtoky a výskytem velkých vod z jarního tání a srážkové činnosti, což je způsobeno vysokými srážkovými úhrny a také morfologií terénu. Povodí je ze 70% zalesněno. Průtoky jsou sledovány v limnigrafických stanicích Lenora a Chlum na Teplé Vltavě a ve stanici Černý Kříž na Studené Vltavě.

Další významnou řekou je Otava. Ta vzniká soutokem Křemelné a Vydry, která je tvořena soutokem Modravského, Roklanského a Filipohuťského potoka. Křemelná i Vydra se vyznačují extrémními spádovými poměry a specifickými odtoky, charakteristickými pro bystrinné toky. Bystrinný charakter si pak Otava udržuje na celém zájmovém území. Opět stejně jako u Vltavy, se velké vody pravidelně vyskytují z jarního tání a v letních měsících přívalových srážek. Horní část toku Otavy je také ze 70% zalesněna. Z Vydry nad Antigelem vede směrem k Čeňkově Pile Vohýnický plavební kanál, původně sloužící ke splavování dřeva, později však využitý k dodávce vody do zdejší elektrárny.

Také další přítoky Otavy – Volyňka a Blanice, které odvodňují severní svahy Šumavy, mají velmi členité povodí, v horních částech bystrinné s vysokými specifickými odtoky. Limnigrafické stanice, zhodnocující tyto toky jsou Antigel na Hamerském potoku, Modrava na Vydře a Rejštejn na Otavě, Podedvorský Mlýn, Blanický mlýn, Horní Záblatí a Husinec

pod nádrží na řece Blanici a dále Lčovice na Volyňce. Volyňka protéká územím, které je z 30% zalesněno, Blanice protéká hlubokými údolími, které jsou obklopeny zalesněnými svahy. Vyskytují se zde velké vody z jarního tání, ale mnohem nebezpečnější jsou náhlé povodně z přívalových dešťů.

Čistota toků má na tomto území značně příznivé ukazatele, jelikož se jedná převážně o horní úseky toků, které nejsou zatíženy průmyslovými odpady a i městské znečištění je do značné míry odbouráváno samočisticí schopností toků. To je pozorovatelné například na Volyňce, jejíž tok je silně znečištěn odpadními vodami z Vimperku, avšak provzdušněný tok se s touto zátěží dokáže vyrovnat. Mezi další znečištěné toky pak patří Blanice, podle chemické spotřeby kyslíku zjišťované dichromanovou metodou CHSK-Cr pak jeví znečištění také Otava.

Hydrologické číslo	Limnigrafická stanice	Tok	Plocha povodí v km <sup>2</sup>	Specifický odtok l/s/km <sup>2</sup>	Průměrný průtok m <sup>3</sup> /s	Průtoky překročené "m" dní				
						270	300	330	355	364
1-1-06-01-023-01	Lenora	Teplá Vltava	175,77	17,52	3,08	1,37	1,15	0,97	0,72	0,48
1-1-06-01-043-01	Chlum	Teplá Vltava	346,97	16,28	5,65	2,32	1,99	1,60	1,22	0,94
1-1-06-01-052-01	Černý Kříž	Studená Vltava	104,35	17,06	1,78	0,81	0,70	0,56	0,40	0,27
1-1-08-01-013-01	Modrava	Vydra	90,41	35,20	3,18	1,64	1,40	1,18	0,88	0,60
1-1-08-01-015-01	Antigel	Hamerský potok	20,14	17,40	0,35	0,15	0,13	0,10	0,07	0,04
1-1-08-01-040-01	Rejštěj	Otava	334,60	26,06	8,72	4,04	3,40	2,78	2,05	1,30
1-1-08-02-027-01	Lčovice	Volyňka	241,66	9,72	2,35	0,83	0,67	0,52	0,35	0,17
1-1-08-03-011-01	Blanický mlýn	Blanice	85,56	9,20	0,79	0,30	0,40	0,32	0,22	0,16
1-1-08-03-017-01	Horní Záblatí	Blanice	138,84	9,05	1,26	0,48	0,57	0,45	0,31	0,22
1-1-08-03-025-01	Podedvorský mlýn	Blanice	202,87	8,72	1,77	0,69	0,57	0,45	0,31	0,22
1-1-08-03-027-02	Husinec pod nádrží	Blanice	212,66	8,61	1,83	0,79	0,66	0,51	0,32	0,23

Tabulka 8 – Hydrologické údaje z lokality Šumava z období 1931-1960

#### 4.4.2. Hydrologické poměry krystalinika Krušných hor

Hydrologické poměry zájmového území krystalinika Krušných hor jsou velmi podobné jako poměry krystalinika Šumavy. Oblast patří stejně jako území Šumavy do povodí Labe. Nachází se zde množství menších říčních toků (často jsou to pouze potoky), které tu pramení. Většinou stékají ze strmých svahů Krušných hor směrem do vnitrozemí České Republiky.

Část z nich vtéká do Bíliny, která je přítokem Labe. Mezi ně patří (směrem od východu na západ) Ždírnický potok vtékající do Bíliny u Ústí nad Labem, Divoká Bystřice, Bouřlivec, Osecký potok, Lomský potok, Bílý potok či Kunratický potok, na kterém byla vystavěna Dřínovská přehradní nádrž, a za ním pramení samotná Bílina. Dále směrem na západ najdeme prameny toků stávajícími se levostrannými přítoky Ohře. Chomutovka, Prunéřovský potok, Jáchymovský potok, Bystřice, dále Rolava tečící přes Nejdek do Karlových Varů, kde se napojuje na Ohři, a dále Rotava vtékající do Svatavy, která ústí do Ohře v Sokolově a na západním okraji území pramení Přední Liboc.

Část toků, které zde pramení, stéká na německou stranu Krušných hor, například Freiberská Mulda, Flájský potok a Přísečnický potok, na nichž byly vystavěny Flájská přehradní nádrž a vodní nádrž Písečnice, které tak měly zadržovat část vody na našem území, dále do Spolkové Republiky Německo odtéká Černá Voda a pohraniční říčka Polná, obě pramenící pod Klínovcem, nebo pod Božím Darem pramenící Černá tekoucí do Cvikovské Muldy, do které vtékají i další malé toky z české strany Krušných hor.

Většina toků má bystrinný charakter vyznačující se značnými spády a velkými specifickými odtoky. To se nepříznivě projevuje při výskytu velkých vod z jarního tání či z přívalových dešťů, zároveň však vysoká vodnost způsobuje schopnost toku samočisticích procesů. Území krystalinika Krušných hor, přes které protékají všechny toky, je povětšinou zalesněno.

Krušné hory vytvářejí srážkový stín směrem do vnitrozemí, což se projevuje nedostatkem vody v těsné blízkosti našeho území, kde jsou oblasti se silně rozvinutým průmyslem (chebská pánev, mostecká pánev), který zároveň i znečišťuje okolní povrchové vody. To se projevilo nutností odčerpávat vodu nejen pro potřeby průmyslu, ale i pitnou vodu z našeho zájmového území, například z Flájské přehrady či Křimovské přehrady, nebo z četných horských toků.

Čistota toků má stejně jako v případě šumavských toků poměrně pozitivní ukazatele, podle Hydrologické ročenky České Republiky 2004 jsou toky většinou neznečištěné nebo mírně znečištěné. Mezi znečištěné toky patří podle biochemické spotřeby kyslíku BSK5 i podle CHSK-Cr jen Bílina a Chodovský potok tekoucí směrem do Karlových Varů. Podle BSK5 je znečištěná také Bystřice, podle CHSK-Cr pak zase Divoká Bystřice a Rolava. Velmi silně znečištěná, což je nejhorší stupeň znečištění, je podle stanovení amoniakálního dusíku Divoká Bystřice.

Hydrologické číslo	Limnigrafická stanice	Tok	Plocha povodí v km <sup>2</sup>	Specifický odtok l/s/km <sup>2</sup>	Průměrný průtok m <sup>3</sup> /s	Průtoky překročené "m" dní				
						270	300	330	355	364
1-1-13-01-080-01	Horka	Libocký potok	70,51	10,00	0,70	0,32	0,25	0,17	0,10	0,07
1-1-13-01-123-01	Svatava	Svatava	282,66	10,10	3,29	0,99	0,74	0,62	0,41	0,11
1-1-13-03-112-01	Třetí mlýn	Chomutovka	43,57	12,71	0,55	0,28	0,20	0,05	0,03	0,00
1-1-14-01-063-01	Hrad Osek	Osecký potok	5,12	10,04	0,05	0,02	0,02	0,02	0,01	0,00
1-1-15-03-031-01	Český Jiřetín	Flájský potok	49,61	15,48	0,77	0,35	0,29	0,21	0,17	0,08

Tabulka 9 – Hydrologické údaje z lokality Krušné hory z období 1931-1960

## 5. Geologické poměry

### 5.1. Geologické poměry krystalinika Šumavy

#### 5.1.1. Granitoidy moldanubického plutonu

První ze dvou nejvýznamnějších jednotek, které se nacházejí v zájmovém území Šumavy je **moldanubický pluton**, který se z regionálně geologického hlediska řadí podle současně platného dělení Českého masivu (kolektiv autorů, 1992) do jeho moldanubické oblasti (též Moldanubika). Tento značně nesourodý celek různých magmatických hornin variského stáří je definován jako „soubor dílčích masívů vystupujících v centrální části Českomoravské vrchoviny, Waldviertelu, na Šumavě a v Českém lese, které splývají pod pláštěm krystalických břidlic v jednotné těleso“. Z této definice vyplývá, že ty části plutonu, které tvoří část zájmového území Šumavy, jsou pouze jedny z jeho menších masívů oddělených od okolních částí plutonu metamorfity.

Moldanubický pluton je pravděpodobně podložím značné části moldanubických parasérií (sine 1976). Na povrch vystupuje v podobě samostatných masívů. Výskyty jsou zobrazeny na obrázku 5. Do zájmového území zasahuje část centrálního masívu, těleso označované jako **masív Knížecího stolce**. Tento masív se nachází v oblasti želnavské hornatiny, mezi Volary a Horní Planou. Z petrologického hlediska se jedná o horniny tzv. durbachitové skupiny, konkrétně o porfyrické amfibolicko-biotitické granity, syenity, syenodiority a diority (rastenberský typ). Tělesa těchto granitoidních masívů se přizpůsobují svým tvarem průběhu foliace pláště jich obklopujících metamorfítů a samy vykazují výraznou přednostní orientaci, paralelní se strukturami pláště. Jejich žilný doprovod představují aplity, žilné granity a lithné pegmatity (Mísař et al., 1983). Další typ výskytu centrálního masívu moldanubického plutonu na našem území je západně od Lenory, mezi Českými Žleby a Knížecími pláněmi. Je to porfyrický biotitický granodiorit (weinsberský typ). Třetí typ výskytu centrálního masívu v naší lokalitě je typ eisgarnský, charakterizovaný muskoviticko – biotitickými granity až adamellity. Středně až drobnozrný (tzv. mrákotínský typ) se nachází jižně od Volar, hrubozrný tvoří masív Plechého Trojstoličníku a Jelenské hory a dosahuje na sv. až k údolí Vltavy. Drobný výskyt masívu hrubozrného eisgarnského typu je také západně od Strážného. Kromě jednotlivých částí centrálního masívu se pak ještě v západní části území nalézají dva samostatné masívy moldanubického plutonu – masív Prášilský a masív Vydry, tvořené biotitickou žulou až granodioritem typu srní.

### 5.1.2. Šumavské moldanubikum

Šumavské moldanubikum je další částí moldanubické oblasti Českého masívu, která zasahuje do zájmového území krystalinika Šumavy. Na našem území zaujímá oblast Šumavy a jejího podhůří a obklopuje téměř ze všech stran výskyt moldanubického plutonu. Toto území má složitou vnitřní stavbu s mnoha dílčími strukturami různého směru a stáří. Je budováno



především **pararulami a migmatity tzv. jednotvárné skupiny** a dvěma pruhy hornin tzv. pestré skupiny. Zároveň je pro toto území charakteristická metamorfóza v amfibolitové facii. Názory na stáří metamorfózy nejsou dosud úplně jednoznačné. Metamorfní izogrady jsou nezávislé na stratigrafické stavbě a často probíhají napříč přes jednotvárnou i pestrá skupinu a u pestré skupiny probíhají vrstvy vložkových hornin přes metamorfní rozhraní.

Horniny jednotvárné skupiny (tzv. želivské skupiny) se nachází na většině území, zejména v širším severním a severozápadním okolí Volar. Z litologického hlediska jsou to **biotitické plagioklasové pararuly**, mnohde se vyskytující jako střídání břidličnatých a masivních typů o mocnostech několika cm až desítek cm . V menší míře jsou dále zastoupeny pararuly muskoviticko-biotitické a dvojslídne svory a často jsou migmatitizovány. Ojedinele se mohou vyskytnout čočkovité útvary vápenosilikátových hornin. Střídání zrnitostně odchylných typů pararul, představujících původní střídání jílovců a pískovců v sedimentárních sekvencích, je stále patrné i přes značný stupeň metamorfózy a částečně i migmatitizace hornin (Suk, 1979).

Pestrá skupina se nachází v okolí Kašperských hor, dále západně a sz. od města Vimperk a třetí větší výskyt je na j. od Nové Pece, v její jižní části našeho území. Pestrá skupina je charakterizována četnými polohami hornin sedimentárního původu – kvarcitickými rulami, kvarcity, vápenosilikátovými horninami, mramory, vápenci až dolomity, grafitickými rulami a grafity, a také horninami vulkanického původu – amfibolity a granulity. Na oblasti pestré skupiny jsou mnohdy vázána i tělesa metaperidotitů (serpentinitů a granátických serpentinitů) s polohami eklogitů a také tělesa ortorul. Hlavní část pestré skupiny však tvoří plagioklasové pararuly, podobné pararulám jednotvárné skupiny. Od té se liší zejména vyšším obsahem granátu a výskytem malého množství draselného živce (Zikmund, 1971).

Mimo jednotvárnou a pestrá skupinu je v lokalitě také několik výskytů biotitických až muskoviticko - biotitických ortorul, zčásti migmatitizovaných, a také granulitových masívů

– největším je granulitový masív křišťanovský v jv. části mapy v okolí města Křišťanov. V okolí Horní Plané jsou pak silně rekrystalizované až migmatitizované granulity (granulitové ruly). Na masívy z granulitu, granulitových rul a pyroxenických granulitů je regionálně vázán i výskyt bazických a ultrabazických horninových typů.

### 5.1.3. Kvartérní pokryv

Na území se nachází charakteristické soliflukční pláště a různé druhy svahových hlín, sutí a eluvií (viz kapitola o půdních poměrech), dále jsou pak značně rozšířená rašeliniště a nalezneme i fluviální sedimenty. V údolí řeky Vydry byly nalezeny balvanové svahoviny, mnohde až blokové, jejichž mocnost jde až do desítek metrů (Mísař et al., 1983).

Kvartérní fluviální sedimenty se celkově nachází jen omezeně a to v podobě zbytků v jádrech meandrů, jelikož toky jsou v této oblasti obvykle hluboce zaříznuté v úzkých údolích. Mezi další místa, kde najdeme kvartérní fluviální sedimenty patří Vltavická brázda, kde byly nalezeny štěrky a písky včetně neopracovaného materiálu ukazujícího na rychlý transport, zde pravděpodobně během glaciální fáze (Krásný et al., 1984).

Rašeliniště se nachází zejména ve výškách 700-1150 m n.m., obvykle na parovině. Mezi lokality, kde se nachází nejvíce rašelinišť, patří nejhořejší tok Vltavy a pás údolí Vltavy od Lenory k Želnavě a také u horního toku Otavy.

Několik kilometrů dlouhé horské ledovce zde zanechaly kary a morény.

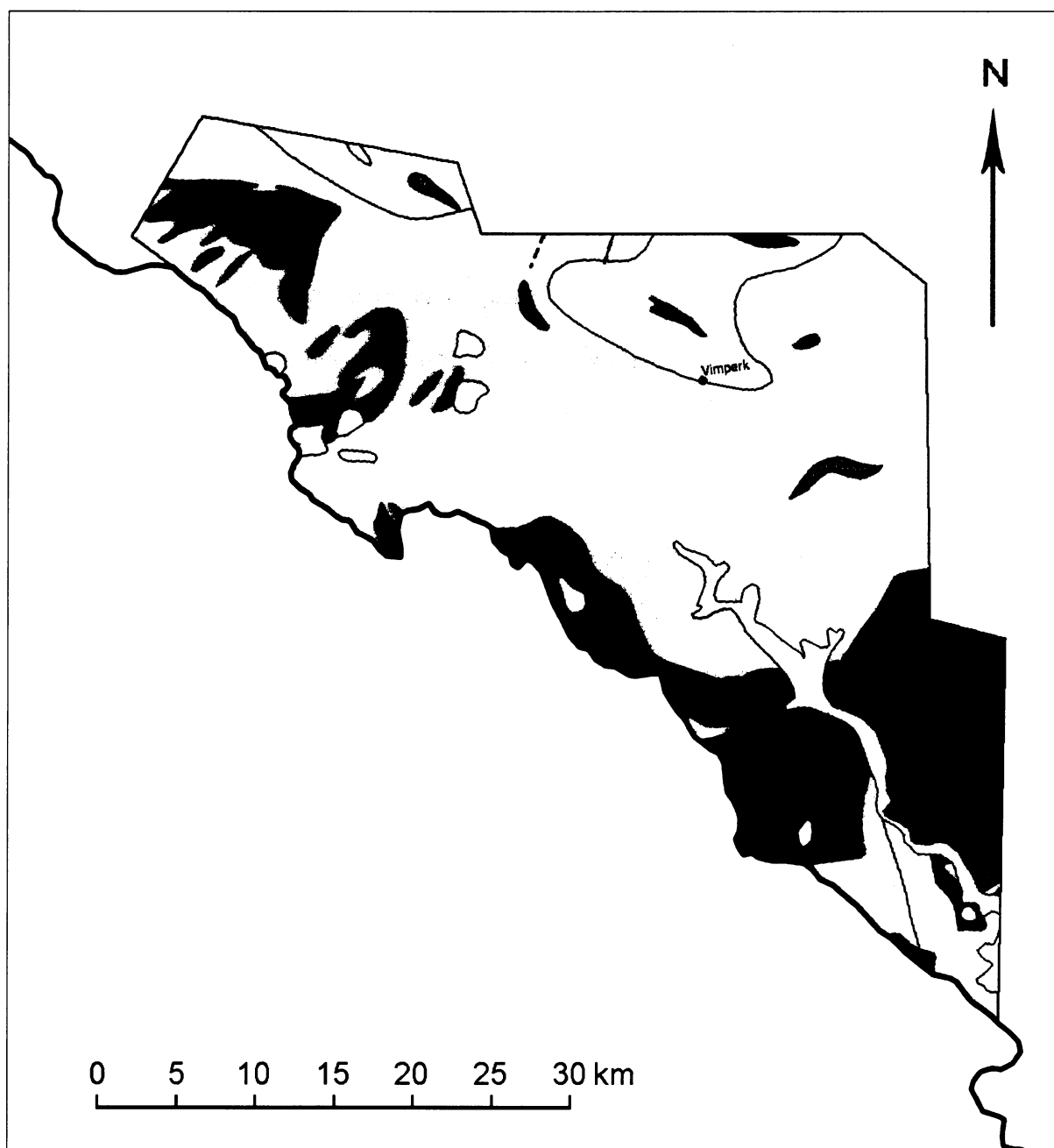
### 5.1.4. Tektonika

Šumavské moldanubikum vykazuje velmi složitou stavbu, jež je výsledkem superpozice vrásových deformací o různém stáří. Tak jako všude v moldanubické oblasti Českého masívu, i zde jsou systémy starších vrás a foliací (patrně kadomských), přepracovány mladším, patrně variským vrásněním (Mísař et al., 1983). Osy drobných vrás mají dva základní směry, starší




vrásy mají směr sz-jv až s-j, mladší pak sv-jz. Tyto základní směry se navzájem kombinují a tvoří tak složité převrásněné struktury. Směr naklánění vrás je k jv.

Mladší zlomy, které vznikly v povariském období, mají hlavní směr sz-jv. Tento směr vykazují směry významných údolí, resp. vodních toků, viditelných i na větší vzdálenosti (Vltavická brázda s Vltavou či údolní horního toku Blanice), průběhy některých žil a také nejčastější pukliny. Morfologicky je patrný zlom vedoucí po severním úpatí Třístoličníku, Plechého a Smrčiny. Výrazným zlomem téhož směru je také Šumavský zlom probíhající na jz od vrcholové části Šumavy již mimo naše území, který ale tvoří přirozenou jz hranici šumavského moldanubika (Beneš et al., 1980).

Tvar i vývoj moldanubického plutonu ukazují na ponořování osy stavby fundamentu Českého masívu k ssv. Intruze mají vztah k plášti, jsou výrazněji usměrněny shodně s okolním krystalinikem – jde o pozdně syntektonické intruze s viditelnější paralelní stavbou (Mísař et al., 1983).



Obr. 5 – Geologické poměry Šumavy (<http://map.env.cz>)

- Kvartér
- Jednotvárná série moldanubika
- Pestrá série moldanubika
-  - Ortoruly, granulity
-  - Žuly
-  - Durbachitová řada (syenity, tmavé granodiority)

## 5.2. Geologické poměry krystalinika Krušných hor

Zájmová oblast krystalinika Krušných hor představuje geologicky nestejnorodé území s výskytem magmatických i metamorfovaných hornin různého druhu a stáří. Z regionálně geologického hlediska náleží tyto horniny do sasko-durynské oblasti Českého masívu (kolektiv autorů, 1992). Dříve se tato oblast označovala také jako krušnohorská. Jelikož zájmové území Krušných hor je značně rozsáhlé, pokrývá téměř celé území krystalinických hornin sasko-durynské oblasti, konkrétně její 3 hlavní podoblasti. Na jihozápadě je to území **vogtlandsko-saského paleozoika**, uprostřed kterého se nachází největší masív

**krušnohorského plutonu**, a na severovýchodě metamorfity **krušnohorského krystalinika**.

Blíže na obrázku 6.

### 5.2.1. Vogtlandsko – saské paleozoikum

Vogtlandsko – saské paleozoikum, vyskytující se v okolí Kraslic a Božídarského Špičáku, je převážně ordovického stáří. Ve sledu paleozoika v kraslické oblasti se nejprve objevují chloriticko – sericitické fylity s polohami kvarcitů a s fylity lokálně bohatými na albit. Mohou se vyskytnout i polohy metabazitů, stejně jako v následujícím souvrství opět z chloriticko – sericitických fylitů a poloh kvarcitů. Význačná stratigrafická vrstva je představována šedým kvarcitem (tzv. magnetitový kvarcit). Sled uzavírají fylity a grafitické fylitické břidlice. Z litologického hlediska tak představuje epizonálně metamorfované komplexy nacházející se na území České republiky v příčné depresní zóně mezi magmatity smrčinského a nejdecko-eibenstockého masívu, které dohromady tvoří největší část krušnohorského plutonu. Stejně horninové poměry jsou i ve vogtlandsko – saském paleozoiku v okolí Božídarského Špičáku.

### 5.2.2. Krušnohorský pluton

Za krušnohorský pluton je považován soubor všech vulkanických i magmatických hornin variského stáří v krušnohorské oblasti. Za jeho centrální část je považována oblast okolo Nejdku – nejdecký masív, ale patří sem i masív cínovecký, krupský, flájský, telnický a teplický porfyr. V plutonu se vyskytují dva hlavní typy granitoidů. Prvním, starším typem jsou převážně hrubozrnné středně zrnité **porfyrické biotitické granity a granodiority**, pro které se vžil označení „horské žuly“. Mnohde jsou hybridní a vytváří kolem sebe výšeteplotní typ kontaktních přeměn (Mísař et al., 1983). Druhým typem granitoidů jsou „žuly krušnohorské“, označované též jako „autometamorfované“ (Klomínský a Dudek, 1978). Ty jsou mladší, pronikají horskou žulou i různými stratigrafickými členy pláště a jejich charakteristickým znakem jsou pneumatolytické a hydrotermální **alterace, greisenisace** a také **cínová mineralizace**, která je typická pro oblast Krušných hor (známá jsou především ložiska Cínovec a Krupka).

### 5.2.3. Metamorfity krystalinika Krušných hor

Krušnohorské krystalinikum představuje z litologického hlediska velmi pestrou oblast. V zájmovém území se vyskytují horniny všech hlavních skupin metamorfitů tohoto krystalinika. Jsou to skupiny freiberská, krušnohorská a jáchymovská, a také hermsdorfská.. Všechny horniny krystalinika jsou dvoufázově metamorfovány a také intenzívně zvrásněny. Osa krušnohorského krystalinika ve směru sv. – jz. se noří směrem k jz. Podle toho lze starší horniny spatřovat na sv. mladší pak na jz.. Od sv. k jz. tak lze najít nejstarší skupinu freiberskou, následuje skupina krušnohorská a nakonec nejmladší jáchymovská.

**Freiberské ruly** neboli spodní šedé ruly mají lepidoblastickou strukturu a jsou charakteristické zvýšeným obsahem titanu. Jsou velmi monotónní, pouze s občasnými vložkami kvarcitu, který si částečně zachovává původní strukturu drob (Mísař et al., 1983).

Někdy jsou označovány jako ruly granodioritové. Vyskytují se mezi Petrovicema a Fojtovicema.

Horniny **krušnohorské skupiny** tohoto krystalinika jsou v zájmovém území reprezentovány velmi složitým komplexem dvojslídnych tzv. svrchních šedých pararul přecházejících až do tzv. červených ortorul a migmatitů. Komplex svrchních šedých rul obsahuje například dvojslídne břidličné ruly, konglomerátové ruly, drobové ruly, kvarcitické ruly s granátem, amfibolity či eklogity (Sattran 1955). Červené ortoruly a migmatity mívají stratiformní charakter, ale v mnoha případech také pronikají do okolních metamorfítů, což jen potvrzuje proměnlivý charakter hornin celé krušnohorské skupiny. V okolí Přísečnic a v klínovecké antiklinále tyto červené ortoruly a migmatity, které jsou všeobecně považovány za přeměněná kyselá intruziva (Mísař et al., 1983), vystupují v několika klenbovitých strukturách. Samostatným horninovým typem jsou feldspatizované dvojslídne ruly, řazené k šedým rulám a nacházející se v okolí Flájí, jejichž vznik je dáván do souvislosti s granitizačním procesem zejména flájského intruzivního masívu.

Horniny **jáchymovské skupiny**, ležící v nadloží krušnohorské skupiny a v podloží vogtlandsko – saského synklinoria, jsou převážně dvojslídne ruly a svory, vesměs granátické, s ojedinělými vložkami metamorfovaných bazaltických hornin. Jde o horniny ležící zejména v okolí Jáchymova. Stratigrafické zařazení je v důsledku metamorfních změn zatím sporné.

Přibližně 3 km západním směrem od Cínovce je nepatrný cíp území, kde se vyskytuje **hermsdorfská skupina**, s horninami metamorfovanými ve facii zelených břidlic a ojediněle s polohami metabazitů. Avšak kvůli minimální rozloze lokality nemá tato skupina velký význam.

#### **5.2.4. Kvartérní pokryv**

Stejně jako v případě Šumavy, i v oblasti Krušných hor členitý reliéf a geologie vytvořily příznivé podmínky pro vývoj pestré škály svahových hlín, suťí a eluvií, čemuž se blíže věnuje kapitola o půdních poměrech. Ze svahů Krušných hor jsou známé balvanové až blokové svahoviny s mocností několika desítek metrů (Mísař et al., 1983). Vlhké klima pak umožnilo vzniknout mnohým rašeliništím vrchovištního i přechodného typu, která se vytvořila jak na krystaliniku, tak i na porfyrech.

Ve velmi omezené míře a v minimálních mocnostech najdeme i fluviální sedimenty různých typů, zejména v oblasti flájského potoka.

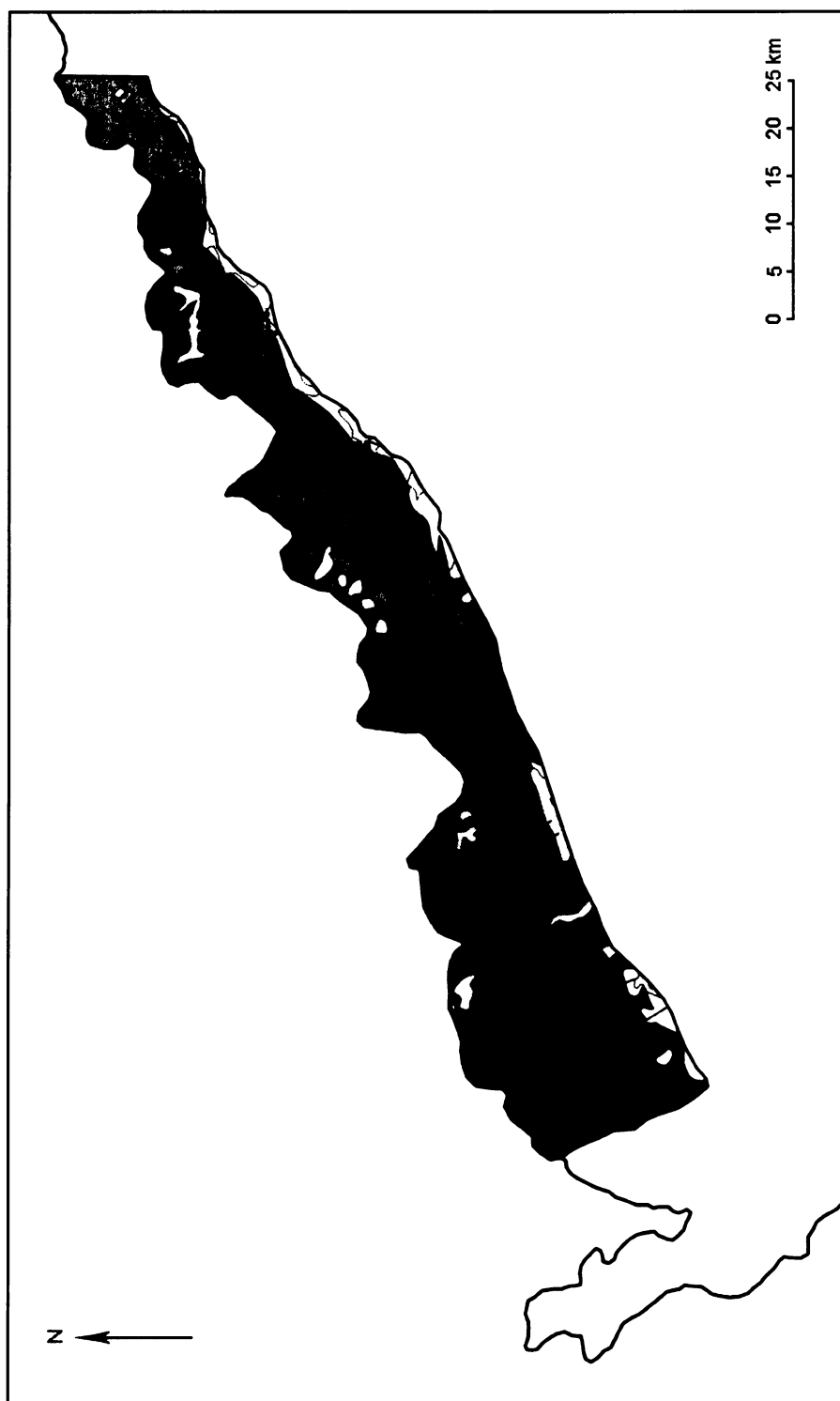
#### **5.2.5. Tektonika**

Oblast Krušných hor, z hlediska velkých pásem vyčlenitelných v zde zasahujícím saxothuringiku, patří z největší části do krušnohorského antiklinoria, pouze v západní části vystupující paleozoikum již patří k dalšímu pásu, vogtlandsko – saskému synklinoriu. Antiklinorium tvořené krušnohorským krystalinikem má severní a centrální část plochou a klenbovitou, vrstvy se mírně uklání k sz. a severu, jižní část se pak vyznačuje prudkým úklonem vrstev. Osa antiklinoria se noří k jz., kde na něj přiléhá paleozoikum a ukončuje ho společně s příčně křížujícím jáchymovským hlubinným zlomem a také krušnohorským plutonem. Na sv. je zas složitě ohraničeno labským zlomovým pásmem. Výrazným tektonomorfologickým prvkem v krystaliniku je také krušnohorský zlom, za nímž, již mimo naše zájmové území, je krystalinikum překryto. Tektonicky podmíněné je i magmatické centrum v celém území mezi Klíny a Horní Krupkou. Starší zlomové systémy tu byly vyplněny různými typy křemenných porfyrů. Hlavní strukturní směry jsou ale ssz. - jjv. nebo s. - j., na což poukazuje právě umístění výlevů ryolitů a také průběh žulových porfyrů.



Vogtlandsko –saské paleozoikum na našem území patří k monoklinálně zapadajícímu křídlu synklinoria, které bylo porušeno jen směrovými poruchami ukloněnými k sz. Platí to jak pro paleozoikum v okolí Kraslic, tak i pro paleozoikum v okolí Špičáku.

Krušnohorský pluton má vůči směrovým strukturám oblasti příčné postavení, ovlivněné průběhem jáchymovského hlubinného zlomu.



Obr. 6 – Geologické poměry v Krušných horách (<http://map.env.cz>)

- Kvartér
- - Paleozoické horniny zvrásněné a metamorfované
- - Žuly (granitová řada)
- - Ortoruly a granulity
- - Proterozoické horniny assyntsky zvrásněné
- - Vulkanické horniny z části metamorfované
- - Terciální vulkanické horniny

## 6. Hydrogeologické poměry

### 6.1. Hydrogeologické poměry krystalinika Šumavy

Oběh podzemních vod v zájmovém území krystalinika Šumavy je typický pro oblasti, budované metamorfními horninami a do nich intrudujícími granitoidními plutonity. Tyto horniny jsou podle Hazdrové et al., (1984) charakterizovány z hydrologického hlediska jako hydrologický masív. Ten je považován za jednokolektorový zvodněný systém, ve kterém se jediný kolektor s regionálním rozšířením nachází v zóně zvětralin a přípovrchového rozpojení puklin. Mocnost této zóny se pohybuje v řádu maximálně prvních desítek metrů a dochází v ní k intenzivnímu proudění podzemní vody. Více propustné zóny se většinou nacházejí v okolí tektonicky postižených míst, které často fungují jako drenážní zóny a vrty. V jejich okolí nabývají vyšších specifických vydatností, než je obvyklé. Přesto zde hydraulické parametry nabývají obvykle nižších hodnot než v hydrogeologické pánvi.

Jsou zde zastoupeny pouze prosté **puklinové vody pevných hornin** a **průlinové vody** kvartérních sedimentů – rašelinišť, svahovin či fluviálních sedimentů. Jednotvárnost a jednoduchost hydrogeologických poměrů jsou zde důsledkem přítomnosti krystalinických hornin s omezenými možnostmi oběhu.

Metamorfované horniny, především pararuly, obsahují dle charakteristiky hydrogeologického masívu pouze puklinovou vodu, jejichž propustnost je značně nerovnoměrná. Cirkulace podzemních vod v nich probíhá v navětralých rozpukaných partiích při povrchu a do větších hloubek může pronikat v místech dislokačních narušení. Pukliny a trhliny jsou často vyplněny málo propustnou jílovitou výplní. Oběh podzemních vod je zde velmi pomalý.

Vložky odchylných hornin, především metamorfovaných vápenců, zvyšují celkovou propustnost v rámci tohoto hydrogeologického masívu. Všechny větší vápencové polohy

obsahují puklinovou vodu vyvěrající v podobě pramenů. Obecně lze tvrdit, že horniny pestré série moldanubika mají vyšší propustnost než horniny jednotvárné série (Sekyra, 1960).

Podzemní voda v metamorfitech cirkuluje převážně systémem puklin SV – JZ směru. Vydatnost přirozených vývěrů nepřesahuje  $1 \text{ l.s}^{-1}$  (Čech, 1958). Větší část puklinových vod pramení v suťových sedimentech a vystupuje na povrch mnohem níže, než je původní vývěr. Puklinové vody krystalinika a průlinové vody jeho suťových a svahových sedimentů jsou si velmi blízké i svým chemickým složením.

Granitoidní horniny moldanubického plutonu obsahují také puklinovou podzemní vodu. Prameny z nich jsou vydatnější než prameny z metamorfitů. Vylévají se do svého poměrně mocného eluvia a suťových uloženin a vystupují na povrch, podobně jako v případě metamorfitů, jako suťové prameny. Jejich vydatnost je také podobná: pohybuje se v desetinách  $\text{l.s}^{-1}$ , přičemž vydatnost některých pramenů silně přesahuje hodnotu  $1 \text{ l.s}^{-1}$ , což je maximální hodnota pro prameny metamorfitů.

Z hlediska zásobování pitnou vodu mají v zájmové oblasti největší význam kvartérní fluviální sedimenty, jejichž filtrační vlastnosti sice nejsou optimální, nicméně propustnost je podstatně vyšší, než v pevných horninách masívu. Horská údolí jsou zaříznuta do skalního podkladu a nemají tyto uloženiny. K akumulaci fluviálních sedimentů dochází především v místech, kde se spád toku stává mírnějším. Tedy tam, kde říční tok přechází do podhůří Šumavy. Fluviální sedimenty jsou zastoupeny hrubými štěrky s nepatrnou příměsí písčitého a hlinitého materiálu. Jejich mocnost v korytech největších lokálních toků se pohybuje průměrně od 8 do 10 m (Kodym, 1957). Propustnost fluviálních uloženin se mění v závislosti na jejich litologickém složení, a to i v rámci jednoho toku. Výše transmisivity je také ovlivněna jejich mocností. Na dobrou propustnost kvartérních štěrkopískových sedimentů ve Vltavické brázdě poukazují výsledky vrtů v okolí jižně od Volar a u Lenory (Krásný et al., 1984).

Hodnota indexu transmisivity  $Y$ , vyjádřeného vztahem  $Y = \log(10^6 q)$ , kde  $q$  je specifická vydatnost ( $l / s.m^{-1}$ ) je v zájmovém území relativně nízká: Hazdrová (1985) uvádí průměrné hodnoty indexu  $Y$  od 4,17 do 5,95. Tato průměrná hodnota transmisivity krystalinických hornin mírně stoupá od s. až sv. směrem k z. a jz. Hodnoty indexu  $Y$  fluvialních sedimentů se v okolí Horní plané pohybují až k 6,5.

Mělké podzemní vody krystalinika vázané na pásmo zvětralin a přípovrchového rozpojení hornin, jsou převážně vody chemického typu  $Ca-HCO_3$  a  $Ca-SO_4$ . V obou případech převládá však smíšený typ. Základní typ se vyskytuje spíše u typu  $Ca-HCO_3$ , u  $Ca-SO_4$  jej najdeme pouze v území s výskytem melanokrátního granitu rastenberského typu v Želnavských Horách. Vody mají celkově velmi nízkou mineralizaci (20-100 mg/l), což může vést i při malé změně obsahu některé ze složek ke změně typu. V západní části území převládá smíšený a místy i základní typ  $Ca-HCO_3$ . V okolí Horní Vltavice se pak vyskytuje spíše smíšený  $Ca-SO_4$  typ, sledující severní okraj lokality, v okolí Boubína se stáčí k jihu a vede až ke státní hranici u Plechého. Jedinou výjimkou je již zmíněná oblast Želnavy. Většina podzemních vod parametamorfitů náleží  $Ca-Mg-HCO_3$  typu, u podzemních vod ortorul lze častěji pozorovat vyšší obsahy alkálií a Ca, takže u většiny vod je hned po kationtu Ca druhým nejvíce zastoupeným kationem Na. Často zároveň stoupá obsah sulfátů. U granulitů je obsah alkálií nižší, obsah Ca je naopak vyšší. Podzemní vody žul jsou téměř vždy  $Ca-Na-HCO_3-SO_4$  nebo  $Na-Ca-HCO_3-SO_4$  typy. U granodioritů je relativní zastoupení alkálií nižší, dominují zde zejména hydrogenuhličitanů. U vod amfibolitů je velmi výrazný úbytek alkálií a nárůst obsahu Ca, což je ale pravděpodobně zapříčiněno doprovodným výskytem krystalických vápenců.

Na území nebyly zjištěny žádné geotermální zdroje a tím ani výskyt termálních vod, jejichž vznik je podmíněn těmito zdroji.

### **6.1.1. Antropogenní vlivy na hydrogeologické poměry na Šumavě**

Průmysl, který v oblasti Šumavy vznikl, měl odpradávná spojitost s jejím přírodním bohatstvím. Již od středověku se těžilo a posléze rýžovalo zlato v okolí Kašperských hor, ale významný byl především průmysl dřevařský a sklářský. Vzhledem k tomu, že rozlehlé pohoří Šumavy formuje historické hranice s Německem, od druhé světové války do roku 1990 reprezentovalo také kontakt mezi západními a východními politickými bloky během období studené války. To vedlo k téměř úplné evakuaci místního obyvatelstva a většina území byla přeměněna na vojenské území. Následkem přesídlení obyvatelstva zůstal celý region nedotčený po celá dlouhá desetiletí a dnes může poskytovat data o rozvoji antropogenně neovlivněného životního prostředí.

Průmyslové využití zájmového území bylo již před rokem 1990 poměrně malé, zvláště ve srovnání se zemědělskou a lesní výrobou. Z významnějších podniků 70. – 80. let je nutné jmenovat z dřevozpracujícího průmyslu: SOLO Sušice, závody v Kašperských horách, Rejstejně – Červené Rudě a Volarech, dále Okulu – Kašperské hory, sklárny v Anníně a Lenoře, Jitonu ve Volarech.

Po roce 1990 začaly vznikat některé menší podniky různého zaměření, ale především dochází k útlumu původních významnějších podniků a dokonce k jejich zániku. V podniku SOLO Sušice se výrazně v poslední době snižuje výroba. Sklárny v Lenoře v roce 1994 zkrachovaly ( 560 zaměstnanců), taktéž JČ Dřevařské závody ve Volarech (260 zaměstnanců). Fungující podniky jsou kromě zmiňovaného závodu SOLO také v Kašperských horách – Medica filter – výroba zdravotnického materiálu, v Železné Rudě – Lesní spol. Železná Ruda – dřevozpracující průmysl a ve Volarech – Dřevovýroba a Jitona.

## 6.2. Hydrogeologické poměry krystalinika Krušných hor

Hydrogeologické vlastnosti zájmového území krystalinika Krušných hor jsou predisponovány jeho komplikovanou geologickou stavbou. Vedle krystalinických metamorfitů a granitoidů hydrogeologického masívu s výhradně puklinovou propustností jsou významné také kvartérní sedimenty s propustností průlinovou. Kvartér je zastoupen fluviálními sedimenty v říčních údolích a deluviálními sedimenty (svahovinami). V mírných depresích s hladinou podzemní vody těsně pod povrchem vznikají také vrchovištní rašeliniště.

V zájmovém území jsou zastoupeny dva typy kolektorů: **průlinový kolektor kvartérních sedimentů** a **puklinový kolektor přípovrchové zóny zvětralin a puklin** v pararulách, ortorulách, svorech a dalších, méně častých horninách krušnohorského krystalinika.

Nízké až střední hodnoty **transmisivity** kvartérních hornin je charakterizují jako vhodné pouze pro místní zásobování pitnou vodou. Horniny krystalinika vytvářejí v přípovrchové zóně zvětralin a puklin puklinový kolektor. Jeho transmisivita je ve většině případů hodnocena jako nízká (Pištora et al., 1994). Z tohoto důvodu lze i tento kolektor charakterizovat spíše jako vhodný pouze pro odběry pro individuální potřebu. Maximální množství puklin se nachází jednak v přípovrchové zóně rozpukání, jednak na otevřených puklinových zónách, kde filtrace dosahuje nejvyšších hodnot v místech křížení puklinových systémů.

Také hodnota indexu transmisivity  $Y$ , vyjádřeného vztahem  $Y = \log(10^6 q)$ , kde  $q$  je specifická vydatnost (jednotka  $l / s.m^{-1}$ ) je v zájmovém území nízká. Průměrná hodnota  $Y = 4,8$ , kterou pro zájmové území uvádí Hazdrová (1980) naznačuje obecně nízkou průtočnost zóny podpovrchového rozpojení puklin.

Výše popsané klimatické poměry s vyššími srážkovými úhrny dávají předpoklad ke vzniku velkého množství drobných **sut'ových pramenů** na kontaktu kvartéru se skalním

podloží. Jejich vydatnost se pohybuje v setinách až desetínách  $l \cdot s^{-1}$  (kolektiv autorů, 1980). Geomorfologické poměry ovlivňují především oběh podzemní vody. Průběh **hladiny podzemní vody** je přibližně paralelní s průběhem povrchu terénu. Kolísání hladiny je závislé na množství a charakteru srážek.

Lze vyčlenit dva systémy oběhu podzemní vody. **Mělký oběh** je vázán na kvartérní pokryv a zónu zvětrání a rozpojení puklin skalních hornin. **Hluboký oběh** je vázán na tektonicky predisponované zóny uvnitř hornin krystalinika (Krásný, 1982).

V krystaliniku Krušných hor lze vyčlenit **dva hlavní typy chemismu** podzemních vod. V zóně mělkého oběhu jsou to typy Ca - SO<sub>4</sub> a Ca Na Mg – SO<sub>4</sub> HCO<sub>3</sub>. V zóně hlubšího oběhu roste celková mineralizace a hydrochemické typy se mění na Ca – HCO<sub>3</sub> SO<sub>4</sub> a Ca Na – HCO<sub>3</sub> SO<sub>4</sub>. Vody paranal mají vyšší poměr HCO<sub>3</sub> / SO<sub>4</sub>, nižší poměry vykazují vody ortorul a svorů (Pištora et al, 1994). Pro severovýchodní část zájmové oblasti je typický zvýšený obsah Rn. Jeho  $\alpha$  aktivita se pohybuje v hodnotách do 0,1 Bq.l<sup>-1</sup>. V severovýchodní části území také probíhá pásmo zvýšených hodnot zemského tepelného toku, označované jako „freibergsko – teplicko – mělnická geotermální anomálie (Čermák – Jetel – Krčmář, 1968), což kladně ovlivňuje možnost tvorby termálních vod.

### 6.2.1. Antropogenní vlivy na hydrogeologické poměry v oblasti Krušných hor

Antropogenní vlivy, především těžební a průmyslová činnost a s nimi spojené znečištění atmosféry, se v oblasti Krušných hor uplatňují ve větší míře, než na Šumavě. V souvislosti s těmito činnostmi prodělaly podzemní vody Krušných hor od 60. let významné změny.

Charakteristický je významný pokles alkality, který přechází až k absenci hydrogenuhličitanů a nárůst především obsahů síranů a dusičnanů. Při poklesu hodnoty pH pod 5 prudce rostou obsahy Al a Be.



Od poloviny 60. let klesly obsahy hydrogenuhličitanů v průměru z 22 mg.l<sup>-1</sup> na 12 mg.l<sup>-1</sup> a obsahy dusičnanů stouply ze 4 mg.l<sup>-1</sup> na 19 mg.l<sup>-1</sup> (Hrkal, 1994). Stoupající trend zaznamenaly též obsahy síranů a vápníku. Tyto změny byly způsobeny kyselou atmosférickou depozicí, vyvolanou důlní a průmyslovou činností v podkrušnohorských oblastech. Největší kvalitativní změny byly zaznamenány v nejnižších nadmořských výškách. V pramenech ve výšce pod 500 m. n. m. klesly průměrné hodnoty obsahu hydrogenuhličitanů v období od poloviny 60. let do přelomu 80. a 90. let nejvíce. V současnosti se stupeň acidifikace podzemních vod v krystaliniku Krušných hor již nezvyšuje.

## 7. Přehled terénních a laboratorních prací

Získaný soubor dat byl podroben chemometrické analýze. Ta spočívala v použití statistických korelačních metod, do kterých byly zahrnuty pouze ty proměnné, jejichž dostatečný počet dat zajišťuje spolehlivou hodnotu získaného korelačního koeficientu. V závislosti na struktuře daného datového souboru byl vybrán **korelační koeficient** Pearsonův, který je citlivý na lineární závislost mezi dvěma proměnnými (Zvára a Štěpán, 1997). Tento koeficient bude dále v textu označován R. Při výpočtu koeficientu byly vyloučeny hodnoty, ležící pod detekčním limitem metody.

Daný soubor vstupních dat (řádově stovky vzorků a desítky parametrů-proměnných) umožňuje nejlepší zpracování korelační analýzou. Za tímto účelem byly vytvořeny korelační matice proměnných, zvláště pro vzorky ze Šumavy a zvláště z Krušných hor. Eventuelní korelace vzorků obou zájmových území dohromady by nepřinesla relevantní zjištění – prameny na Šumavě a v Krušných horách nejsou spojitelné z hlediska žádného parametru a jejich vzájemná korelace by nepřinesla žádné interpretovatelné výsledky.

Časové závislosti jsou pro datový soubor nevysledovatelné, neboť vzorky byly pro jednotlivé prameny odebírány v odlišných dnech. Kdybychom vytvořili z jednotlivých dnů

u každého pramene průměr (nebo medián, či jinou popisnou charakteristiku), dostali bychom nepřijatelné zjednodušení, které by sice bylo možné zpracovat numericky, ale jeho význam pro interpretaci hydrogeologických dat by byl zanedbatelný.

Z korelační matice mezi jednotlivými parametry byly vybrány statisticky významné Pearsonovy korelační koeficienty. Za statisticky významné koeficienty byly považovány ty, které popisují závislost na hladině pravděpodobnosti 95 % ( $p < 0,05$ ) nebo lepší. Tyto statisticky významné koeficienty jsou uvedeny v tabulce 12.

Multivariační analýzy, jakou je například analýza hlavních komponent vyhledá pouze stejné závislosti, které určí korelace. Analýza hlavních komponent je statistická metoda, která redukuje počet původních proměnných na menší počet nových proměnných (hlavních komponent). Další závislosti eventuelně odhalené analýzou hlavních komponent, by byly nepřesné, neboť hodnoty více než poloviny parametrů leží pod detekčním limitem metody a mnohdy data chybí zcela.

Závislosti uvedené v tabulce 12 sice v některých případech odpovídají hydrogeochemickým zákonitostem (například korelace mezi obsahem vápníku a tvrdostí vody), avšak jsou konkrétním výsledkem statistického zpracování dat.

Toto zpracování zároveň ukázalo, že závislosti mezi jinými parametry (především mezi obsahy kovy) neexistují, nebo nejsou zjistitelné. Je to způsobeno tím, že obsahy kovů v naprosté většině případů leží pod detekčním limitem a tudíž tato měření nejsou čísla a nelze je použít ve statistických metodách.

Z této podkapitoly vyplývá, že často neúplný soubor dat, s hodnotami  $< DL$ , lze statisticky zpracovat korelační analýzou, jejíž výsledky jsou uvedeny dále v textu. Přestože odběr vzorků a laboratorní zpracování bylo provedeno řádně a v souladu s pokyny laboratoře, zjištěné výsledky umožňují pouze uvedené statistické zpracování.

## 8. Přehled výsledků a diskuse

### 8.1. Výsledky statistické korelační analýzy

Použitím statistických metod bylo zjištěno, že některé parametry mezi sebou vykazují statisticky významné závislosti. Analýza byla provedena nejprve pro data z jednotlivých oblastí zvlášť a poté byly korelace z obou zájmových oblastí porovnány. Do zpracování byly zahrnuty pouze ty parametry, jejichž hodnoty byly skutečné (nikoliv nižší, než detekční limit metody) a počet hodnot dostačující. V tabulce 10 je uveden přehled statisticky významných korelací mezi jednotlivými parametry v rámci obou zájmových oblastí. Obecně nižší hodnoty  $R$  u vzorků z Krušných hor nejsou způsobeny geologickou odlišností, ale menším počtem vstupních dat.

Z výsledků vyplývá, že kromě očekávaných statisticky významných korelací, jako jsou například dvojice parametrů teplota vzduchu – teplota vody nebo terénní pH – laboratorní pH bylo zjištěno několik zajímavých informací, týkajících se kromě jiného hydrochemického typu vod. Korelace mezi obsahem vápníku a tvrdostí vody je zřejmá, neboť iont  $\text{Ca}^{2+}$  se vedle iontu  $\text{Mg}^{2+}$  podílí na hodnotě tvrdosti vody dominantní měrou. Stejně tak je zřejmá korelace mezi obsahem aniontu  $\text{HCO}_3^-$  a alkalitou, neboť při daném pH studovaných vod se na hodnotě alkality vody podílí hlavně ionty  $\text{HCO}_3^-$ .

Ve vzorcích se Šumavské zájmové oblasti je zajímavým zjištěním fakt, že **aniont  $\text{HCO}_3^-$  koreluje velmi významně s kationtem  $\text{Ca}^{2+}$**  (obr. 7) a také s  $\text{Na}^+$ , i když v menší míře. Vody by tedy mohly být zařazeny do hydrochemického typu Ca Na -  $\text{HCO}_3$ . Tento typ je nejsvrchnějším typem ve vertikální hydrochemické zonálnosti vod, kterou popisuje Pačes (1983). Hydrochemický typ podzemních vod krystalinika Šumavy souhlasí také s údaji z literatury (kolektiv autorů, 1964): vody se zde řadí k typu „kalcio – natrio – bikarbonátovému“.

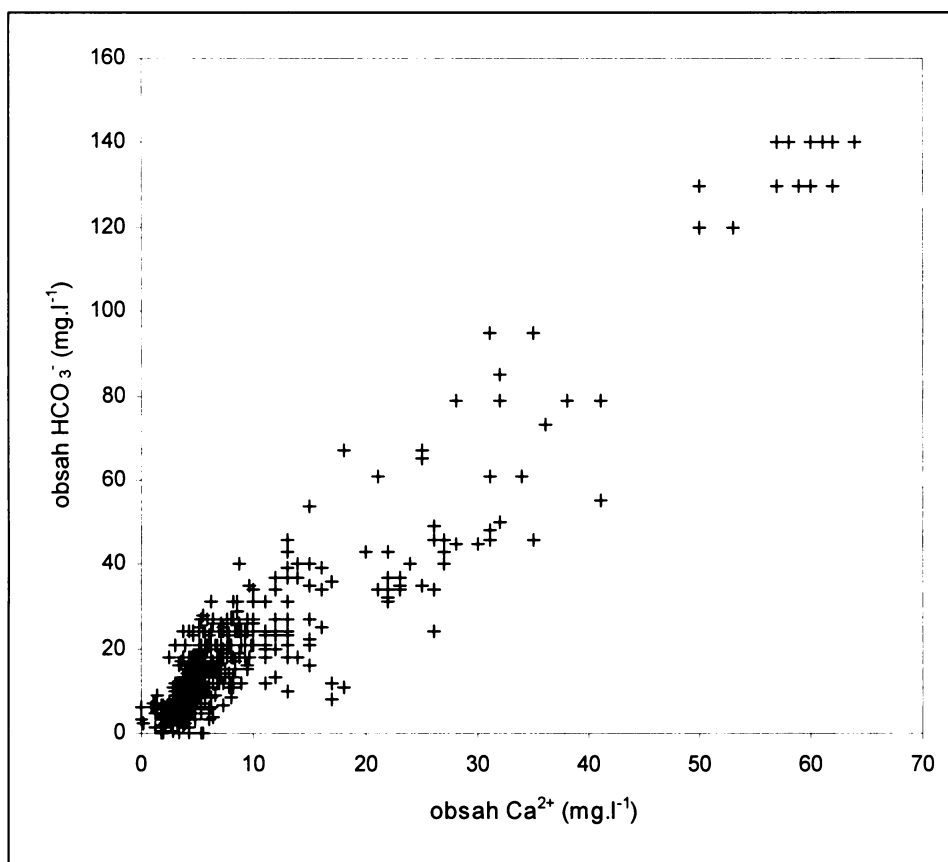
Vertikální zonálnost je známá spíše ze sedimentárních pánví, ale její zákonitosti jsou použitelné i pro vody hydrogeologických masívů. Předpokládá se, že vývoj zón souvisí s přeměnou staré mořské vody během geologického oběhu. Jejich vývin však nezávisí pouze na interakci vody s minerálními fázemi, ale je podstatně ovlivněn mísením s meteorickými a snad i magmatickými vodami. Chemická podobnost podzemních vod hlubinného oběhu se složením plynokapalných uzavřenin v minerálech magmatických hornin naznačuje, že hydrochemická zonálnost může být obecně výsledkem nejen sedimentárního cyklu, ale také procesů, při kterých dochází k diferenciaci magmatu (Clayton et al., 1966).

1. parametr	2. parametr	R (Šumava)	R (Krušné hory)
teplota vzduchu	teplota vody	0,651	0,774
terénní pH	laboratorní pH	0,726	0,784
alkalita	tvrdost vody	0,932	0,860
obsah Ca <sup>2+</sup>	alkalita	0,946	0,807
obsah Ca <sup>2+</sup>	tvrdost vody	0,991	0,984
obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	alkalita	0,634	
obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	tvrdost vody	0,779	
obsah HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	alkalita	0,997	0,965
obsah HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	tvrdost vody	0,931	0,604
obsah Na <sup>+</sup>	alkalita	0,628	
obsah Na <sup>+</sup>	tvrdost vody	0,757	0,699
obsah Ca <sup>2+</sup>	obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,765	
obsah SiO <sub>2</sub>	obsah Si	0,998	0,998
obsah Ca <sup>2+</sup>	obsah HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,946	
obsah HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,640	
obsah Na <sup>+</sup>	obsah Ca <sup>2+</sup>	0,700	0,742
obsah Na <sup>+</sup>	obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,657	
obsah Na <sup>+</sup>	obsah HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,629	
obsah K <sup>+</sup>	tvrdost vody		0,631
obsah K <sup>+</sup>	obsah Ca <sup>2+</sup>		0,638
obsah K <sup>+</sup>	obsah Na <sup>+</sup>		0,642

Tabulka 10 - Statisticky významné korelační koeficienty (R) mezi jednotlivými parametry vzorků vod.

Obsahy Fe a Mn leží v naprosté většině případů pod detekčním limitem metody, který je pro Fe 0,100 mg.l<sup>-1</sup> a pro Mn 0,050 mg.l<sup>-1</sup>. Maximální skutečné hodnoty obsahu Fe i Mn

dosahují prvních jednotek  $\text{mg.l}^{-1}$ , přičemž v oblasti krystalinika Krušných hor jsou tyto obsahy obecně vyšší.



Obr. 7. Závislost mezi obsahem  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{HCO}_3^-$  ve vzorcích vod krystalinika Šumavy

Obrázek 7 interpretuje zjištěnou významnou závislost. Je pravděpodobné, že podobná korelace existuje i u vod jiných lokalit, neboť vápník a hydrogenuhličitanové ionty tvoří často hlavní složky podzemních vod.

## 8.2. Porovnání chemismu vod krystalinika Šumavy a Krušných hor

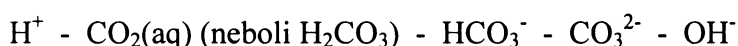
### 8.2.1. Mineralizace vod zájmových oblastí

Hodnota celkové mineralizace vod (TDS) Šumavského krystalinika má průměrnou hodnotu  $59,3 \text{ mg.l}^{-1}$ . Hodnoty se však pohybují v rozmezí od  $15,0$  do  $230,0 \text{ mg.l}^{-1}$  ( $\text{SD} = 46,1$ ). Vzorky vod Krušnohorského krystalinika mají průměrnou hodnotu  $\text{TDS} = 63,3 \text{ mg.l}^{-1}$  s rozpětím od  $21,0$  do  $99,0 \text{ mg.l}^{-1}$  ( $\text{SD} = 21,0$ ). Průměrné hodnoty naznačují, že v obou případech se jedná o

podzemní vody krystalinického oběhu s **nižší hodnotou celkové mineralizace**. Ta se v průměrné podzemní vodě krystalinika Českého masívu pohybuje řádově v prvních stovkách  $\text{mg.l}^{-1}$ . Také nízké hodnoty tohoto parametru naznačují, že z hlediska vertikální zonálnosti se jedná o vody přípovrchové.

### 8.2.2. Hydrochemické vlastnosti forem uhlíku v závislosti na pH

Průměrná laboratorní hodnota pH vzorků vod krystalinika Šumavy je 6,08 (SD = 0,73). Vzorky z krystalinika Krušných hor vykazují průměrnou laboratorní hodnotu pH = 5,74 (SD = 0,88). Je tedy zřejmé, že vody krystalinika Šumavy se ve svém průměru více blíží hodnotám vod neutrálních, ačkoliv vody obou zájmových území spadají do oblasti mírně kyselých až kyselých. Při těchto hodnotách pH jsou z uhlíkatých forem řady



ve vodě nejvíce zastoupeny hydrogenuhličitanové anionty ( $\text{HCO}_3^-$ ).

Hydrogenuhličitanové anionty jsou obecně nejrozšířenějším aniontem, obsahujícím uhlík, v podzemních vodách s mělkým oběhem. V zájmových oblastech jsou průměrné hodnoty obsahu  $\text{HCO}_3^-$  16,8  $\text{mg.l}^{-1}$  (krystalinikum Šumavy) a 12,7  $\text{mg.l}^{-1}$  (krystalinikum Krušných hor). Obsahy tohoto aniontu jsou však velmi nepravidelné a pohybují se řádově v jednotkách až desítkách  $\text{mg.l}^{-1}$ , přičemž vody Šumavské zájmové oblasti dosahují maximálních hodnot až 140,0  $\text{mg.l}^{-1}$ . Tyto hodnoty jsou v souladu s obvyklými obsahy těchto iontů v podzemních vodách.

### 8.2.3. Výskyt hlavních aniontů a kationtů vod zájmových oblastí

Tabulka 11 uvádí srovnání hlavních parametrů vod zájmových oblastí. Studované vody krystalinika Šumavy vykazují vyšší hodnoty v obsazích dusičnanů. Vody z Krušných hor naopak obsahují více kationtů a  $\text{SiO}_2$ , což potvrzuje výsledky z kap. 8.2.1. Pravděpodobně to

souvisí s tím, že hodnota pH je ve svém průměru nižší ve vodách této zájmové oblasti a že zde dochází k intenzivnější hydrolyze minerálů.

Ve vodách kyselých alumosilikátových hornin s menší hodnotou celkové mineralizace je obsah **vápníku** často vyšší, než obsah **sodíku** (Pačes, 1972). To se shoduje s obsahy těchto kationtů ve vodách zájmových oblastí, kde jsou průměrné obsahy vápníku přibližně dvakrát vyšší.

<b>Šumava</b>				
<b>Parametr</b>	<b>Jednotka</b>	<b>průměr</b>	<b>medián</b>	<b>směr. odchylka</b>
Laboratorní pH	-	6,08	6,20	0,73
Alkalita	mmol.l <sup>-1</sup>	0,29	0,20	0,35
Tvrdost vody	mmol.l <sup>-1</sup>	0,27	0,16	0,31
obsah Ca <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	7,72	4,60	9,46
obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	6,85	3,70	10,67
obsah F <sup>-</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	0,10	0,06	0,16
obsah Si	mg.l <sup>-1</sup>	5,97	5,90	2,35
obsah SiO <sub>2</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	12,82	13,00	5,07
obsah Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	3,19	2,80	2,00
obsah K <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	1,50	1,00	1,70
<b>Krušné hory</b>				
	<b>jednotka</b>	<b>průměr</b>	<b>medián</b>	<b>směr. odchylka</b>
Laboratorní pH	-	5,74	5,80	0,88
Alkalita	mmol.l <sup>-1</sup>	0,27	0,15	0,46
Tvrdost vody	mmol.l <sup>-1</sup>	0,46	0,39	0,37
obsah Ca <sup>2+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	12,81	11,00	10,38
obsah NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	5,90	4,75	6,13
obsah F <sup>-</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	0,21	0,14	0,22
obsah Si	mg.l <sup>-1</sup>	6,02	6,00	2,36
obsah SiO <sub>2</sub>	mg.l <sup>-1</sup>	12,85	13,00	5,05
obsah Na <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	5,93	4,10	6,64
obsah K <sup>+</sup>	mg.l <sup>-1</sup>	1,92	1,30	1,66

Tabulka 11. Hlavní parametry podzemních vod krystalinika Šumavy a Krušných hor.

Přestože pohorí Šumava je vyšší než Krušné hory, nachází se prameny zájmové oblasti krystalinika Krušných hor v průměru ve vyšších **nadmořských výškách**. Konkrétní hodnoty se pohybují od 800 do 1000 m.n.m. (Hazdrová, 1985). Také tento rozdíl může způsobovat

rozdíly v obsazích některých složek vod zájmových oblastí. Typickým příkladem je zemědělská činnost, která je více provozována v nižším podhůří Šumavy a která zapříčiňuje vyšší obsahy dusičnanů ve vodách této zájmové oblasti.

#### **8.2.4. Výskyt CO<sub>2</sub> v podzemních vodách**

**Obsahy CO<sub>2</sub>** v podzemních vodách krystalinika Šumavy se pohybují v rozmezí od 1,3 do 34,0 mg.l<sup>-1</sup> (průměr = 7,8 ; SD = 6,6). V krystaliniku Krušných hor se tato hodnota pohybuje od 0,4 do 53,0 mg.l<sup>-1</sup> (průměr = 7,5, SD = 7,1). Tyto hodnoty jsou nižší, než je průměrná hodnota obsahu rozpuštěného CO<sub>2</sub> v podzemních vodách kyselých alumosilikátových hornin Českého masívu, která činí 70 mg.l<sup>-1</sup> (Pačes, 1983). V Českém masívu je charakteristický zvýšený tok CO<sub>2</sub> z litosféry, přičemž jeho nejvyšší parciální tlaky jsou známy v podzemních vodách, cirkulujících podél nejvýznamnějších zlomových linií. Z nižších hodnot obsahů CO<sub>2</sub> zjištěných v zájmových oblastech lze soudit, že tektonické porušení horninových masívů je relativně nízké.

### **8.3. Podíl přírodních a antropogenních faktorů na chemismus vod**

#### **8.3.1. Přírodní faktory určující chemismus podzemních vod**

Přírodní faktory, které ovlivňují procesy vzniku chemismu podzemních vod krystalinického oběhu, jsou velmi různorodé. Konkrétně se jedná o hydrolýzu živců a slíd, krystalizaci jílových minerálů a kalcitu a srážení amorfních alumosilikátů a hydroxidů. Neméně důležitou reakcí, která ve vodách probíhá, je oxidace rozpuštěných sulfidů, především pyritu. Všechny tyto procesy závisí ještě na parciálních tlacích CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> v tomto systému (Laboutka a Pačes, 1966).

Srážková voda po infiltraci do zvětralinové zóny reaguje s plyny podzemní atmosféry, která obsahuje více CO<sub>2</sub> a méně O<sub>2</sub> než povrchová atmosféra. Zvýšený parciální tlak CO<sub>2</sub>



v půdní atmosféře způsobuje, že se zvyšuje množství vodíkových iontů z disociovaných molekul  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , a proto v povrchové zóně hornin podléhají minerály intenzivní hydrolyze. Tento proces je hlavní při **prvotní tvorbě chemismu vod**. Směrem do hloubky dále klesá parciální tlak  $\text{CO}_2$  (pokud není zvyšován přísunem tohoto plynu z litosféry, především po zlomech). Zároveň klesá aktivita  $\text{H}^+$  iontů, které se spotřebují při hydrolyze minerálů.

V krystalinických horninách Českého masívu se vyskytují vody s pH nižším než 7 a s dominantním zastoupením hydrogenuhličitanových iontů mezi anionty. Jak bylo uvedeno v kap. 4.2.2., složení vod zájmových oblastí krystalinik Šumavy a Krušných hor koresponduje s těmito údaji. Jelikož pH a forma výskytu uhlíku jsou rozhodující parametry, ovlivňující hydrochemické vlastnosti a fyzikálně-chemické procesy v podzemních vodách, lze soudit, že složení vod je alespoň ve svých základních parametrech ovlivněno spíše přírodními faktory.

### 8.3.2. Podíl antropogenních faktorů na chemickém složení podzemních vod

Zasažení antropogenních faktorů do složení podzemních vod se v zájmových oblastech jeví jako středně vysoké. Látky, jejichž přítomnost je připisována znečištění, se ve vzorcích vyskytují a v ojedinělých případech se jedná dokonce o značně vysoké množství. Konkrétně jsou to dusičnany, amonné ionty a těžké kovy. Antropogenní vlivy se pravděpodobně také podílí na nízkých hodnotách pH studovaných vod, především z oblasti krystalinika Krušných hor.

**Dusičnany** ( $\text{NO}_3^-$ ) se ve vzorcích vod vyskytují řádově v hodnotách jednotek až desítek  $\text{mg.l}^{-1}$ , avšak žádné prameny nepřekračují v obsazích dusičnanů meznou hodnotou 50  $\text{mg.l}^{-1}$ , kterou uvádí Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. o požadavcích na pitnou vodu.

Obsahy dusičnanů v zájmových oblastech jsou podle platné legislativy pro organismus neškodné. Eventuelní zvýšené obsahy dusičnanů v podzemních vodách je nutné hledat

především v zemědělství, a to hlavně v aplikaci dusíkatých hnojiv na polích (Synáčková, 1996). Není vyloučena ani kontaminace ze skladišť hnojiv ještě před jejich použitím. Méně významným, nicméně také nezanedbatelným zařízením, ze kterého jsou do podzemních vod uvolňovány dusičnany (zároveň s dalšími aniontovými makrosložkami vod), jsou skládky komunálních odpadů.

**Amonné ionty** ( $\text{NH}_4^+$ ) se ve většině vzorků vyskytují v hodnotách nižších, než je detekční limit metody. Ostatní se pohybují maximálně v prvních desetínách  $\text{mg.l}^{-1}$  (nejvyšší hodnota,  $0,35 \text{ mg.l}^{-1}$ , byla naměřena ve vzorku z pramene S-21, odebraného 1.11.2000). Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. uvádí pro tuto složku vody meznou hodnotu  $0,5 \text{ mg.l}^{-1}$ . Původ amoniakálního dusíku v podzemních vodách oblastí Šumavy a Krušných hor lze hledat v několika zemědělských a komunálních zařízeních. Prvním z nich jsou skládky komunálního odpadu, jejichž redukční prostředí umožňuje výskyt dusíku právě v této formě. Amonné ionty se ve větší míře vyskytují také v hnojištích, kde jsou vázány na organické látky, které spotřebují kyslík na svoji oxidaci. Přestože původ amoniakálního dusíku v podzemních vodách přisuzujeme antropogenním vlivům, jejich koncentrace ve vodách zájmových oblastí je pro lidský organismus neškodná.

**Těžké kovy** a arsen jsou jednou z nejrizikovějších složek podzemních vod, neboť jsou již v nízkých obsazích nebezpečné lidskému zdraví. Bylo zjištěno, že ve vzorcích vod ze zájmových oblastí se některé z těchto toxických prvků v několika případech nacházejí v hodnotách vyšších, než je nejvyšší mezná hodnota (NMH) nebo mezná hodnota (MH), uváděná ve Vyhlášce č. 252/2004 Sb. Jedná se o As, Al, Ni a Pb. Konkrétní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 12. Ze zpracování dat vyplývá, že znečištění podzemních vod prvky vykazujícími toxicitu je obecně vyšší v zájmové oblasti Krušných hor, což může být přičteno vyšší akumulaci průmyslu, elektráren a povrchových hnědouhelných dolů v severních Čechách.

**Hliník** se jako jediný kov vyskytuje ve zvýšeném množství ve vodách Šumavy i Krušných hor. Tento fakt lze přisoudit jeho uvolňování z alumosilikátových hornin krystalinika vlivem kyselé atmosférické depozice, vyvolané emisemi SO<sub>2</sub> a oxidů dusíku do atmosféry. Obsahy ostatních stanovovaných těžkých kovů, tzn. Cr, Cd, Cu, Se a Sb limity pro pitnou vodu nepřekračují.

prvek	limit	typ limitu	max. obsah		číslo pramene	
			Š	KH	Š	KH
As	0,01	NMH	0,031	0,12	S-3 (12.2.2001)	K-13 (8.8.2001)
Al	0,2	MH	0,85	1,8	S-21 (1.11.2000)	K-3 (31.1.2001)
Ni	0,02	NMH		0,029		K-3 (13.2.2002))
Pb	0,01	NMH	0,046	0,081	S-18 (26.10.2000)	K-2 (23.4.2001)

Tabulka 12. Obsahy toxických prvků ve vzorcích vod. Š Šumava, KH Krušné hory, NMH nejvyšší mezná hodnota, MH mezná hodnota. Hodnoty v mg.l<sup>-1</sup>

Pramen **S-3** se nachází v západní části zájmového území krystalinika Šumavy, u obce Zálužice v povodí Otavy. Z důvodu nepřítomnosti průmyslu považujeme za zdroj arsenu fosfátová hnojiva a pesticidy, aplikované při zemědělské činnosti. Zvýšený obsah hliníku ve vodě pramene **S-21** nacházejícího se západně od obce Churáňov v povodí potoka Losenice, je s nejvyšší pravděpodobností přírodního původu, neboť v okolí a v povodí se nenachází průmysl ani není provozována důlní činnost. Pramen **S-18** se nachází v obci Výškovice v povodí říčky Volyňky. Předpokládáme, že zvýšené obsahy olova ve vodách z tohoto pramene nacházejícího se přímo v obci jsou způsobeny nezodpovědným nakládáním s vybitými akumulátory nebo úniky pohonných hmot ze zemědělských strojů.

Jelikož prameny **K-2** a **K-3** leží na západním okraji periferie města Ústí nad Labem, lze zvýšené obsahy hliníku, niklu a olova vysvětlit průmyslovou činností, provozovanou ve městě a v okolí. Konkrétní průmyslová odvětví, která způsobují znečištění podzemních vod těmito těžkými kovy, jsou uvedena dále v textu. Pramen **K-13** se nachází u obce Rudolice v Horách v povodí Telčského potoka. Zvýšené obsahy arsenu ve vzorku vody z tohoto

pramene lze vysvětlit jeho uvolněním z podložních hornin, neboť průmyslová ani zemědělská činnost se v povodí neprovozují.

Dále v textu je podán souhrn hlavních zdrojů a účinků na organismus toxických prvků, uvedených v tabulce 12.

**Arsen** je kumulativní jed, který poškozuje kůži a oběhový systém a je karcinogenní. Antropogenní zdroje tohoto prvku v podzemních vodách jsou především odpady z koželužen, popílky z elektráren, prací prášky, fosfátová hnojiva a pesticidy (Synáčková, 1996). Hlavním přírodním zdrojem jsou sulfidické rudy, především arsenopyrit (FeAsS).

**Hliník** má neurotoxické účinky na organismus a známá je jeho fytotoxicita. V posledních letech se objevilo také podezření, že zvýšené obsahy tohoto prvku ve vodách mohou způsobovat Alzheimerovu chorobu (Kačura et al., 1994). Primárním antropogenním zdrojem hliníku v podzemních vodách je průmysl, konkrétně výroba papíru, kůže a barviv. Dalším zdrojem jsou odpadní vody z metalurgie tohoto kovu. Jak bylo uvedeno výše, do povrchových a následně podzemních vod se uvolňuje také z alumosilikátů půd a hornin.

**Nikl** je toxický pro vodní organismy a v poslední době se objevilo podezření na karcinogenní účinky. Do podzemních vod se dostává z metalurgie, galvanoven, mincovnictví a zpraování ropy.

**Olovo** je prvek, jehož látkový cyklus je v nejvyšší míře antropogenně ovlivněn a jehož účinky na organismus jsou nejvíce prozkoumány. Kumuluje se v různých částech lidského těla (kosti, játra), způsobuje poškození ledvin a v dřívějších dobách tento těžký kov způsoboval z důvodů neznalosti jeho účinků na organismus chronické otravy. Kromě antropogenních zdrojů tohoto prvku v podzemních vodách jsou důležité také jeho přírodní zdroje, zejména sulfidické rudy. Z antropogenních zdrojů jsou kromě jeho metalurgie významné také pohonné hmoty a akumulátory.

Faktor, který může způsobovat **posun hodnoty pH podzemních vod do kyselých oblastí** (naprostá většina studovaných vzorků vod vykazuje hodnotu pH nižší než 7 a v extrémních případech pouze několika vzorků klesá až pod hodnotu pH = 4) je důlní činnost, ať již současná, nebo ukončená. Jedná se o kyselé důlní vody a také vody, vytékající z hald po několikasetleté těžbě rud v zájmových oblastech. Nicméně tento faktor je spjat s přítomností rudných, převážně sulfidických, ložisek v kyselých krystalinických horninách a může být proto chápán spíše jako přirozený. Lidskou činností pravděpodobně byla zapříčiněna vyšší míra tohoto ovlivnění.

V zájmové oblasti krystalinika Krušných hor se na nízkých hodnotách pH podílí také kyselá atmosférická depozice a malé množství vegetačního pokryvu (Hrkal, 1994). Hodnoty pH jsou zde v průměru nižší než v Šumavské zájmové oblasti. Antropogenní faktory se tedy na nižších hodnotách pH podílejí v Krušných horách ve větší míře. Přispívají k tomu vyšší objem důlní činnosti a vyšší hodnoty kyselé atmosférické depozice.

Z výše uvedených faktů vyplývá, že antropogenní faktory se v jisté míře na tvorbě chemismu podzemních vod uplatňují v obou zájmových oblastech, přičemž odlišnosti mezi nimi je třeba hledat především v typu a zdrojích znečištění.

## 9. Závěr

V průběhu zpracování zadaného tématu se ukázalo, že řešená problematika je velmi komplexní a vyžaduje zapojení různých analytických a statistických metod a také práci s literaturou při interpretaci výsledků. Shrnutím získaných výsledků jsou následující odpovědi na původní otázky:

1. Bylo zjištěno, že podzemní vody zájmových oblastí krystalinika Šumavy a Krušných hor se z hlediska hydrochemické zonálnosti řadí do **přípovrchového typu  $\text{Ca}^{2+}$  -  $\text{HCO}_3^-$**  s relativně nízkými hodnotami celkové mineralizace a obsahu  $\text{CO}_2$ . Přestože se podle průměrných hodnot pH řadí do oblasti vod mírně kyselých, vykazuje tento parametr vysokou variabilitu v datech s extrémními hodnotami v kyselých až mírně alkalických oblastech.

2. Typ a množství přírodních faktorů ovlivňujících chemismus vod obě studované oblasti spíše spojují, zatímco v **zastoupení antropogenních faktorů** byly mezi oběma oblastmi nalezeny **hlavní rozdíly**. Voda některých pramenů zájmové oblasti krystalinika Šumavy obsahuje ve větším množství dusičnany pocházející ze zemědělské činnosti, kdežto ve vodách Krušných hor byly zjištěny vyšší obsahy těžkých kovů, pravděpodobně z rudní těžební činnosti.

3. Antropogenní faktory se na kvalitě podzemních vod podílejí v obou zájmových oblastech. Přestože míra antropogenního ovlivnění není ani v jedné ze studovaných oblastí příliš vysoká, lze po zvážení získaných výsledků tvrdit, že v oblasti **Krušných hor** působí ty vlivy, které jsou lidskému zdraví škodlivější.

## 10. Seznam použité literatury

- Clayton R. N., Friedman I., Graf D. L., Mayeda T. K., Meents W. F., Shimp N. F. (1966): The origin of saline formation waters, *Journal Geophys. Res.*, 71, 3869 – 3882.
- Čech V. (1958): Zpráva o přehledném geologickém mapování na listech Strakonice a České Budějovice generální mapy, posudek ÚÚG, Praha.
- ČHMÚ (2004): Hydrologická ročenka České republiky 2004, Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Fiala J. (1996): Znečištění ovzduší a chemické složení srážek na území České republiky včetně doprovodných meteorologických dat. Souhrnný roční tabelární přehled 1995, Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Hazdrová M. et al. (1980): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 02 Ústí nad Labem, ÚÚG, Praha.
- Hazdrová M. et al. (1984): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 22 Strakonice, ÚÚG, Praha.
- Hazdrová M. et al. (1985): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 21 Klatovy, ÚÚG, Praha.
- Hrkal Z. (1994): Acidifikace podzemních vod Krušných hor – závěrečná etapa, MS ČGÚ, Praha.
- Kačura G., Burda J., Jiráček R. (1994): Hliník v podzemních vodách východní části Krušných hor, MS ČGÚ, Praha.
- Klomínský J., Dudek A. (1978): The plutonic geology of the Bohemian Massif and its problems., *Sborník geol. věd řada G*, 31, 47 – 69.
- Kodym O. (1957): Zpráva o přehledném geologickém mapování okolí Vimperka, Vlachova Břeží a Dubu, posudek ÚÚG, Praha.

- kolektiv autorů (1964): Vysvětlivky k základní geologické mapě ČSR 1:200 000 M – 33 – XXVI Strakonice, ÚÚG, Praha.
- kolektiv autorů (1980): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 02 Ústí nad Labem, ÚÚG, Praha.
- kolektiv autorů (1992): Regionálně geologické dělení Českého masívu na území České republiky, Časopis pro mineralogii a geologii, 4, 258 – 275.
- kolektiv autorů (1998): Vysvětlivky k souboru geologických účelových map ČR 1:50 000 Teplice a Petrovice, ČGÚ, Praha.
- Krásný J. (1982): Odtok podzemní vody na území Československa, Český hydrometeorologický ústav, Praha.
- Krásný J. et al. (1984): Vysvětlivky k základní hydrogeologické mapě ČSSR 1:200 000 list 32 České Budějovice, ÚÚG, Praha.
- Labotka M., Pačes T. (1966): Hydrogeologie a geochemie vod jáchymovské oblasti, Sborník geol. věd řada HIG, 4, 59 – 112.
- Mísař Z., Dudek A., Havlena V., Weiss J. (1983): Geologie ČSSR I. Český masív, Státní pedagogické nakladatelství, Praha.
- Pačes T. (1972): Chemical characteristics and equilibration in natural water-felsic rock-CO<sub>2</sub> systém, Geochimica Cosmochimica Acta, 36, 217 – 240.
- Pačes T. (1983): Základy geochemie vod, Academia, Praha.
- Pištor Z., Chrátka F., Kliner K., Řeháčková O., Žižka V. (1994): Výzkumný problém H3 Krušné hory – Změny hydrochemických parametrů v antropogenně postižené oblasti Krušných hor a využití mělkých podzemních vod svahů Krušných hor, MS ČGÚ, Praha.
- Satran V. (1955): Geologicko-petrografické a ložiskové poměry území mezi Mikulovem a Moldavou v Krušných horách.



Josef Verner – Analýza faktorů ovlivňujících chemismus podzemních vod krystalinika Šumavy a Krušných hor.

Sekyra J. (1960): Zpráva o geologickém mapování mezi Pracejovicemi a Štěkní, Zpr. o geol. výzkumu v r. 1958, ÚÚG, Praha.

Suk M. (1979): Petrologie metamorfovaných hornin, Academia, Praha.

Synáčková M. (1996): Čistota vod, ČVUT, Praha.

Vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. o požadavcích na pitnou vodu.

Zelinka M., Helan J. (1984): Čistota vod a jejich ochrana, VUT, Brno.

Zoubek V. et al. (1963), Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M – 33 – XIII Karlovy Vary.

Zvára K., Štěpán J. (1997): Pravděpodobnost a matematická statistika, Matfyzpress, Praha.

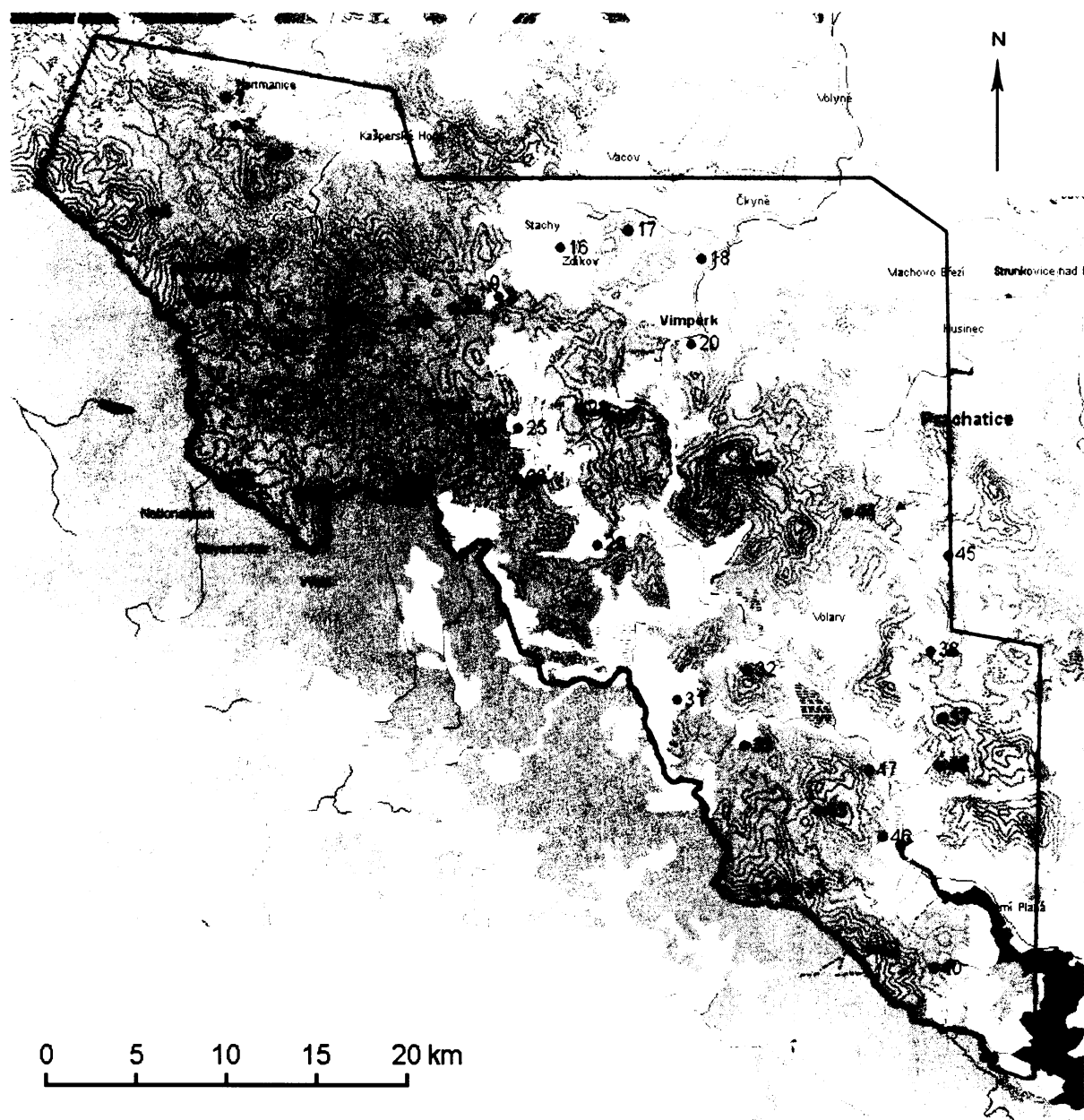
sine (1958), Atlas podnebí Československé republiky. Ústř. správa geod. kartograf. Praha.

mapový server Ministerstva životního prostředí (<http://map.env.cz>)

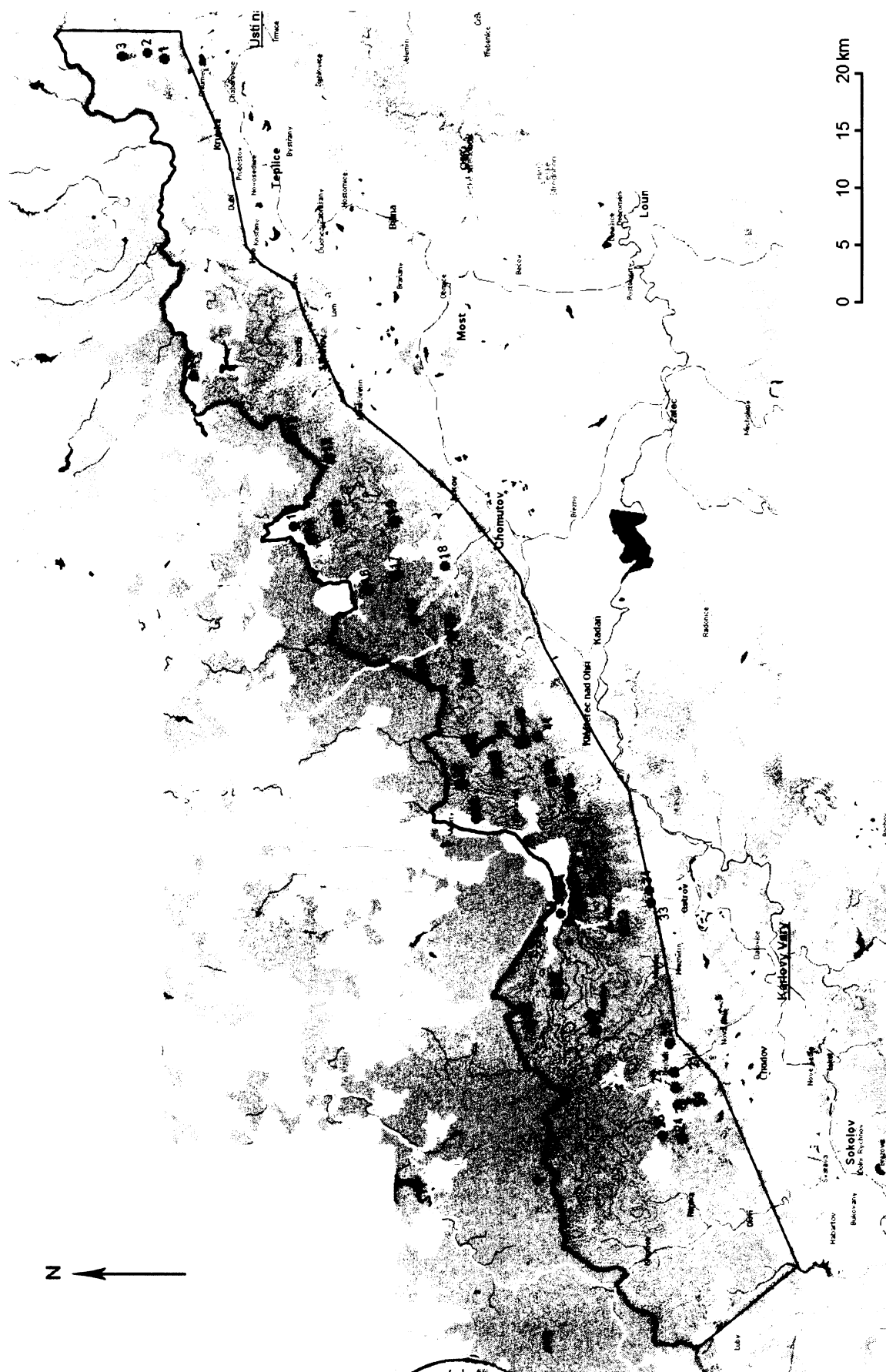
internetové stránky CHMI (<http://www.chmi.cz>)

srážkové úhrny poskytnuty CHMI

## 10. Přílohy



Vymezení zájmového území na Šumavě s vyznačením pramenů



Vymezení zájmového území v Krušných horách s vyznačením pramenů

