

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

Katedra agroekologie a biometeorologie



**Mikroklimatické poměry vrchu Boreč s ohledem na výskyt ventarol  
(místa s výfuky teplého vzduchu)**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Eva Pospíšilová**

**Vedoucí práce: Ing. Luboš Türkott, Ph.D.**

© 2013 ČZU v Praze

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Mikroklimatické poměry vrchu Boreč s ohledem na výskyt ventarol (místa s výfuky teplého vzduchu) vypracovala samostatně a použila jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Praze dne: .....

.....

podpis autora práce

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala Ing. Lubošovi Türkottovi, Ph.D. za vedení diplomové práce, podporu, trpělivost, rady a diskuze.

RNDr. Lence Thinové, Ing. Lence Dragounové a Ing. Jiřímu Martinčíkovi, Ph.D. z KDAIZ FJFI ČVUT za pomoc s měřením CO<sub>2</sub>, radonu a obsahu radionuklidů v horninách.

Ing. Davidovi Coufalovi, Ph.D. za konzultace ze statistiky.

Rodině a přátelům za trpělivost, podporu při studiu a tvorbu potřebného zázemí.

## Souhrn

Na vrchu Boreč, v Milešovské části Českého středohoří, byly sledovány mikroklimatické poměry puklinového systému znělcového masivu. Puklinový systém vrchu vytváří jev zvaný ventaroly. Systematickým měřením teploty vzduchu, ambulantním měřením rychlosti a směru proudění vzduchu puklinami bylo ověřeno, že proudění vzduchu je závislé na teplotním gradientu uvnitř a vně systému. Pokud dojde k vyrovnání vnitřní a vnější teploty, je dosaženo bodu zvratu a proudění ustává. Hodnota bodu zvratu je proměnlivá podle aktuální teploty masivu. Byla prokázána přítomnost permafrostu a vysoká akumulární schopnost vrchu, a bylo potvrzeno, že na mikroklimatické poměry nemá vliv postvulkanická činnost.

Mikroklimatický režim vrchu vytváří vhodné podmínky pro rostlinný druh *Targionia hypophylla* L., jejíž vývojová stádia jsou úzce vázána na proudění vzduchu puklinovým systémem.

**Klíčová slova:** Boreč, mikroklimatické poměry, ventarola, ledová jeskyně, *Targionia hypophylla* L.

## Summary

Microclimatic conditions of fissures in phonolite massive Borec were monitored. The hill belongs to the Milešovská part of the Czech Central Mountains. Fissures form a phenomenon known as ventarols. Systematic temperature measurement and ambulatory measurement of speed and direction of the air flowing through fissures verified that the air flow is dependent on the temperature gradient inside and outside the system. If the temperatures are equalized break point is reached and the flow ceases. Value of the break point varies according to the current temperature of the massif. The presence of permafrost and high storage capability hill was proved. It was confirmed that the microclimatic conditions are not affected by postvolcanic activity.

Microclimatic regime of the system creates favorable conditions for *Targionia hypophylla* L., whose developmental stages are closely tied to specific features of the airflow (way, strength and direction) in the fissures.

**Key words:** Borec, microclimatic conditions, ventarole, ice cave, *Targionia hypophylla* L.

Celý svět je boží laboratoř. Země je destilační nádoba, jejímž kloboukem je vzdušná pokrývka a záhřevným kahanem Slunce.

Jan Amos Komenský

# Obsah

Souhrn.....	4
Obsah .....	6
1. Úvod.....	6
2. Cíl práce a hypotéza.....	7
3. Literární přehled .....	8
3.1 Charakteristika oblasti .....	8
3.2 Charakteristika vrchu Boreč .....	9
3.2.1 Flóra vrchu Boreč .....	11
3.2.2 Fauna vrchu Boreč .....	14
3.2.3. Geologie vrchu Boreč .....	15
3.2.4. Proudění vzduchu ventarolami a sutí.....	15
4. Materiál a metodika .....	23
4.1 Popis umístění teplotních čidel .....	23
5. Výsledky .....	25
5.1 Vyhodnocení systematického měření teplot .....	25
5.2 Statistické vyhodnocení .....	28
5.2.1 Zimní režim proudění .....	28
5.2.2 Letní režim proudění.....	31
5.3 Vyhodnocení měření směru a rychlosti proudění vzduchu ve ventarolách a ledových jeskyních .....	35
5.4 Borečka vzácná .....	39
5.5 Měření CO <sub>2</sub> , radonu a obsahu radionuklidů .....	41
5.6 Prezentace vybraných výsledků .....	45
6. Diskuze .....	46
6.1 Další metody výzkumu .....	46
6.2 Nejteplejší den v ČR .....	47
6.3 Podzemní voda na Borči .....	48
7. Závěr .....	49
8. Seznam literatury .....	50
Přílohy.....	56
Příloha 1 – Geologická mapa oblasti .....	57
Příloha 2 – Výsledky litogeochemického výzkumu .....	59
Příloha 3 – Mapa radonového indexu .....	59
Příloha 4 – Mapa tepelného toku .....	60
Příloha 5 – Spektrální analýza radionuklidů (přepočteno na 1 vteřinu) .....	61
Příloha 6 – Grafické vyhodnocení naměřených teplot.....	64
Příloha 7 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Bioklima 2012 .....	72
Příloha 8 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013 .....	74

# 1. Úvod

Problematicke exhalací studeného i teplého vzduchu se věnovalo velké množství autorů. Byly zkoumány lokality na území České republiky, ale také v zahraničí, např. v Japonsku, Kanadě, Švýcarsku, Koreji aj. Fenomén pohybu vzduchu projevující se vznikem letních ledových jeskyní a zimními exhalacemi teplého vzduchu tedy není nijak ojedinělý.

Nejvíce prozkoumanou oblastí s exhalacemi v České republice je bezesporu České středohoří. Exhalace zde byly pozorovány na více než 30 lokalitách (Kubát 1971), včetně nejvyšší hory Českého středohoří Milešovky. Na svahu Plešivec u Litoměřic (509 m n. m.) byly výdechy a ledové jámy pozorovány a popisovány již v 18. století, další významnou lokalitou s výdechy je Křížová hora u Žitenic (590 m n. m.). Mimo České středohoří popisuje Kubát (1972, 1974) exhalace v Krkonoších na Velké Kotelní jámě, Malém Šišáku, Malé Čertově zahrádce a dalších. Váně (1992) popisuje silné exhalace také na Jezerní hoře nedaleko Klášterce nad Ohří. Mimo Českou republiku je proudění vzduchu v suti hojně zkoumané, převážně z geologického hlediska (Hartus and Pedersen, 1998; Sawada et al., 2003; Tanaka et al., 2000; Byun et al., 2006; Philips et al., 2009 a další).

Samotnému vrchu Boreč byla v minulosti věnována řada studií. Mikroklimatem a pozorováním reliktního výskytu játrovky *Targionia hypophylla* L. se zabýval Kubát (1971, 1974) a Váně (1992), první fotografie exhalací pořizoval Drahoš (1957), řasy a sinice ventarol studoval Škaloud (2004, 2009), mechorosty zkoumal Pilous (1959) a Soldán et al. (2003), seznam hmyzu publikoval Růžička (1999), malakozoologický průzkum provedl Ložek (1954), který se zabýval také krajinnou historií Českého středohoří (Ložek 2000). Přesto se dosud nepodařilo uspokojivě vysvětlit, jaké procesy způsobující sezónní proudění vzduchu se v Borečském vrchu odehrávají.

Tato práce je věnována sledování teplotního režimu vrchu Boreč, který se vyznačuje takovou silou a teplotou exhalací, kterou není možné pozorovat na žádné jiné lokalitě v ČR.

## 2. Cíl práce a hypotéza

Cílem této práce je zejména:

- provést systematické měření teplot vzduchu proudícího vrchem,
- provést ambulantní měření směru a rychlosti proudění vzduchu v místech vdechů i výdechů vzduchu,
- shrnout příčiny proudění vzduchu vrchem,
- prokázat akumulární schopnost puklinového systému,
- prokázat přítomnost permafrostu,
- ověřit obsah CO<sub>2</sub> v exhalacích a potvrdit či vyloučit vliv postvulkanické činnosti na mikroklima vrchu,
- sledovat výskyt a reakce borečky vzácné na změny mikroklimatu,
- sledovat výskyt zvláště chráněných druhů rostlin.

V práci jsou ověřeny tyto hypotézy:

1. Směr proudění vzduchu je jiný v chladném a teplém období roku – vychází z tvrzení Váněho (1992).
2. Směr a rychlost proudění vzduchu jsou závislé na rozdílu teplot uvnitř a vně vrchu – jedná se o podobný princip, jaký funguje v dynamických jeskyních.
3. Borečka vzácná nebyla vyhubena, jak bylo očekáváno Kubátem (1971) a dalšími.

Pokud není uvedeno jinak, byly fotografie, obrázky, grafy a tabulky obsažené v této práci pořízeny autorkou.



### 3. Literární přehled

#### 3.1 Charakteristika oblasti

CHKO České středohoří zaujímá téměř celou geomorfologickou jednotku stejnojmenného pohoří. Od r. 1976 je jejím úkolem ochrana jedinečného krajinného rázu a přírodních hodnot. Rozkládá se na ploše 1 063 km<sup>2</sup> a nachází se zde 43 maloplošných zvláště chráněných území. Reliéf krajiny vytvářejí především kuželovité kopce a vrchy vyvěřelých čedičů a znělců. Výškový gradient středohoří je od koryta Labe u Děčína 122 m n. m. do 837 m n. m. na vrcholu Milešovky. České středohoří vzniklo v důsledku třetihorního vulkanismu, k oživení vulkanické činnosti tzv. Oherského riftu došlo v odezvě na alpské vrásnění (Cajz et al., 1996). Oblast je ohraničena litoměřickým zlomem na jihovýchodě a krušnohorským zlomem na severozápadě. Dnešní vzhled krajiny není původní – z vulkanických těles se působením eroze zachovaly jen výplně přírodních drah a podpovrchové části, které se původně nacházely pod křídovou vrstvou. Dnešní tvary jsou tedy jen sníženým zbytkem původního pohoří (Chlupáč et al., 2002).

Srážkové poměry Českého středohoří mají výrazný gradient s ohledem na nejsušší oblasti ve srážkovém stínu Krušných hor v jihozápadní části středohoří a na srážkově bohatší a polohou vyšší oblasti severovýchodní. Výrazný rozdíl je tedy mezi Milešovským a Verneřickým středohořím. Dlouhodobé průměry ročních úhrnů srážek se pohybují mezi 470 – 800 mm.

Teplotní poměry Českého středohoří jsou výrazně ovlivněny reliéfem krajiny. Uzavřená poloha od severu a otevřená k jihu vytváří specifické teplotní podmínky umožňující výskyt teplomilné vegetace. Dlouhodobý průměr průměrné roční teploty vzduchu se pohybuje od 5,2 °C na Milešovce do 9,0 °C v Ústí nad Labem. Příznivé klimatické poměry jsou důvodem bohatství mnoha druhů rostlin a živočichů. Charakteristická jsou teplomilná stepní společenstva a společenstva sutí a na ně vázaný výskyt kriticky nebo silně ohrožených druhů. Díky vhodným přírodním podmínkám bylo České středohoří velmi brzy osídleno a kultivováno člověkem. Během staletí se tu vyvinula svérázná, harmonicky utvářená krajina typického reliéfu, krajina ovocných sadů, protkaná množstvím drobných sídel s lidovou zástavbou a vznošnými historickými památkami (AOPK ČR, 2012).

### 3.2 Charakteristika vrchu Boreč

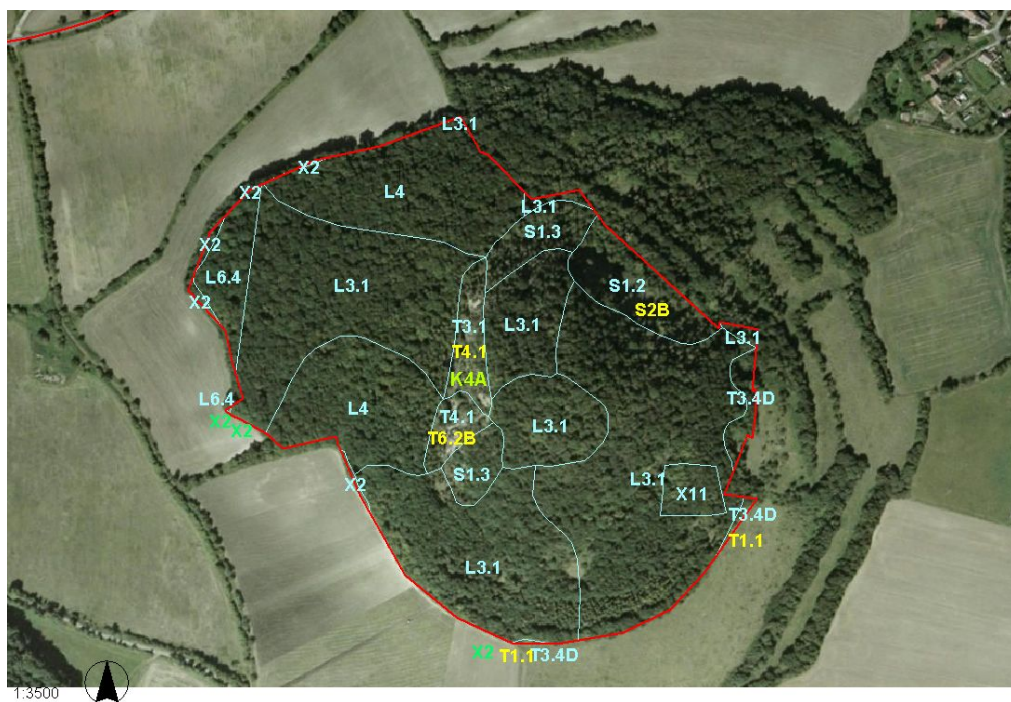
Vrch Boreč s nadmořskou výškou 449 m patří do Milešovské části Českého středohoří a do Lovošské vrchoviny. Nachází se asi 5 km západně od Lovosic (50°30'50.837"N, 13°59'19.339"E) a 0,5 km od obce Režný újezd, kde začíná okružní naučná stezka s 9 zastávkami v celkové délce 3 km.

V roce 1951 byla na území Borče vyhlášena národní přírodní rezervace, která byla v r. 1992 podle nového zákona o ochraně přírody a krajiny (114/1992 Sb.) převedena do kategorie národní přírodní památka (rozloha 18,7 ha). Předmětem ochrany je geologický fenomén lokality a zvláště chráněné druhy rostlin a živočichů. Borečský vrch se stal jednou z prvních evropsky významných lokalit (kód CZ 0422075) soustavy NATURA 2000, důvodem je výskyt kriticky ohroženého (C1) koniklece otevřeného *Pulsatilla pattens* L.

V pestré mozaice přírodních stanovišť vrchu Boreč (obr. 1, Tab. I) se dochovala široká škála druhů rostlin a živočichů, z nichž mnohé jsou zvláště chráněné. Některé druhy jsou vázány na specifické mikroklimatické podmínky a mimo vrch Boreč se v ČR nevyskytují (kapitola 3.2.1 a 3.2.2). Současný výskyt druhů s protichůdnými ekologickými požadavky je pozoruhodným jevem a dokládá význam lokality pro ochranu biodiverzity (Růžička a Zacharda, 2009). Z fytogeografického hlediska vrch náleží do oblasti České termofytikum.

Z tab. II vyplývá, že současný stav porostu dřevin vrchu Boreč je podobný přirozené skladbě. Jako problematický se může jevit výskyt akátu a modřínu, jejich populace ale nejsou nijak silné. Přirozené zmlazení porostů je často znemožňováno stády muflonů, příp. divokých prasat, která navíc lokálně ničí přirozený zápoj vegetace na povrchu půdy. Okus zvěří je problematický zejména u buku lesního, protože nedovolí jeho rozšíření. V porovnání s přirozenou skladbou porostů je nedostatečně rozšířený také javor mléč.

Biotopy vrchu byly často narušovány lidskými zásahy – např. těžbou kamene v několika lomech. Původní teplomilné doubravy částečně zmizely už ve středověku kvůli potřebě nových ploch pro pastvu dobytka. V okolí obce Boreč se nachází opuštěné sady, které jsou cenným zdrojem starých odrůd ovocných stromů (Křištof et al., 2010). Jejich pozůstatky můžeme nalézt i na východním svahu vrchu.



**Obr. 1** Mapa biotopů NPP Borečský vrch (Beran et al., 2008)

**Tab. I** Seznam biotopů NPP Borečský vrch (Beran et al., 2008)

název společenstva	podíl plochy v ZCHÚ (%)	popis biotopu společenstva
hercynské dubohabřiny (biotop L3.1)	51	převaha <i>Carpinus betulus</i> , úživné
suťové lesy (biotop L4)	17	<i>Carpinus betulus</i> , <i>Acer platanooides</i> , <i>A. pseudoplatanus</i> , <i>Sorbus</i> , <i>Corylus avellana</i>
středoevropské bazifilní teplomilné doubravy (biotop L6.4)	10	<i>Corylus avellana</i> , <i>Brachypodium pinnatum</i> , <i>Hepatica nobilis</i>
vysokostébelné trávníky skalních terássek (biotop S1.3)	2	částečně zapojené trávníky s <i>Betula pendula</i> , <i>Sorbus aucuparia</i>
štěrbinová vegetace silikátových skal a drolin (biotop S1.2)	3	droliny s <i>Asplenium</i> sp., <i>Aurinia saxatilis</i>
pohyblivé sutě silikátových hornin (biotop S2B)	3	přechody k S2B s <i>Anthericum liliago</i> , <i>Iris aphylla</i>
nízké xerofilní křoviny s <i>Cotoneaster</i> (biotop K4A)	0,5	výslunné skály s <i>Cotoneaster</i>
mezofilní ovsíkové louky (biotop T1.1)	0,5	bývalé pastviny, dnes dominantní <i>Arrhenatherum elatius</i>
skalní vegetace s kostřavou sivou (T3.1)	1	skalnatý svah s otevřenými trávníky
šírokolisté suché trávníky (bez výskytu vstavačovitých a jalovce) (biotop T3.4D)	0,5	zapojené trávníky s dominantní <i>Brachypodium pinnatum</i>
suché bylinné lemy (biotop T4.1)	3	suchý lem s <i>Geranium sanguineum</i>
bazifilní vegetace efemér a sukulentů (biotop T6.2B)	1,5	plochy s <i>Cardaminopsis petraea</i> , <i>Myosotis stenophylla</i>
obhospodařovaná pole (X2), paseky s nitrofilní vegetací (X11)	7	bez významu

**Tab. II** Porovnání přirozené a současné skladby lesa (Beran et al., 2008)

Zkratka	Název dřeviny	Současné zastoupení (ha)	Současné zastoupení (%)	Přirozené zastoupení (ha)	Přirozené zastoupení (%)
<b>Jehličnany</b>					
<b>MD</b>	Modřín opadavý	0,33	2	0	0
<b>Listnáče</b>					
<b>DBZ</b>	Dub zimní	8,71	53	7,75 – 12,76	41 – 68
<b>BK</b>	Buk lesní	0	0	1,02 – 5,63	5 – 30
<b>LP</b>	Lípa malolistá	2,89	17	1,66 – 3,33	9 – 18
<b>JV</b>	Javor mléč	0	0	0,54 – 3,25	3 – 17
<b>HB</b>	Habr obecný	1,41	9	0,18 – 1,94	1 – 10
<b>BR</b>	Bříza bělokorá	1,71	10	0,15 – 0,58	1 – 3
<b>JR</b>	Jeřáb ptačí	0,25	2	0,23 – 0,30	1 – 2
<b>BBK</b>	Javor babyka	0,96	6	0 – 1,26	0 – 7
<b>JS</b>	Jasan ztepilý	0,08	+	0 – 0,54	0 – 3
<b>MK</b>	Jeřáb muk	0,05	+	0,23 – 0,48	1 – 3
<b>BRK</b>	Jeřáb břek	0,12	1	0,23 – 1,57	1 – 8
<b>AK</b>	Trnovník akát	0,03	+	0	0
<b>Celkem</b>		<b>16,21</b>	<b>100 %</b>	-----	-----

### 3.2.1 Flóra vrchu Boreč

Nejvyšší hodnotu a druhovou rozmanitost mají na Borči společenstva skalnatých svahů a sutí. Jsou zde orientovány k severu a západu, což zapříčiňuje jejich vyšší vlhkost a příznivé podmínky, najdeme tu tedy většinu níže uvedených zvláště chráněných druhů rostlin (obr. 2). Jedná se zejména o kriticky ohrožený koniklec otevřený *Pulsatilla patens* L. (C1), hvozdík pyšný *Dianthus superbus* L. (C1), řeřišničník skalní *Cardaminopsis petraea* L. (C1), silně ohrožený lomikámen trsnatý *Saxifraga rosacea* L. (C2), kosatec bezlistý *Iris aphylla* L. (C2) a další (početnost a popis biotopu v tab. III). Během terénních exkurzí byla zdokumentována také pomněnka úzkolistá *Myosotis stenophylla* Knaf (C1), bělozářka větevnatá *Anthericum ramosum* L. (C4) a lilie zlatohlávek *Lilium martagon* (C4). V minulosti se zde vyskytoval také hořeček nahořklý *Gentianella amarella* L. (C1), který na této lokalitě patří v současnosti k vymizelým druhům (Křištof et al., 2010).

Seznam mechorostů Borečského vrchu publikoval Pilous (1959). Zajímavý je výskyt mediteránních druhů *Riccia ciliifera* Link. a *Targionia hypophylla* L. Druhy horské zastupuje *Plagiobrum Zierii* Lindb., který obvykle roste v subalpínském a alpínském pásmu. Lokalita ledových jeskyní na Borči se svými cca 350 m n.m. je jeho nejnižším místem výskytu vůbec.

**Tab. III** Seznam zvláště chráněných rostlin NPP Borečský vrch (upraveno podle Beran et al., 2008)

název druhu	aktuální početnost nebo vitalita populace v ZCHÚ	stupeň ohrožení	popis biotopu druhu
borečka vzácná ( <i>Targionia hypophylla</i> )	jádrovka, roste na ploše cca 2 - 3 m <sup>2</sup>	C1	jediné v současnosti známé místo výskytu v ČR, ventaroly - vrchol kopce
koniklec otevřený ( <i>Pulsatilla patens</i> )	cca 150	KO, C1, ČK, EVD	suťové svahy, západ
řeřišničník skalní ( <i>Cardaminopsis petraea</i> )	několik desítek ks	KO, C1	skalní sutě, okraje sutí, málo zapojená vegetace na svazích
jeřáb český ( <i>Sorbus bohemica</i> )	několik ks	KO, C1	skalní sutě, okraje sutí
hvozdík pyšný ( <i>Dianthus superbus</i> )	cca 100	SO, C2	podél cesty, les <i>D. superbus</i> subsp. <i>silvaticus</i>
kosatec bezlistý ( <i>Iris aphylla</i> )	několik set ks	SO, C2	suťový svah, západ
lomikámen růžicovitý ( <i>Saxifraga decipiens</i> - <i>S. rosacea</i> subsp. <i>sponhemica</i> )	několik desítek m <sup>2</sup>	SO, C2	vývěry chladného vzduchu, úpatí
lomikámen trojprstý ( <i>Saxifraga tridactylites</i> )	vrcholy kup, několik desítek ks	SO, C3	mravenčí kupy ( <i>Lasius</i> sp.), spodní část NPP
bělozářka liliovitá ( <i>Anthericum liliago</i> )	několik set ks	O, C3	suťové svahy
lilie zlatohlávek ( <i>Lilium martagon</i> )	roztroušeně	O, C4a	les
medovník velkokvětý ( <i>Melittis melissophyllum</i> )	velmi roztroušeně	O, C3	les
sasanka lesní ( <i>Anemone sylvestris</i> )	několik ks	O, C3	při cestě, S vah
plamének přímý ( <i>Clematis recta</i> )	několik desítek ks	O, C3	u cest, okraj lesa
tařice skalní ( <i>Aurinia saxatilis</i> )	několik set ks	O, C4a	skály, sutě
pochybek prodloužený ( <i>Androsace elongata</i> )	vrcholy kup, několik desítek ks	C2	mravenčí kupy ( <i>Lasius</i> sp.), spodní část NPP

*Vysvětlivky:* KO = kriticky ohrožený druh dle vyhlášky č. 395/1992 Sb.  
SO = silně ohrožený druh dle vyhlášky č. 395/1992 Sb.  
O = ohrožený druh dle vyhlášky č. 395/1992 Sb.  
EVD = evropsky významný druh

*Targionia hypophylla* L. je teplomilný druh, rozšířený v oblastech se středomořským či atlantským klimatem. V České republice se vyskytuje pouze na jediné lokalitě, kterou je vrchol Borče. Jedná se o reliktní třetihorní flóry, který zde musel přežít dobu ledovou a udržuje se jen díky zcela výjimečným mikroklimatickým podmínkám, které jsou způsobeny prouděním vzduchu ventarolami. Podle Pilouse (1959) byla horní vyústění ventarol uměle prohloubena, takže není možné říci, kde všude původně rostla. V roce 1932 byla zdokumentována J. Šimrem ve třech ventarolách, kde rostla dosti hojně. Totéž potvrzuje i Pilous, jak v roce 1937, tak 1939, kdy pokrývala celé dno jedné z ventarol a bohatě fruktifi-



**Obr. 2** Vybrané zvláště chráněné druhy rostlin vyskytující se na vrchu Boreč (popisováno zleva doprava - koniklec otevřený, lomikámen trsnatý, sasanka hajní, kosatec bezlistý, bělozářka větevnatá, hvozdík pyšný).

kovala. Když se na lokalitu vrátil v r. 1945, borečka byla vzácnější a v r. 1956 na jaře, kdy prováděl hlavní výzkum, našel ventaroly skoro suché, bez proudění a poškozené. Ze dna největší ventaroly byla vybrána suť, na které předtím borečka nejvíce rostla, zbývající porost měl cca 4 dm<sup>2</sup>. Pilous se domníval, že vyhynutí borečky bylo otázkou nejbližší budoucnosti a také Kubát (1971) zmiňuje, že byla borečka téměř vyhubena. Jejím pozorování je v této práci věnována kapitola 5.4.

### 3.2.2 Fauna vrchu Boreč

Také mezi živočichy je zde možné nalézt řadu ohrožených druhů. Z obratlovců např. mloka skvrnitého *Salamandra salamandra*, kterého je zde možno pozorovat i během zimního období ve vývěrech teplého vzduchu. Z bezobratlých je zajímavý glaciální relikv střevlíčka druhu *Pterostichus negligens* a dalších (tab. IV). Výskyt těchto často stenoekních druhů na vrchu Boreč je podmíněný specifickým klimatem a mikroklimatem lokality a jakékoliv narušení by výskyt těchto druhů ohrozilo (Křištof et al., 2010).

Zalétá sem silně ohrožený krahujec obecný (*Accipiter nisus*) a kavka obecná (*Corvus monedula*), ohrožený rorýs obecný (*Apus apus*), krkavec velký (*Corvus corax*), hnízdí zde výr velký (*Bubo bubo*) a pravděpodobně i krutihlav obecný (*Jynx torquilla*) (Beran et al., 2008). Pozorován byl krutihlav obecný (22. 7. 2012), výr velký (26. 7. 2012) a také strakapoud prostřední (22. 7. 2012, *Dendrocopos medius*).

**Tab. IV** Seznam zvláště chráněného hmyzu NPP Borečský vrch (upraveno podle Beran et al., 2008)

název druhu	aktuální početnost nebo vitalita populace v ZCHÚ	stupeň ohrožení	popis biotopu druhu
dřepčík ( <i>Crepidodera lamina</i> )	neznámá	CR	listnatý les, žr – stenotopní oligofág na <i>Populus (tremula, nigra)</i> , <i>Salix</i> spp.
dřepčík ( <i>Dibolia cryptocephala</i> )	1 ex., neznámá	EN	skalní step, žr – stenotopní oligofág na <i>Thymus</i> spp.
drabčík ( <i>Quedius picipes</i> )	stabilní populace, více nálezů	EN	vrcholové ventaroly a okolí
Coleoptera: Leiodidae ( <i>Choleva lederiana</i> )	velmi silná populace	VU	severní podmrzající suť, glaciální relikv
drabčík ( <i>Atheta brevicollis</i> )	1 ex., neznámá	VU	severní podmrzající suť
chrobák ( <i>Onthophagus verticicornis</i> )	neznámá	VU	východní úpatí vrchu, mizející koprofágní druh
nosatec ( <i>Trachyploeus rectus</i> )	neznámá	VU	vrchol kopce, stenotopní polyfág

<b>nosatec</b> ( <i>Mogulones euphorbiae</i> )	1 ex., neznámá	NT	lesostep, žr – ?
<b>krasec</b> ( <i>Agrilus olivicolor</i> )	neznámá	NT	lesní okraje, xylofág
<b>ploštička (Heteroptera)</b> ( <i>Plinthis pusillus</i> )	neznámá	NT	lesostep
<b>střevlík</b> ( <i>Pterostichus negligens</i> )	silná populace, neohrožený	-	severní podmrzající suť, reliktní stenobiont a glaciální reliktní
<b>střevlík</b> ( <i>Leistus montanus kultianus</i> )	silná populace, neohrožený	-	severní podmrzající suť, reliktní lithobiont; vrch Boreč je jedna z typových lokalit poddruhu

Vysvětlivky:  
O = ohrožený druh dle vyhlášky č. 395/1992 Sb.  
CR = kriticky ohrožený (Červený seznam 2005)  
EN = ohrožený (Červený seznam 2005)  
VU = zranitelný (Červený seznam 2005)  
NT = téměř ohrožený (Červený seznam 2005)

### 3.2.3. Geologie vrchu Boreč

Vrch Boreč je lakolit tvořený sodalitickým trachytem, vystupující z mírně zvlněného terénu křídové tabule. Je vulkanického původu, v jeho podloží ale převládají druhohorní mořské usazeniny slínovců a jílových vápenců křídového útvaru, kterými pak v době třetihor prorazilo trachytové magma. Původně se jednalo o podpovrchové vulkanické těleso, které bylo ještě během třetihor odkryto erozivním působením povrchové vody. Vulkanická hornina je odolnější vůči narušování než okolní usazené horniny a proto v současnosti vyčnívá vysoko nad své okolí (Křištof et al., 2010). Vlastní těleso vrchu je protkáno sítí puklin vzniklých pnutím vyvřelého znělcového masivu v průběhu jeho chladnutí (Pokorný a Holec, 2009). Dle Váněho (1992) byla příčinou vzniku puklin značná viskozita lávového proudu, která je pro tento druh horniny charakteristická. Tvoří jak pukliny rovnoběžné s povrchem, tak vertikálně odlučné plochy (obr. 3). Tyto pukliny vytvářejí pseudokrasové jevy známé jako ventaroly.

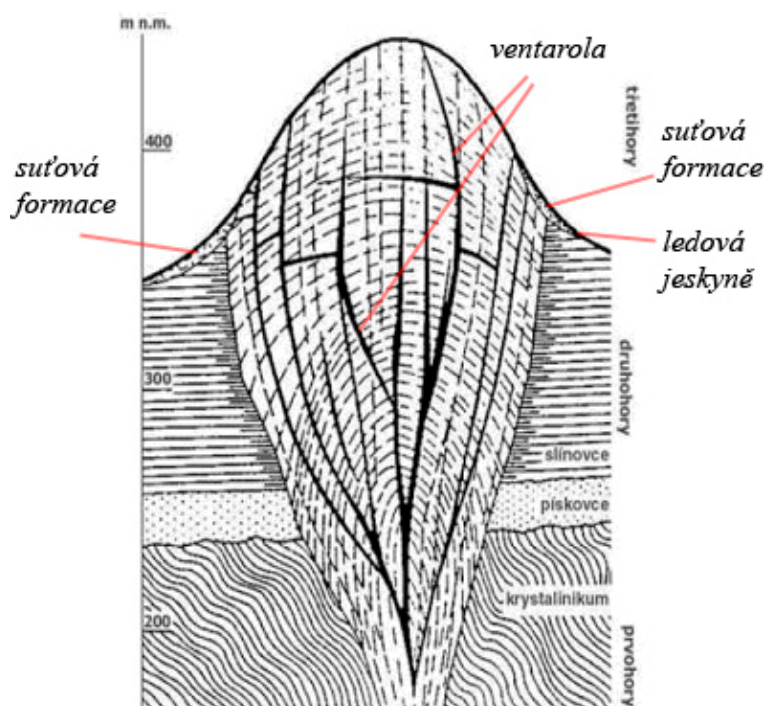
### 3.2.4. Proudění vzduchu ventarolami a sutí

Termín “ventarola“ byl použit např. Kubátem (1974), vytvořen byl z latinského ventus – vítr. Termín “tavná oka” používá Baroň (2004) – jedná se o stejný jev, který zmiňuje Kubát (1974), nazývá ho ale “mastná oka”. Jedná se o zimní efekt, kdy je sněhová pokrývka narušována teplým vzduchem vystupujícím ze suti. V létě na těchto místech většinou žádné anomálie nejsou pozorovatelné. Pro účely této práce bude používán termín “ventarola” pro puklinu ve skalním masivu, případně pro její horní vyústění. Spodní vyústění ventarol i sutí bude popisováno jako “ledová jeskyně”, protože led zde často přetrvává až do letních měsíců.



Podle Pokorného a Holce (2009) ale v ČR pravé ledové jeskyně chybí. Doporučuje termín “paledová jeskyně“, která se od “ledové jeskyně“ liší tím, že v ní led v letních měsících roztává. Termín “ledová jeskyně” je v této práci užíván ve shodě s většinou autorů (Pokorný, 2009; Chlupáč, 2002; Kubát, 1971; Váně, 1992 aj.) a také s ohledem na možný výskyt permafrostu.

V zahraniční literatuře pojem “ventarola” není vůbec používán. Autoři se většinou zabývají prouděním (“thermal regime” nebo “air circulation”) v suťových akumulacích, pro které používají širokou škálu názvů: “talus slope” (Delaloye et al., 2005, Philips et al., 2009), “scree slope” (Gude et al., 2003, Delaloye et al., 2005), “crushed rocks” (Guodong et al., 2007), “coarse blocky materials” (Harris et al., 1998), “ventilated debris accumulation” (Morard, 2008) apod. Tanaka et al. (2000) popisuje “cold and warm wind hole”, jedná se opět o proudění vzduchu sutí. Proudění vzduchu puklinovým systémem popisuje Moore et al. (2011) a používá výraz “deep fractures”.



**Obr. 3** Schématické zobrazení puklinového systému Borče (upraveno, Váně 1992)

Svahy Borče jsou převážně na severní straně pokryté suťovými poli a balvanovými proudy vzniklými mrazovým zvětráváním v průběhu čtvrtohor (Cajz et al., 1996). Sutě podléhají neustálým změnám, přičemž nejdůležitějšími faktory jsou dynamika reliéfu, klima, vegetační kryt a v neposlední řadě antropogenní faktory (Raška, 2007). Svahy mají místy

sklon až 35° a vyznačují se vlastním specifickým mikroklimatem. Zatímco povrch sutí podléhá teplotním výkyvům, prostředí uvnitř je vlhčí a má vyrovnané teploty, takže může docházet k proudění vzduchu sutí a jeho exhalacím (Kubát, 1971; Růžička, 1998; Šimr, 1957; Zacharda et al., 2007).

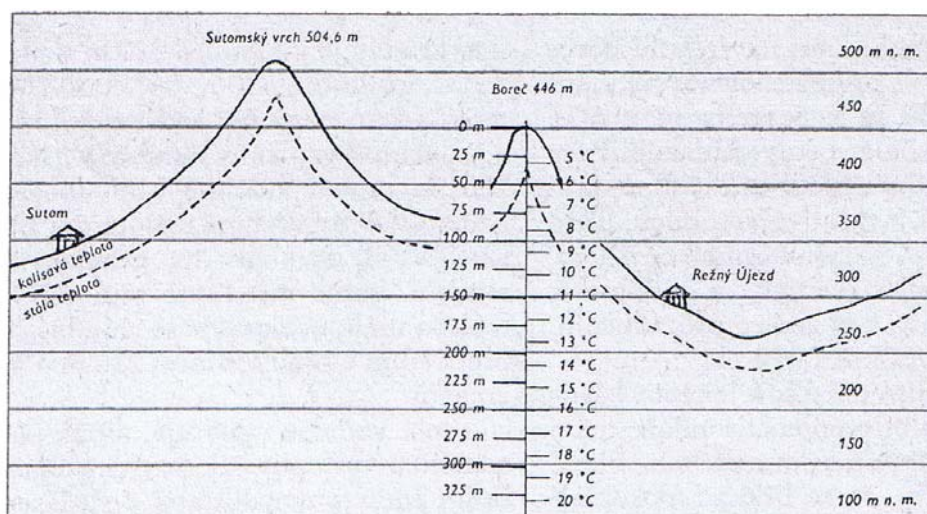
Jako exhalace označuje Kubát (1971) výrony teplého a vlhkého vzduchu ze sutí nebo puklinových systémů. Tyto výrony jsou obzvláště nápadné v zimním období, kdy z výdechových jam vystupují kužele páry a v období se sněhovou pokrývkou teplý vzduch tuto rozpouští. Vodní pára nad výrony kondenzuje na větvích stromů a vytváří ledovou námrazu (obr. 4). Tento vydechovaný vzduch je v zimním období nasáván v dolní části vrchu v místě suťových splazů. Při zvyšování okolní teploty vzduchu se směr proudění v puklinovém systému otočí, ventaroly na vrcholu kopce začnou vzduch nasávat a chladný vzduch je vyfukován v suťových partiích na úpatí kopce. To je pak příčinou vzniku ledových jeskyní, které lze pozorovat až do pozdního jara či počátku léta. Pro účely této práce jsou jako exhalace označovány jak zimní teplé výrony, tak i letní výrony studeného vzduchu ze spodních částí sutě a ledových jeskyní.



**Obr. 4** Námraza u horního vyústění ventaroly (teplý výdech, 5. 2. 2012, teplota vzduchu -7,7 °C)

Exhalace na Borči dle Váněho (1992) sledoval už v roce 1833 Sommer, který ve svém německy psaném pojednání popisoval souvislost exhalací s dohasínající sopečnou činností.

V roce 1881 byla jeho tvrzení vyvrácena měřením, které provedl Krejčí. Rozborem exhalovaných par byla vyloučena přítomnost postvulkanických plynů. Váně (1951) soudí, že teplé exhalace jsou živeny teplými prameny ohřívány doznívající sopečnou činností. Schwarz (1959) vliv hlubinné vulkanické činnosti popírá, teplota exhalací je podle něj důsledkem geotermálního stupně (odhaduje ho na 20 m), přičemž ohřátý vzduch musí proudit z hloubky větší než 230 m (obr. 5). V roce 1966 Jíra prokázal, že teplota exhalací se během zimy snižuje, jak masiv vrchu vychládá. Zjistil také letní a zimní inverzi proudění a pozoroval ledové jeskyně. Kubát (1971) se mimo jiné zabývá i výskytem ledu v ledových jámách. Domnívá se, že v zimě do suti zatéká voda a chladný vzduch, takže dochází nejen ke tvorbě ledu, ale také k promrznutí velkého množství horniny. Také upozorňuje, že led vydrží nejdéle, pokud je počasí suché. Teplé srážky urychlují jeho odtávání. Váně (1992) pozoroval, že při jedné z jeho návštěv nejspodnější ledové jeskyně vzduch vypouštěly, kdežto jiné, jen o pár metrů výše, jej nasávaly. To ho vedlo k úvaze, že ledové jeskyně mají režim do jisté míry nezávislý na teplých průduších. Tuto jeho teorii potvrzuje i nalezení drobnějších tavných ok ve svahu, cca 10 m od ledových jeskyní. Předpokládá proto, že systém je velmi složitý (obr. 3). Váně byl svědkem obrácení tahu exhalací na vrcholku Borče, což ho dovedlo k hypotéze tepelného bodu zvratu – k inverzi proudění dochází při vyrovnání teplot vně a uvnitř vrchu. Snažil se také prokázat návaznost jednotlivých průduchů. Jeho zkoušky s dýmovicemi, lyzolem, merkaptanem a siřnými knoty však spojení neprokázaly, systémem absorbované chemické látky se v žádném z vyústění neobjevily. Ve svém článku Váně (1992) shrnuje hodnoty teplot naměřené jak kolegy Krejčím, Šimrem, Jírou aj., tak při vlastních pozorováních.



**Obr. 5** Geotermální poměry (Schwarz 1959)

K proudění vzduchu sutí a ventarolami dochází z níže popsaných příčin:

1. Balchův efekt (Balch, 1900; Zacharda, 2007) – Vliv gravitace na proudění vzduchu dle jeho specifické hmotnosti. V létě je vzduch v puklinovém systému relativně studenější než v okolí, je těžší a vytéká spodní částí sutí.
2. Komínový efekt (Kubát, 1974; Váně, 1992; Wakonigg, 1996) – k proudění může docházet v systému s nestejně vysoko položenými vyústěními, kde teplota masivu je odlišná od teploty ovzduší. V zimě se vzduch v puklinovém systému ohřívá, stoupá vzhůru, na jeho místo je nasáván studený vzduch z okolí sutě. Obdobný režim byl pozorován v dynamických jeskyních. Mohutnost proudění je závislá na gradientu teplot uvnitř a vně systému – čím větší je rozdíl teplot, tím silnější jsou exhalace. Podle Guodonga et al. (2007) je důležitý také poměr hloubky, délky a šířky sutí, vlastnosti povrchu, včetně hrubosti materiálu a v neposlední řadě sklon svahu (čím vyšší sklon svahu, tím silnější komínový efekt, nejsilnější by byl při sklonu 90°).
3. Interakce s atmosférou (Hartus and Pedersen, 1998; Váně, 1992) – ke změnám v proudění dochází vlivem momentální meteorologické situace. Numerický model použitý Guodongem et al. (2007) dokazuje, že vítr má vliv na otevřené suťové akumulace (kde průliny blízko povrchu obsahují zejména vzduch) a způsobuje jejich rychlejší ochlazování v porovnání se sutí s uzavřeným povrchem.
4. Vliv latentního tepla (Wakonigg, 1996; Růžička a Zacharda, 2009) – při změně skupenství vody (vypařování, sublimace a tání) je spotřebováváno latentní teplo, což spolu s masou v zimním období prochlazené horniny brání vzestupu teploty vzduchu v sutí nad 0 °C. K oteplování prostředí dochází v případě, že voda kondenzuje, či se mění v led.
5. Vliv geotermální energie (Schwarz, 1959) – geotermální energie je přírodní teplo Země, obvykle koncentrované v rezervoárech hornin, které mohou být nasyceny vodou. S geotermikou souvisí i studium radioaktivity hornin, jejich rozložení, rychlost rozpadu a množství energie rozpadem uvolněné. Obvyklé hodnoty růstu teploty s hloubkou jsou narušeny tektonickými poruchami a různou vodivostí hornin. Teplo proudí z teplejších míst k chladnějším dvěma způsoby – vedením (kondukcí – předávání kinetické energie mezi molekulami hornin) a prouděním (konvekcí – přenos vodou či vzduchem). Zkoumáním geotermálního potenciálu a tepelného toku v oblasti České křídové pánve se zabývala Jiráková et al. (2011), měřila teplotu podzemní vody v 83 vrtech, mimo jiné i v blízkosti obce Boreč. Výsledky její práce jsou rozvedeny níže. Metodiku pro

hodnocení geotermálního potenciálu zpracovala Blažková (2010) a první hlubinný geotermální vrt v ČR, provedený v Litoměřicích, popsal Myslil et al. (2008).

Pro tepelný režim zemského tělesa jsou dle Myslila et al. (2007) důležité tyto parametry:

- Geotermický stupeň – vyjadřuje počet metrů, o který musíme sestoupit pod povrch, aby teplota stoupla o 1 °C, průměrná hodnota je 33 m. Dle Schwarze (1959) je v Českém středohoří geotermický stupeň pouze 20 m.
- Tepelný tok – množství tepla, které projde jednotkou plochy za jednotku času ( $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ ), v ČR se hodnoty pohybují mezi 30 a 120  $\text{mW}\cdot\text{m}^{-2}$ , hodnoty jsou vyšší v oblastech s třetihorní a čtvrtohorní sopečnou činností. Tepelný tok je ovlivněn mocností zemské kůry – ta je pod Českým středohořím průměrně 30 km (pro porovnání: pod oceány 6 km, pod nejvyššími pohořími až 70 km).
- Tepelná vodivost hornin – nejvíce vodivé jsou hlubinné vyvřeliny a metamorfity (jsou husté a málo pórovité). Tepelná vodivost klesá s rostoucí pórovitostí horniny, zvyšuje se s rostoucím obsahem podzemní vody.
- Obsah radionuklidů v hornině – radioaktivita hornin se určuje nejčastěji měřením záření gama. Dle Myslila et al. (2007) třetihorní vulkanity obsahují radioaktivní prvky, což potvrzuje také Příloha 3 – mapa radonového indexu). Měření Shrbeného (1998) prokázalo na Borči výskyt uranu a thoria. Jejich rozpadem (poločas jejich rozpadu je velmi pomalý – v řádu  $10^8$ - $10^{10}$  let) vzniká radioaktivní radon. Průměrné hodnoty koncentrací prvků v zemské kůře jsou 2,5 % K, 2-3  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  U a 8-12  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Th. V kyselých magmatitech, jaké najdeme na Borči, cca 3,34 % K, 3,5  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  U a 18  $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  Th. Výsledky měření přírodních radionuklidů jsou uvedeny v kapitole 5.5.
- Význam akumulčních schopností a pohybu podzemních vod – svou velkou tepelnou setrvačností voda značně ovlivňuje geotermální systémy zejména v lokálním měřítku, přesnější vyčíslení je však velmi obtížné. Pohyb vod závisí na propustnosti hornin, v případě rozpukaných hornin také na rozměrech a propojení propustných puklin.

Je tedy zřejmé, že faktory, které se na lokalitě Boreč z geotermálního hlediska projevují, jsou zejména:

- přítomnost puklin (ventaroly) a blízkost zlomů hlubšího dosahu (Litoměřický zlom),
- malá mocnost zemské kůry (Myslil et al., 2007),
- hodnota geotermálního stupně cca 20 m (Schwarz, 1959),

- přítomnost kyselých magmatických hornin, které obsahují radionuklidy,
  - území s mladou vulkanickou činností (třetihory a čtvrtohory) (Chlupáč et al., 2002),
  - obsah podzemní vody (na to je usuzováno z přítomnosti pramene na úpatí 305 m n.m.).
- Jiráková et al. (2011) prováděla měření teploty ve vrtech v Českém středohoří, mimo jiné i nedaleko obce Boreč. Vrt se tedy nenachází přímo na vrchu Boreč, ale jižně od něj, nedaleko stejnojmenné obce (neprochází vyvěrlou, ale okolní usazenou horninou).

Publikovaná data (mapa tepelného toku v příloze 4):

Souřadnice vrtu: -766485.0 -992401.0 (N50°30'30.455 E13°59'35.983)

Nadmořská výška: 303 m n. m.

Hloubka vrtu: 96 m

Tepelná vodivost horniny:  $1,8 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$  (odpovídá průměru pro usazené horniny)

Geotermální gradient:  $1.286 \text{ }^\circ\text{C}/100 \text{ m}$  (výpočet z naměřených dat)

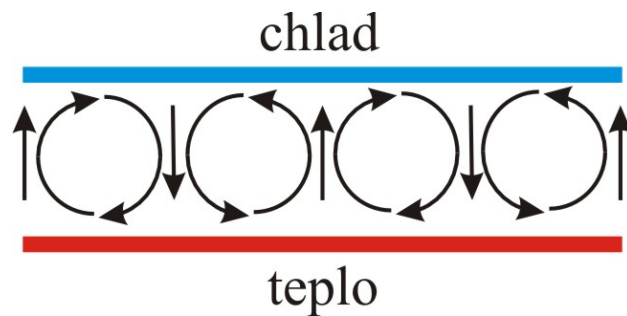
Tepelný tok:  $23 \text{ mW}\cdot\text{m}^{-2}$  (výpočet níže)

Výpočet tepelného toku:  $q = G \times \lambda$ , kde  $q$  je tepelný tok,  $G$  geotermální gradient a  $\lambda$  tepelná vodivost. Vypočtený tepelný tok je velmi nízký, což je podle Jirákové et al. (2011) způsobeno vysokým obsahem písku v křídovém masivu. Z výzkumu vyplývá, že co se týče horizontálního vedení geotermálního tepla, vodivá magmatická hornina vrchu je izolována od okolí méně vodivou usazenou horninou. Pokud zde geotermální teplo působí, děje se tak zejména ve vertikálním směru.

### **Rayleigh-Bénardova konvekce**

Z jiného úhlu pohledu se na proudění vzduchu sutí dívá Guodong et al. (2007). Suťovou akumulaci přirovnává k teplotnímu výměníku a příčiny proudění odvozuje od charakteru povrchu suťového systému, který může být otevřený nebo uzavřený (např. pokrytý zeminou). Zatímco v otevřeném systému dochází k proudění díky komínovému efektu a vlivu větru, v uzavřeném systému proudění je zdůvodněno obdobou Rayleigh-Bénardovy konvekce (která byla původně popsána pro proudění tekutin). K té dochází zejména v zimě, kdy je teplota permafrostu vyšší, než teplota okolního vzduchu. Teplo proudí k povrchu suti a permafrost je tedy ještě více ochlazován. V létě chlad permafrostu a vyšší specifická hmotnost chladného vzduchu zabraňují konvekci. Vzduch má malou tepelnou

vodivost ( $0,025 \text{ W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ ) a spolu se sušovou akumulací působí jako izolátor. Zimní tepelné ztráty a omezený přísun tepla v létě vedou k celoročnímu ochlazení suti i půdy pod ní (obr. 6).



**Obr. 6** Schéma Rayleigh-Bénarovy konvekce

Hypotézy byly potvrzeny matematickými simulacemi, laboratorním experimentem a terénním experimentem, při kterém byl zároveň testován vliv hrubosti suti na chladicí efekt.

Autor zmiňuje také technické využití chladicího efektu – ať už se jedná o umělé navršení suti na starověké hrobky, nebo jeho využití na moderních vlakových náspech.

## 4. Materiál a metodika

Výzkum byl zaměřen na hodnocení teplotních poměrů a proudění vzduchu v puklinových systémech na vrchu Boreč. Od 29. 11. 2011 byla na vybraných místech umístěna teplotní čidla PT100 s datovými sběrnicemi a v hodinových intervalech byla měřena teplota vzduchu v puklinách. Čidla byla umístěna s ohledem na mohutnost proudění během zimního i letního období a reliéf vrchu tak, aby pokryla místa s výdechy i vdechy a místa s různou intenzitou proudění. Současně byla měřena teplota vzduchu mimo puklinový systém ve výšce 2 m nad zemí v porostu dřevin. Dne 28. 3. 2012 bylo doplněno další čidlo do jedné z ledových jam na úpatí vrchu. Přesné umístění čidel bylo zaměřeno navigačním systémem GPS a zakresleno do mapy vrchu Boreč.

Rychlost a směr proudění vzduchu v puklinách byl měřen ambulantně ve vybraných termínech anemometrem Stoppani.

Během terénních exkurzí byl sledován výskyt a změny rozšíření borečky vzácné (*Targionia hypophylla* L.) a výskyt zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů.

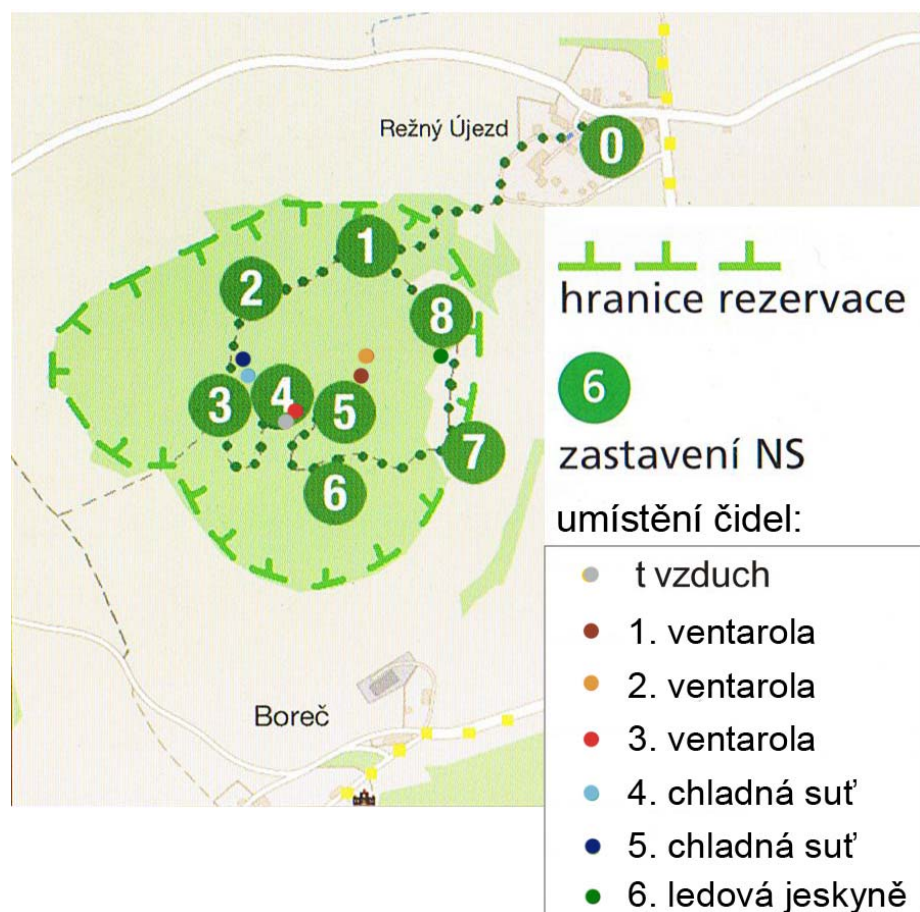
### 4.1 Popis umístění teplotních čidel

Aby nedošlo k případnému objevení teplotních čidel nepovolanou osobou, byla skryta a zamaskována přírodním materiálem – kameny, suchým dřevem, opadaným listím apod. Jednotlivé lokality umístění čidel zobrazuje obr. 7, barevné značení souhlasí s barvami časových řad na obr. 8 a na grafech v příloze 6.

- t vzduch – Čidlo pro měření teploty okolního vzduchu bylo umístěno na stinné místo ve vzrostlé vegetaci, ve výšce 2 metrů. Čidlo pracuje od 31. 12. 2011.
- 1. ventarola (hlavní zimní výdech) – Čidlo umístěné ve vyústění největší ventaroly na vrcholu kopce bylo přilepeno k velkému plochému kameni a skryto v suti. Přestalo pracovat z důvodu proniknutí vody dovnitř zařízení a bylo nahrazeno jiným dne 28. 3. 2012. Poslední odečtené hodnoty jsou z 9. 1. 2012.
- 2. ventarola (zimní výdech dolní) – Čidlo umístěné do jedné z postranních ventarol nedaleko tabule NS č. 5 – ventarola je malá a nenápadná, vyústění je zakryto kameny.



- 3. ventarola (zimní výdech střední) – Umístění nedaleko vyhlídky na Milešovské středohoří u tabule NS č. 4. Exhalace ventaroly je slabá, anemometrem většinou neměřitelná, přesto zde byly naměřeny až 25° C rozdíly teplot oproti teplotě okolí.
- 4. chladná suť (zimní vdech) – Čidlo uložené na úpatí kopce v horní partii chladné suti, nedaleko tabule NS č. 3.
- 5. chladná suť (zimní vdech) – Čidlo uložené na úpatí kopce ve střední partii chladné suti. Čidlo přestalo pracovat kvůli zatečení vody, poslední odečtené hodnoty jsou z 19. 2. 2012.
- 6. ledová jeskyně (zimní vdech) – Čidlo bylo založeno do jedné z ledových jeskyní a zarovnáno kameny. Pracuje od 28. 3. 2012.



**Obr. 7** Umístění teplotních čidel (upraveno podle Křištof et al., 2010)

## 5. Výsledky

### 5.1 Vyhodnocení systematického měření teplot

Z naměřených hodnot je patrné, že na vrchu Boreč lze pozorovat tři režimy cirkulace vzduchu (obr. 8):

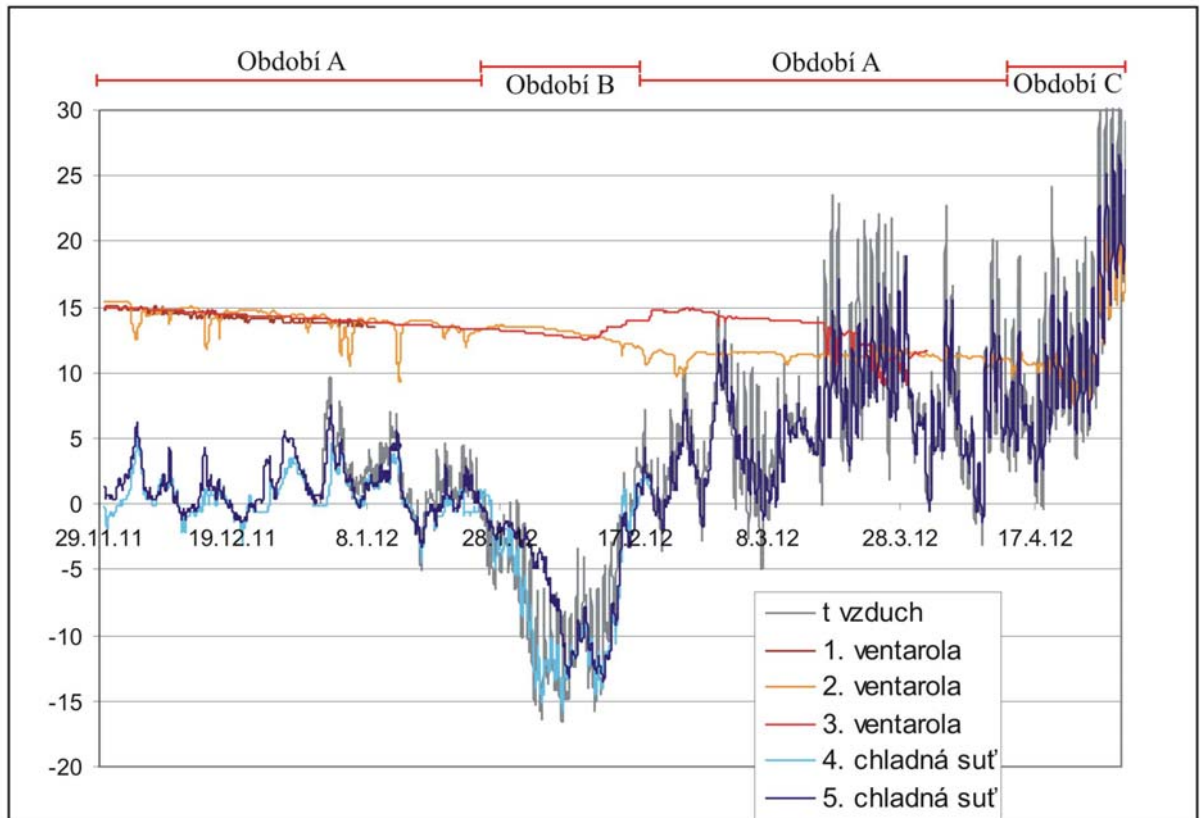
- Období A – smíšený režim proudění. Na obr. 8 převládá zimní režim, kdy je v horních partiích vrchu vydechován teplý vzduch, ale u časové řady 2. ventaroly pozorujeme korelace s teplotou okolního vzduchu – pokud dojde ke snížení rozdílu teplot uvnitř a vně systému, proudění ustává a teplotu uvnitř ventaroly ovlivňuje chladnější vzduch z okolí, případně dochází k obratu směru proudění. Celý systém je rozkolísáván také momentálními povětrnostními podmínkami (Váně, 1992).
- Období B – zimní režim proudění. V období silných mrazů je rozdíl teplot uvnitř a vně systému nejvyšší – proudění vzduchu směrem vzhůru je stabilní a exhalace jsou mohutné. Motorem proudění je zejména komínový efekt, doplňovaný vlivem momentální meteorologické situace a latentního tepla (obr. 9).
- Období C – letní režim proudění. Teplota vzduchu je vyšší než teplota uvnitř puklinového systému a dochází k nasávání vzduchu ventarolami na vrchu. Časová řada 2. ventaroly přibližně kopíruje křivku teploty vzduchu, který je nasáván. Proudění je poháněno Balchovým efektem, kdy těžší studený vzduch teče směrem dolů (obr. 10).

Na obr. 8 pozorujeme, že od počátku do konce měření (5 měsíců) teplota vydechovaného vzduchu klesla cca o 5 °C. Je zřejmé, že teplota výdechu odpovídá teplotě vnitřních prostor vrchu. Určují také teplotu bodu zvratu, která se snižuje s postupným vychládáním vrchu. Korelace mezi teplotou okolního a vydechovaného vzduchu se projevují s jistým zpožděním, které je zapříčiněno různou strukturou a délkou trasy, kterou vzduch uvnitř vrchu prochází.

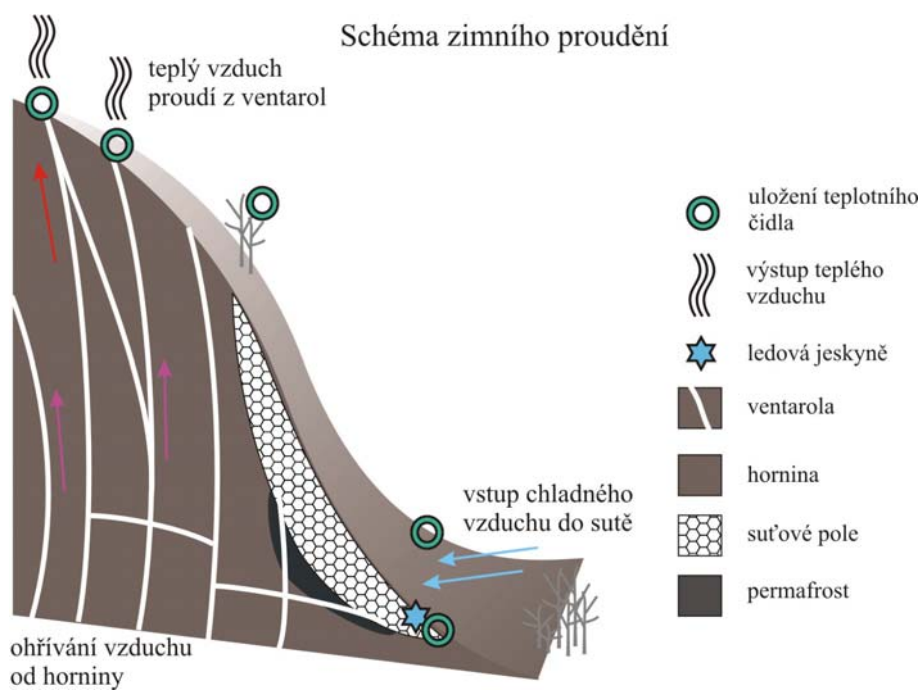
Z dat naměřených v ledové jeskyni (grafy v příloze 6) můžeme potvrdit přítomnost permafrostu v hloubi suti, v blízkosti těchto ledových jeskyní. Naměřené teploty se pohybují kolem -1 °C v dubnu 2012, 0 °C v červnu, koncem září téhož roku stoupají k 5 °C. To je sice příliš vysoká teplota pro samotný permafrost, ale přesto se jedná o teplotu nižší, než byla teplota okolního vzduchu. Prostředí ledové jeskyně se muselo ochladit od zbytků permafrostu, který zde přečkal léto. Samotný puklinový systém měl naakumulovanou teplotu kolem 15 °C.

To také potvrzuje domněnku Režného (1966) a Váněho (1992), že ledové jeskyně jsou do jisté míry nezávislé na celkovém dynamickém režimu systému.

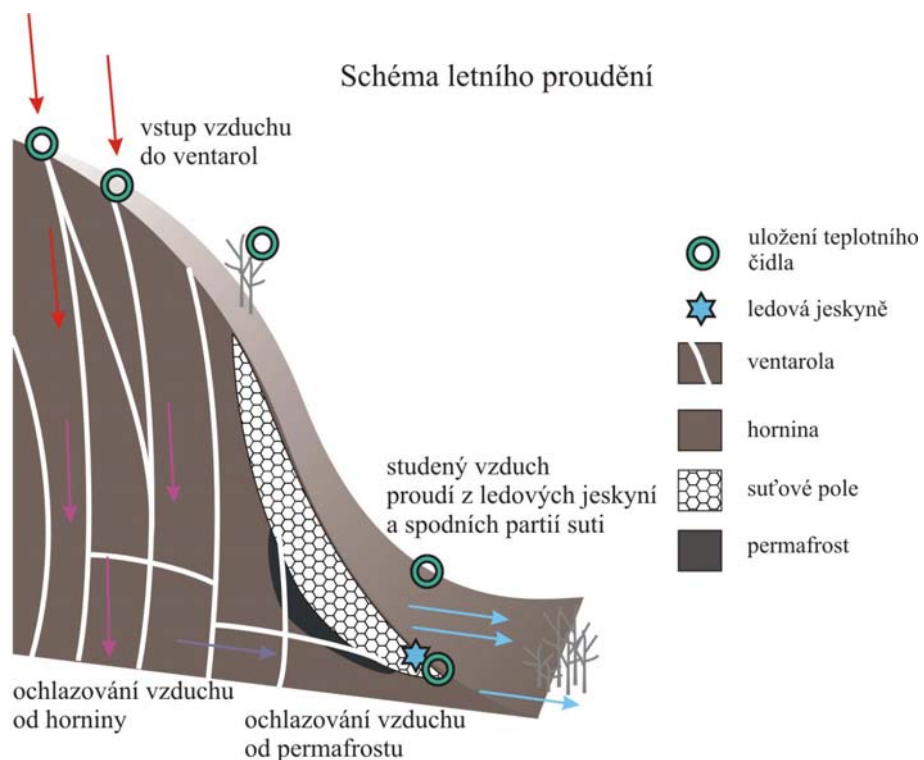
Tabulka obsahující veškeré naměřené teploty je obsažena na přiloženém CD, detailnější měsíční grafy naměřených teplot jsou shromážděny v příloze 6.



**Obr. 8** Režimy cirkulace vzduchu (prezentovány na teplotách naměřených od 29. 11. 2011 do 30. 4. 2012)



**Obr. 9** Zimní režim proudění



**Obr. 10** Letní režim proudění

## 5.2 Statistické vyhodnocení

Statistické vyhodnocení bylo provedeno na datech reprezentativních pro dané období. Pro potřeby této práce je uvedeno vyhodnocení vždy dvou vzorových časových řad, u ostatních časových řad by bylo dosaženo podobných výsledků. Provést regresi za celé zimní (případně letní) období najednou nebylo možné, vzhledem k rozdílným teplotám bodu zvratu (aktuální hodnotě vyrovnání teploty uvnitř systému a teploty okolí). Je třeba uvažovat kratší časové úseky (např. kalendářní měsíc), kdy považujeme teplotu bodu zvratu za konstantní a lze tedy provést lineární regresi na transformovaných datech.

### 5.2.1 Zimní režim proudění

Pro statistické zpracování byla vybrána data dvou časových řad z prosince 2012, na kterých byla provedena analýza závislosti – regresní analýza vyjadřuje průběh závislosti a korelační analýza její sílu. Jako nezávisle proměnná byla použita teplota okolního vzduchu, jako závisle proměnná teplota vydechovaného vzduchu měřená ve 2. ventarole. Vývoj teplot je zobrazen na obr. 11. Popisné statistiky jsou uvedeny v tab. VIII, výsledky v tab. IX a X.

Z náhledu (obr. 12) je patrné, že uvažovat lineární model závislosti zde není vhodné. Naopak, vhodným regresním modelem se jeví hyperbolický model (Svatošová a Kába, 2011). Model předpokládá transformaci vstupních dat za účelem použití lineární regrese v následujícím smyslu:  $y = a \cdot 1/(x - T) + b$ , tedy vstupní data pro lineární regresi jsou transformována výrazem  $x^* = 1/(x - T)$ , kde T je konstantní teplota bodu zvratu.

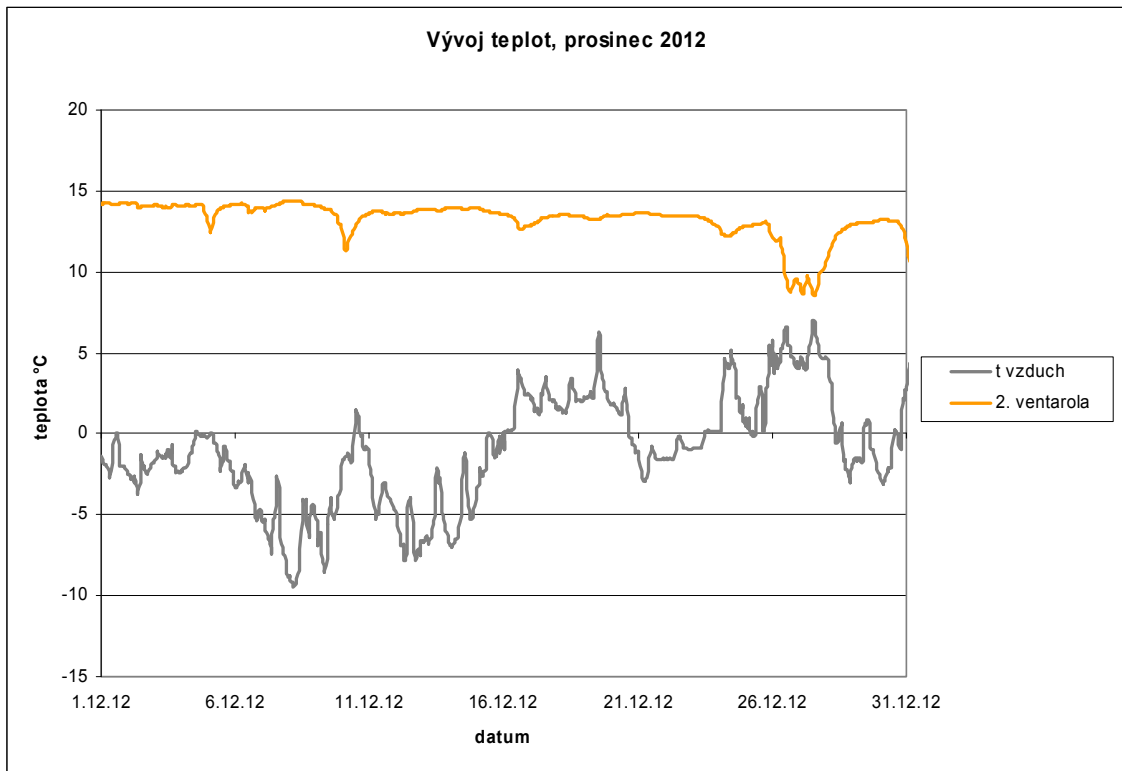
Model  $(x^*, y)$  je lineární, data tedy mohou být použita k výpočtu lineární regrese pro dané konstantní T. Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

H0: data jsou nezávislá

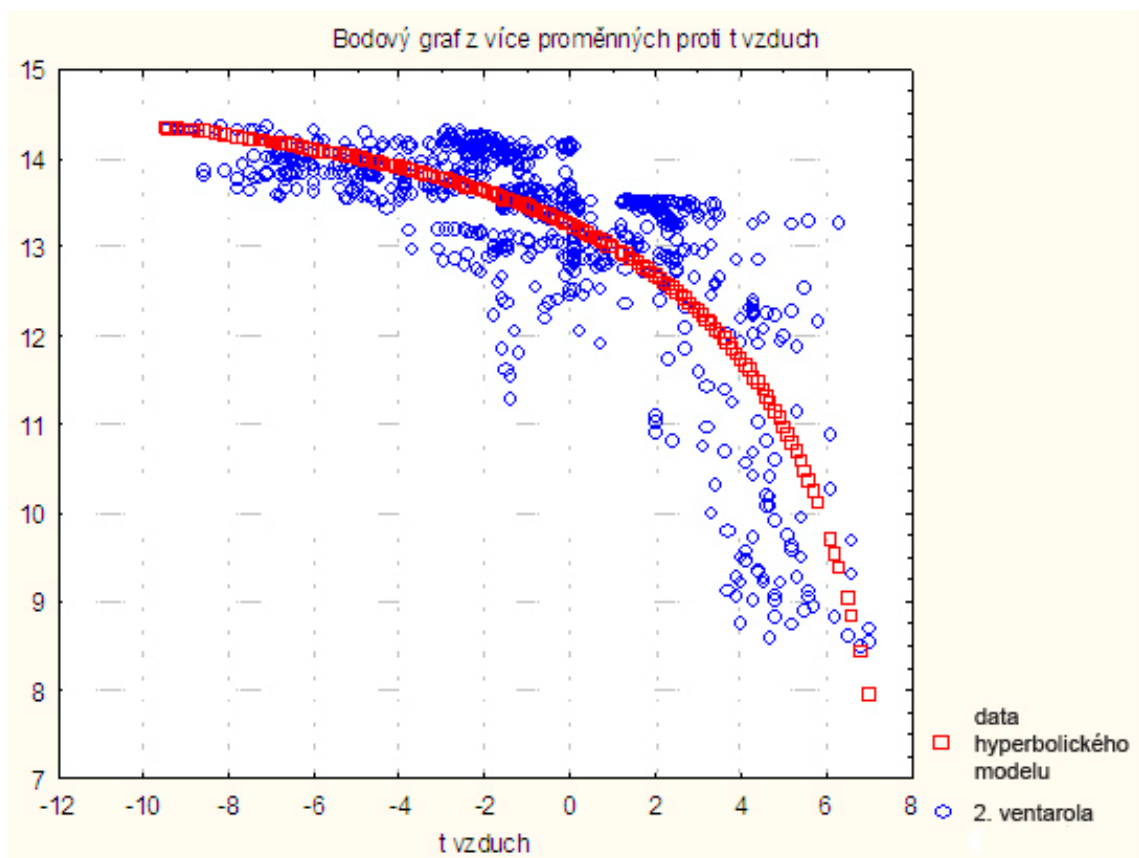
H1: data jsou závislá

**Tab. V** Tabulka popisných statistik (výstup z programu Statistica 9.1)

Proměnná	Popisné statistiky					
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.
t vzduch	744	-0,94489	-9,50000	7,00000	11,98735	3,462275
2. ventarola	744	13,16497	8,49138	14,37606	1,50471	1,226668



**Obr. 11** Grafické zobrazení dat použitých pro statistické výpočty



**Obr. 12** Hyperbolický regresní model

**Tab. VI** Výsledky regrese (výstup z programu Statistica 9.1)

N=744	Výsledky regrese se závislou proměnnou: 2. ventarola R= ,79643645 R2= ,63431103 Upravené R2= ,63381818 F(1,742)=1287,0 p<0,0000 Směrod. chyba odhadu : ,74121					
	b*	Sm.chyba z b*	<b>b</b>	Sm.chyba z b	t(742)	p-hodn.
Abs.člen			<b>15,51918</b>	0,070918	218,8329	0,00
uprav.data	0,796436	0,022200	<b>22,71403</b>	0,633136	35,8754	0,00

Rovnice lineární regrese je  $y = a x^* + b$ , tj.  $y = 22,71 \cdot 1/(x - 10) + 15,52$ . Parametr p je menší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Zamítáme  $H_0$  a přijímáme  $H_1$  – data jsou závislá. Pro zjištění síly závislosti pokračujeme korelační analýzou a výpočtem koeficientu determinace (vyjadřuje míru závislosti v %).

**Tab. VII** Výpočet korelačního koeficientu a koef. determinace (výstup z programu Statistica 9.1)

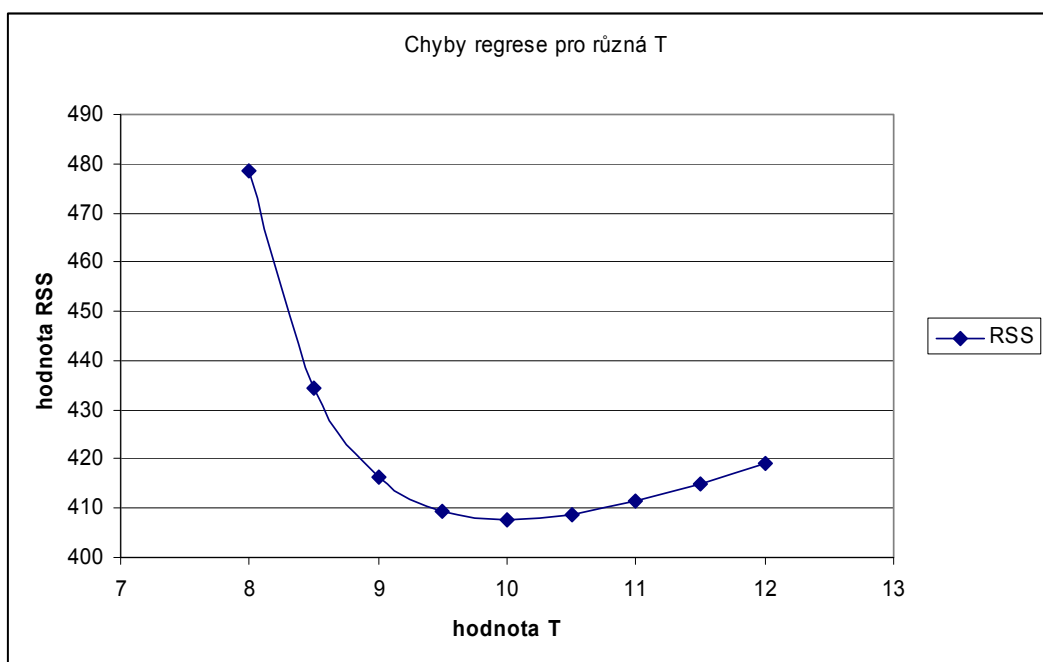
Statist.	Statistické shrnutí; ZP: 2. ventarola
	Hodnota
Vícenás. R	0,796436454
Vícenás. R2	0,634311025
Upravené R2	0,633818183
F(1,742)	1287,04668
p	0
Sm. chyba odhadu	0,741205012

Korelační koeficient (v tab. VII jako vícenás. R) teploty výdechu 2. ventaroly na hodnotě transformovaných dat má hodnotu 0,79 a je kladný – z toho vyplývá, že se jedná o rostoucí lineární závislost. Koeficient determinace (v tab. VII jako vícenás. R2) je 0,63, což znamená, že síla korelace je cca 63 %.

Z výpočtu regrese dále dostáváme jako jednu z charakteristik kvality regrese residuální součet čtverců (RSS). Ta je funkcí T (teplota bodu zvratu). Hledejme tedy minimum této funkce vzhledem k možným hodnotám T. Tab. VIII a obr. 13 ukazují, nejlepší shodu modelů s naměřenými daty při teplotě 10 °C, a lze tedy tuto teplotu považovat za objektivní bod zvratu pro dané období.

**Tab. VIII** Chyby regrese (RSS) pro různá T

pro T	RSS
8	478,6
8,5	434,4
9	416,3
9,5	409,3
<b>10</b>	<b>407,6</b>
10,5	408,8
11	411,5
11,5	415,0
12	419,0

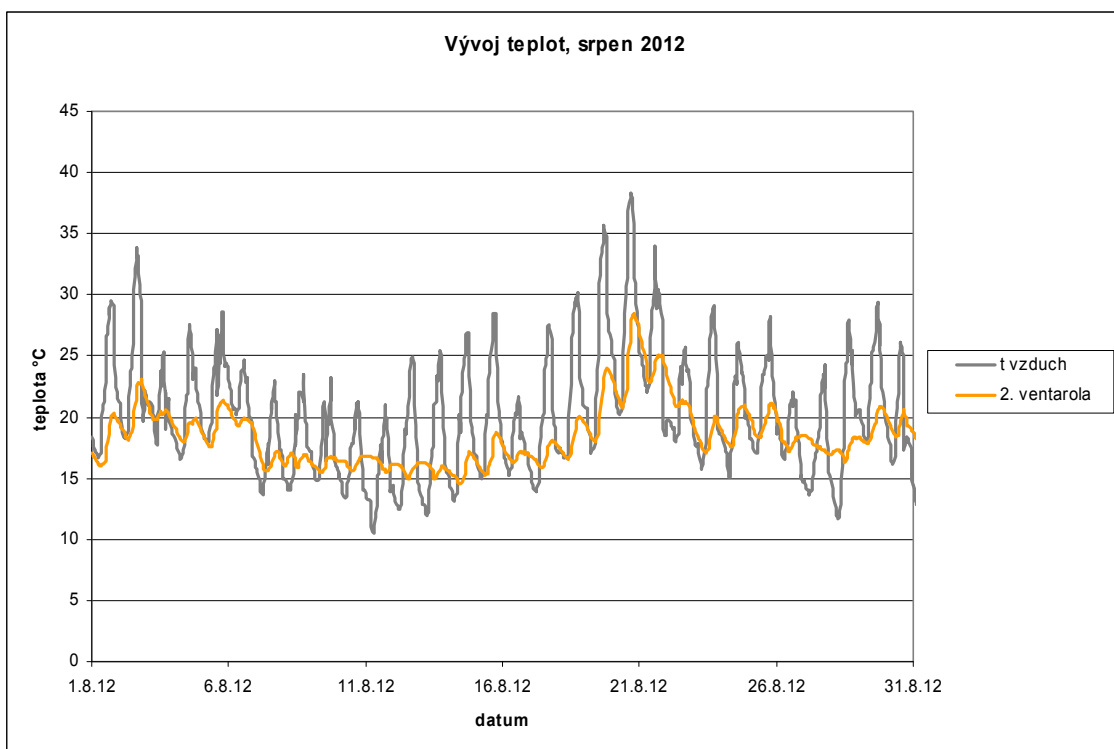


**Obr. 13** Chyba regrese (RSS) pro různá T

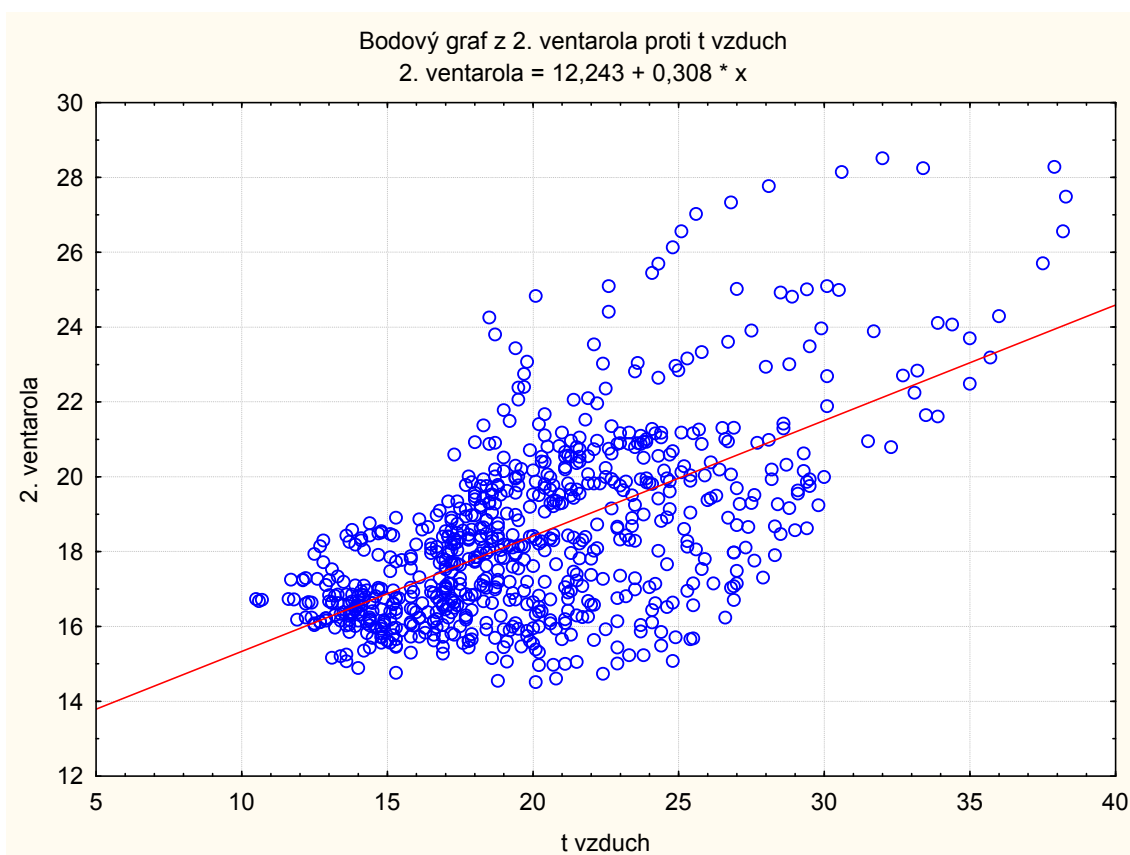
### 5.2.2 Letní režim proudění

Pro statistické zpracování byla vybrána data dvou časových řad ze srpna 2012, na kterých byla provedena regresní analýza (vyjadřuje průběh závislosti) a korelační analýza (síla závislosti). Jako nezávisle proměnná byla použita teplota okolního vzduchu, jako závisle proměnná teplota výdechu ve 2. ventarole. Vývoj teplot je zobrazen na obr. 14. Z obr. 15 je patrné, že průběh závislosti dat je možné považovat za lineární. Popisné statistiky jsou uvedeny v tab. IX, výsledky v tab. X a XI.





**Obr. 14** Grafické zobrazení dat použitých pro statistické výpočty



**Obr. 15** Grafické zobrazení dat použitých pro statistické výpočty

Stanovení nulové a alternativní hypotézy:

H0: data jsou nezávislá

H1: data jsou závislá

**Tab. IX** Popisné statistiky (výstup z programu Statistica 9.1)

Proměnná	Popisné statistiky					
	N platných	Průměr	Minimum	Maximum	Rozptyl	Sm.odch.
t vzduch	744	20,00349	10,50000	38,30000	24,54112	4,953899
2. ventarola	744	18,41904	14,51059	28,51342	6,06673	2,463073

**Tab. X** Výsledky regrese (výstup z programu Statistica 9.1)

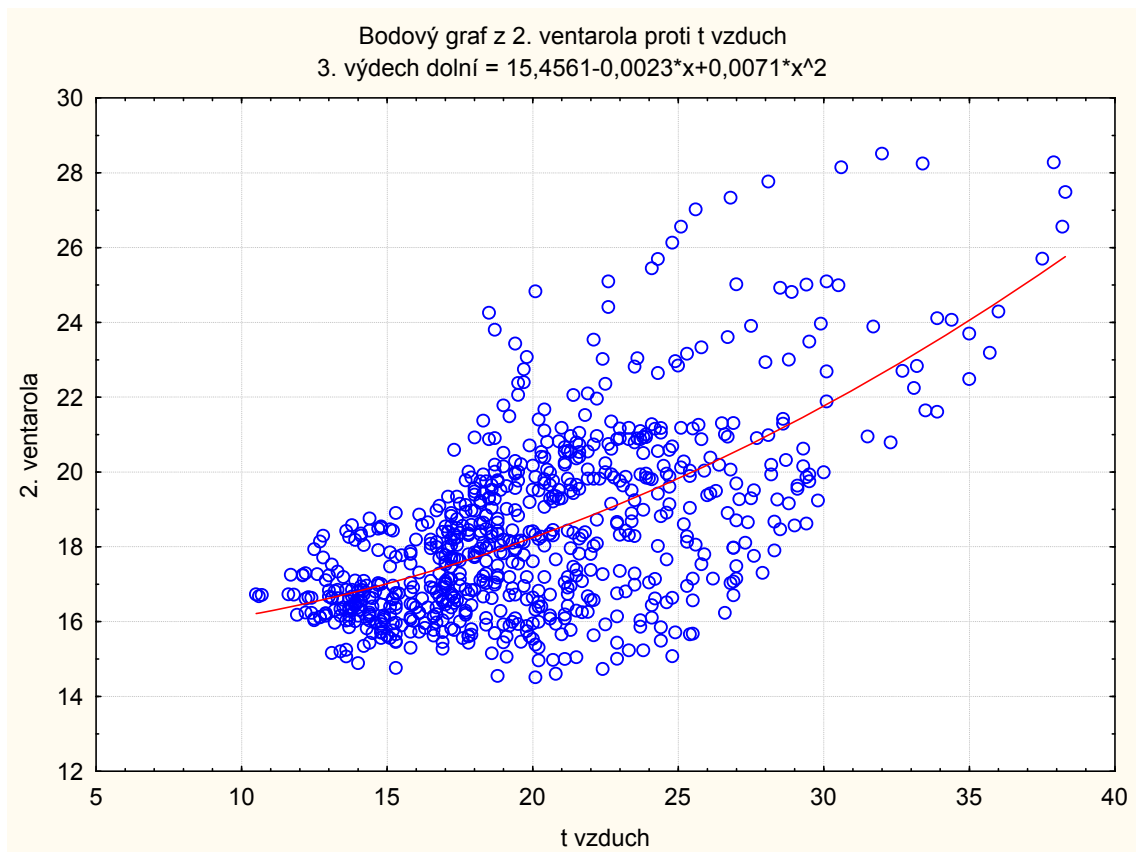
N=744	Výsledky regrese se závislou proměnnou : 3. výdech dolní (_komplet)					
	R= ,62089008 R2= ,38550449 Upravené R2= ,38467633 F(1,742)=465,49 p<0,0000 Směrod. chyba odhadu : 1,9321					
	b*	Sm.chyba z b*	<b>b</b>	Sm.chyba z b	t(742)	p-hodn.
Abs.člen			<b>12,24385</b>	0,294851	41,52559	0,00
t vzduch	0,620890	0,028778	<b>0,30871</b>	0,014308	21,57532	0,00

Rovnice lineární regrese je  $y = 12,24 + 0,308 x$ . Parametr p je menší než hladina významnosti  $\alpha = 0,05$ . Zamítáme H0 a přijímáme H1 – data jsou závislá. Pro zjištění síly závislosti pokračujeme korelační analýzou a výpočtem koeficientu determinace (vyjadřuje míru závislosti v %).

**Tab. XI** Výpočet korelačního koeficientu a koef. determinace (výstup z programu Statistica 9.1)

Statist.	Statistické shrnutí; ZP: 3. výdech dolní (_komplet)
	Hodnota
Vícenás. R	0,620890083
Vícenás. R2	0,385504495
Upravené R2	0,384676334
F(1,742)	465,494593
p	0
Sm. chyba odhadu	1,93209795

Korelační koeficient (v tab. XI jako vícenás. R) má hodnotu 0,62 a je kladný – z toho vyplývá, že se jedná o rostoucí lineární závislost.



**Obr. 16** Grafické zobrazení dat použitých pro statistické výpočty (polynomiální proložení)

Podle práce Faimon et al. (2011) je vhodné data z letního období vyhodnocovat polynomiálním modelem (obr. 16). Pokud data proložíme polynomem druhého stupně (kvadratická regrese), dostaneme kvadratickou regresní rovnici  $y = 15,45 - 0,0023 \cdot x + 0,00712 \cdot x^2$ . Residuální součet čtverců klesá oproti lineárnímu modelu ( $RSS_{lin} = 2742$ ) na hodnotu  $RSS_{kv} = 2730$ . Chyba je sice nižší, ale ne významně, čemuž odpovídá hodnota koeficientu kvadratického členu blízká nule. Z tohoto důvodu jsou data pro letní režim proudění vzduchu vyhodnocena lineární regresí, která je pro ně zcela dostačující.

Statistickým vyhodnocením bylo ověřeno, že existuje statisticky významný rozdíl mezi letním a zimním režimem proudění vzduchu puklinovým systémem. Mění se forma i míra závislosti teploty vzduchu procházejícího ventarolou na teplotě okolí.

Ke statistickému zpracování dat byl použit program Statistica 9.1 a Excel 2003.

### 5.3 Vyhodnocení měření směru a rychlosti proudění vzduchu ve ventarolách a ledových jeskyních

Měření směru a rychlosti proudění bylo prováděno ambulantně během terénních exkurzí anemometrem Stoppani. Tab. XII obsahuje statistické vyhodnocení dat, tab. XIII shrnuje naměřené hodnoty. Naměřené údaje potvrzují závislost síly a směru proudění na teplotním gradientu, jak předpokládal Váně (1992). Cirkulace vzduchu ustává, případně je poháněna jinými příčinami, než je teplotní gradient (viz. kapitola 3.2.4) při dosažení bodu zvratu. Ten je proměnlivý v čase – během zimního období se jeho teplota snižuje, jak se masiv vrchu ochlazuje. Proto za časného jara dochází ke změně směru proudění už při teplotě okolního vzduchu cca 12 °C. Oproti tomu, např. 21. 9. 2012 měl bod zvratu teplotu kolem 16 °C (jak je patrné z obr. 39 v příloze 6), protože během léta hornina vrchu akumulovala teplo. Nejsilnější exhalace ( $3,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) byly naměřeny u ventaroly č. 1 dne 9. 1. 2012.

Upřesňující informace o proudění, stavu počasí a výskytu ledu v ledových jeskyních:

- 9. 1. 2012 ventaroly na vrchu kopce exhalují silně a stabilně, teplota exhalací se pohybuje kolem 14 °C, teplota okolního vzduchu je 2,4 °C. Proudění v ledových jeskyních nebylo měřeno.
- 28. 3. 2012 okolní vzduch má téměř 18 °C, došlo k obrácení chodu proudění – ventaroly na vrchu kopce slabě nasávají, ledové jeskyně slabě exhalují, jsou v nich ledové krápníky a led pokrývá i dno jeskyní.
- 2. 4. 2012 ventaroly na vrchu i ledové jeskyně slabě exhalují. Led se v jeskyních drží, zbývá i několik krápníků. Zataženo, vane mírný vítr.
- 13. 4. 2012 ventaroly na vrchu i ledové jeskyně slabě exhalují. Polojasno a téměř bezvětří. V ledových jeskyních jsou zbytky ledu, nejvíce ho je v nejnižších položených jámách. Led pomalu odtává, rampouchy se od posledního pozorování ztratily.
- 10. 5. 2012 proudění je stabilní, ventaroly na vrchu kopce nasávají, ledové jeskyně exhalují. Slunečno, bezvětří, 26 °C. Led zůstává jen v nejnižších položených ledových jámách.
- 3. 7. 2012 na vrcholu kopce je nasávání silné, v ledových jeskyních jsou exhalace pomalé a v jeskyni č. 2 se občas zastavují úplně. Nalezen zbytek ledu v jedné z jeskyní. Bezvětří, pouze v přeháňkách vítr sílí.

- 14. 7. 2012 ráno (7 hod.) ventaroly na vrchu nasávají, později (kolem 12 hod.) se směr proudění stává střídavým. Ledové jeskyně exhalují. Zataženo, přehánky, ráno vane mírný vítr, v průběhu dopoledne a v přeháňkách zesiluje. Viz video na CD.
- 22. 7. 2012 na vrchu kopce byl naměřen pohyb vzduchu pouze v největší ventarole. Proudění je slabé, občas ustává. Během druhého měření docházelo i k obrácení směru proudění, převládalo nasávání vzduchu. V ledových jeskyních jsou exhalace slabé a občas ustávají.
- 26. 7. 2012 na vrchu kopce nasávají všechny ventaroly, ledové jeskyně exhalují. Je jasno, vane mírný vítr, teplota vzduchu je 30 °C.
- 23. 9. 2012 ventaroly na vrchu kopce stabilně exhalují, ve střední ventarole ani v ledových jeskyních žádný pohyb vzduchu nebyl naměřen. Polojasno, vane mírný vítr ze západu.
- 16. 10. 2012 ventaroly na vrchu kopce exhalují, ve střední ventarole a v ledových jeskyních nebylo proudění měřitelné. Bezvětrí, polojasno.
- 3. 11. 2012 ventaroly na vrchu slabě exhalují, v ledových jeskyních pohyb vzduchu není měřitelný.
- 13. 11. 2012 pohyb vzduchu naměřen pouze ve dvou ventarolách na vrchu kopce, obě exhalují.

**Tab. XII** Statistické vyhodnocení rychlosti proudění vzduchu z ventarol a ledových jeskyní

Proměnná	Popisné statistiky									
	N platných	Průměr (m/s)	Medián (m/s)	Minimum (m/s)	Maximum (m/s)	Rozptyl	Směrod. odch.	Variační koef. %	Směrod. Chyba	
ventarola	1.	22	1,61	1,55	0,16	3,60	1,03	1,02	63,05	0,22
	2.	20	0,98	0,96	0,00	2,60	0,63	0,80	81,53	0,18
	3.	22	0,36	0,00	0,00	1,18	0,22	0,47	128,83	0,10
ledová jeskyně	1.	19	0,29	0,34	0,00	0,64	0,05	0,23	79,40	0,05
	2.	18	0,18	0,10	0,00	0,52	0,04	0,19	109,04	0,05

Z tab. XII je rovněž patrný nepoměr mezi rychlostí proudění vzduchu ledovými jeskyněmi a ventarolami na vrchu. V ledových jeskyních je vždy slabší, což vyplývá ze struktury puklinového systému. Ten je ve spodních partiích vrchu mnohem členitější – k exhalacím či nasávání vzduchu zde dochází nejen v ledových jeskyních, ale v celé ploše suťových polí.

Variační koeficienty ukazují, že variabilita naměřených dat je velmi vysoká. Z toho vyplývá, že rychlosti proudění vzduchu z ventarol a ledových jeskyní jsou velmi proměnlivé. Z hodnot průměrů můžeme vyvodit, že jednotlivé ventaroly a ledové jeskyně nejsou zcela rovnocenné co se týče napojení na systém puklin ve vrchu. Zatímco ve ventarole 1. dochází k proudění vzduchu nepřetržitě (průměrně  $1,61 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), např. ve ventarole 3. je často slabé až neměřitelné.

**Tab. XIII** Výsledky měření směru a rychlosti proudění vzduchu ve ventarolách a ledových jeskyních (silně orámované položky byly použity pro výpočet variačního koeficientu)

datum	čas	ventarola m/s			ventarola km/h			směr	ledová jáma m/s		ledová jáma km/h		směr	t vzduch °C
		1.	2.	3.	1.	2.	3.		1.	2.	1.	2.		
9.1.2012	11:00	3,60	2,40	1,10	12,96	8,64	3,96	výdech	x	x	x	x		2,4
		3,10	2,40	1,10	11,16	8,64	3,96		x	x	x	x		
		3,30	2,60	1,10	11,88	9,36	3,96		x	x	x	x		
28.3.2012	11:00	0,79	x	0	2,85	x	0	vdech	0,61	0,28	2,20	1,01	výdech	18
2.4.2012	17:00	1,17	0,94	0,32	4,22	3,39	1,16	výdech	0,43	0,00	1,54	0,00	výdech	10
13.4.2012	16:30	0,52	0,63	0	1,85	2,28	0	výdech	0,38	0,35	1,38	1,26	výdech	12
		1,26	x	0	4,53	x	0		x	0,37	x	1,34		
		0,74	0,58	x	2,66	2,07	x		x	x	x	x		
10.5.2012	jedové jámy od 17, vrch od 17:50, jámy podruhé od 19:10	2,65	1,03	0,98	9,54	3,72	3,51	vdech	0,48	0,43	1,73	1,53	výdech	26, ve 20 hod. 23
		2,03	1,01	1,18	7,30	3,65	4,25		0,52	0,52	1,85	1,86		
		x	x	x	x	x	x		0,40	0,49	1,44	1,75		
3.7.2012	14:30 až 16:00	2,16	0,98	0,79	7,77	3,54	2,84	vdech	0,45	x	1,63	x	výdech	20
		x	x	0,46	x	x	1,66		0,46	x	1,67	x		
14.7.2012	7:15 až 12:00	0,41	0,22	0	1,47	0,80	0	vdech	0,24	0,11	0,86	0,38	výdech	ráno 14, v poledne 23
		0,44	0,14	0	1,57	0,50	0	střídavě	0,34	0,07	1,22	0,26		
22.7.2012	10:30	0,51	0	0	1,83	0	0	vdech	0,29	0,12	1,06	0,43	výdech	14
		0,16	0	0	0,58	0	0	střídavě	0,19	0,09	0,67	0,32		
26.7.2012	16:00	2,47	0,98	0,67	8,88	3,53	2,41	vdech	0,64	0,38	2,29	1,38	výdech	30
23.9.2012	10:00 až 11:30	1,73	0,36	0	6,21	1,28	0	výdech	0	0	0	0		10
		0,91	0,43	0	3,27	1,54	0		0	0	0	0		
16.10.2012	9:30 až 15:00	1,66	1,58	0	5,97	5,67	0	výdech	0	0	0	0		9
		2,24	1,19	0	8,05	4,29	0		0	0	0	0		
3.11.2012	9:00	1,43	0,40	0,25	5,16	1,43	0,91	výdech	0	0	0	0		7
13.11.2012	15:00	2,23	1,67	0	8,03	6,01	0	výdech	0	0	0	0		

## 5.4 Borečka vzácná (*Targionia hypophylla* L.)

Pozorováním bylo zjištěno, že borečka stále přežívá v jednom z vyústění ventarol na ploškách řádově desítek cm<sup>2</sup>. Výskyt a vývojová stádia borečky jsou úzce vázána na proudění vzduchu puklinovým systémem. Změny v proudění znamenají nárůst či pokles poměrné vzdušné vlhkosti a teploty vzduchu, na který borečka reaguje velmi rychle (tab. XIV, obr. 17). Během suchého a teplého počasí, kdy ventaroly na vrcholu nasávají okolní vzduch, jsou stélky seschlé a černé (obr. 17a). Borečka znovu obrůstá (obr. 17b) v době, kdy je v jejich okolí vydechován teplý a vlhký vzduch, což je mimo vegetační období převážné většiny rostlinných druhů, případně v době, kdy potřebnou vláhu získá prostřednictvím atmosférických srážek. V tomto období také nastává vrchol její vegetační sezóny a fruktifikace (obr. 18).

**Tab. XIV** Záznam pozorování borečky vzácné

Datum	rychlost proudění (m/s)	směr proudění	teplota vzduchu °C	pozorování <i>Targionia hypophylla</i> L.
5. 2. 2012		výdech	-7,7	vegetuje
28. 3. 2012		vdech	11	nebyla nalezena
2. 4. 2012	0,94	výdech	10	stélky černé, vyschlé
13. 4. 2012	0,63	výdech	12	vegetuje
	0,58			
10. 5. 2012	1,03	vdech	26	stélky černé, vyschlé
	1,01			
3. 7. 2012	0,98	vdech		vegetuje (díky atm. srážkám)
14. 7. 2012	0,22	vdech	23	vegetuje (díky atm. srážkám)
	0,14	střídavě		
22. 7. 2012	0,00		14	mírně oschlá, ale zelená
26. 7. 2012	0,98	vdech	30	stélky černé, vyschlé
23. 9. 2012	0,42	výdech	10	část suchá, většina zelená
16. 10. 2012	1,25	výdech	8	vegetuje
3. 11. 2012	1,88	výdech	7	vegetuje

Tab. XIV obsahuje záznamy pozorování borečky vzácné, je patrná její reakce na měnící se mikroklima a podmínky prostředí. Je zřejmé, že zatímco 2. 4. 2012 byly stélky borečky vyschlé (a téměř neviditelné), o 11 dní později, dne 13. 4. 2012, byla borečka zelená a v plné vegetaci. Dne 10. 5. 2012 byly opět nalezeny jen zčernalé pozůstatky. Srážkově nadprůměrný červenec 2012 udržel borečku ve vegetačním stádiu. Úhrn srážek v Ústeckém kraji byl



129 mm, normál je 68 mm (189 % odchylka od normálu). Pokud borečka není ve vegetačním stádiu, je poměrně těžké ji objevit. To je pravděpodobně také příčinou poškození porostu, která zvědaví návštěvníci mohou působit nevědomky, protože nejsou schopni borečku v tomto stavu rozpoznat.



a)



b)

**Obr. 17** Vegetační stádia borečky vzácné *Targionia hypophylla* L. (obr 17a byl pořízen dne 2. 4. 2012, obr. 17b o 11 dní později, dne 13. 4. 2012)



**Obr. 18** Fruktifikace borečky vzácné, 19. 2. 2013

## 5.5 Měření CO<sub>2</sub>, radonu a obsahu radionuklidů

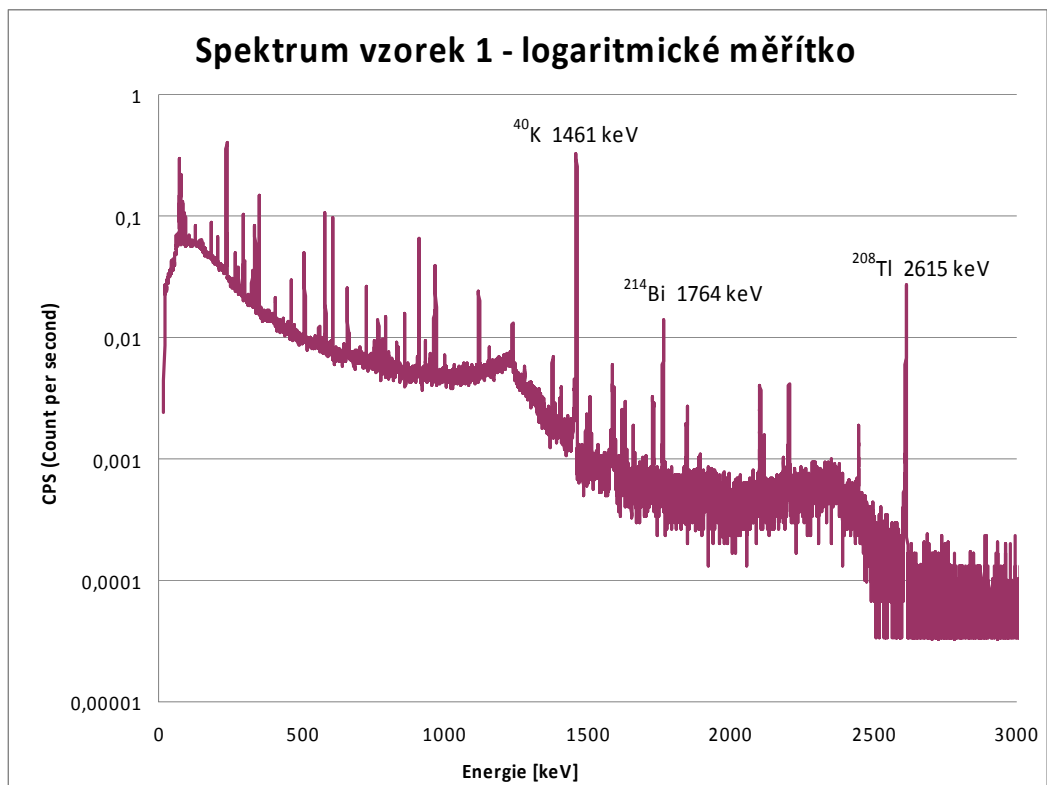
Dne 16. 10. 2012 byly během terénní exkurze měřeny následující charakteristiky:

- Obsah CO<sub>2</sub> ve vzduchu vycházející z horních vyústění ventarol. Použit byl přístroj TESTO 400 s rozsahem 0-1000 ppm s kontinuálním záznamem. Průměr naměřených hodnot je 375 ppm, což je hodnota blízká obvyklé koncentraci ve vzduchu (pro srovnání – v lidském dechu je koncentrace cca 4 000 ppm). Nepotvrdilo se tedy, že by exhalovaný vzduch mohl být ohříván postvulkanickými plyny.
- Objemová koncentrace radonu ve vzduchu vycházejícího z horního vyústění hlavní ventaroly. Použit přístroj RADIM 3A (obr. 19) s kontinuálním záznamem měření v krocích po 0,5 hodiny. Měření spočívá ve stanovení aktivity radonu měřením alfa-aktivity dceřiných produktů radonu, které jsou usměrněny na povrch polovodičového detektoru elektrickým polem vysoké intenzity. Naměřené hodnoty se pohybovaly mezi 1 300 a 1 400 Bq·m<sup>-3</sup>. Objemová koncentrace radonu je v čase velice proměnlivou charakteristikou, vyvození přesnějších závěrů by vyžadovalo dlouhodobé měření. Pro srovnání – koncentrace v nových domech by se měla pohybovat okolo 200 Bq·m<sup>-3</sup>, při 4 000 Bq·m<sup>-3</sup> se vylučuje pobyt osob.



**Obr. 19** RADIM 3A umístěný ve ventarole

- Obsah přírodních radionuklidů v hornině – bylo odebráno 7 vzorků horniny z různých lokalit na Borči pro další rozbor v laboratoři. Záměrem bylo porovnat aktivitu radionuklidů a tak ověřit, zda se některá z lokalit z tohoto hlediska odlišuje. Vzorky byly nadrceny, vloženy do Marinelliho nádob o obsahu 500 ml, zváženy a polovodičovým HPGe detektorem (obr. 21) u nich bylo měřeno záření gama. Příklad naměřeného spektra je na obr 20. Z naměřených spekter byla vypočtena aktivita mateřských a dceřiných radionuklidů, nutných pro stanovení indexu hmotnostní aktivity materiálu I. Přehled aktivit stanovovaných radionuklidů pro vzorek č. 1 je uveden v tab. XV. Pro vyhodnocení dat byl použit program Genie 2000 (Camberra Industries, Inc.).



**Obr. 20** Spektrální analýza radionuklidů ve vzorku 1, přepočteno na 1 vteřinu, označené píky jsou důležité pro výpočet indexu hmotnostní aktivity (grafy ostatních vzorků v příloze 5)

Stanovení aktivity (Petrová, 2009):

kde:

$A$  aktivita (Bq)

$\eta$  fotopíková účinnost pro energii E

$P$  čistá plocha píku

$$A = \frac{P}{\eta t y C_1 C_2 C_3}$$

$t$	doba měření
$y$	výtěžek
$C_{1,2,3}$	korekční faktory na rozpad vzorku od sběru po měření, během měření, během odběru (pro potřeby této práce nepoužity)

**Tab. XV** Stanovení aktivity radionuklidů ve vzorku 1 (tabulky ostatních vzorků v souboru radionuklidy.xlsx na CD)

Zpracován soubor:	borec1.rpt	Geometrie měření: Marinelliho nádoba	500 ml
Hmotnost vzorku:	0,985 kg	Hustota vzorku:	1,64 g/cm <sup>3</sup>
Zpracováno dne:	17.12.2012		

název nuklidu	energie E (keV)	naměřená aktivita (Bq /kg)	chyba naměřené aktivity (Bq /kg)	vážený průměr řady (Bq/kg)	chyba váženého průměru řady (Bq/kg)
K-40	1460,81	1296,9	33,3	<b>1364,3</b>	<b>35,0</b>
Tl-208	583,19	18,0	0,6	53,9 <sup>1)</sup>	1,1
Tl-208	2614,53	16,7	0,8		
Bi-212	727,17	57,3	3,3		
Pb-212	238,63	50,0	1,7		
Bi-214	609,31	28,4	1,0	32,6	0,6
Bi-214	1120,29	27,9	1,8		
Bi-214	1764,49	33,8	1,7		
Pb-214	295,21	30,9	2,0		
Pb-214	351,92	31,6	1,0		
Ra-226	186,21	67,9	4,1	44,3	2,7
Pa-234M	1001,03	30,7	20,7		21,9

Z vypočtených aktivit byly u vzorků vypočítány indexy hmotnostní aktivity (Tab. XVI) pomocí vztahu:

$$I = \frac{a_K}{3000} + \frac{a_{Ra}}{300} + \frac{a_{Th}}{200}$$

kde značí:

$a_K$  hmotnostní aktivitu radionuklidu <sup>40</sup>K (Bq·kg<sup>-1</sup>)

$a_{Ra}$  hmotnostní aktivitu radionuklidu <sup>226</sup>Ra (Bq·kg<sup>-1</sup>), která je počítána jako vážený průměr aktivit dceřiných produktů <sup>214</sup>Bi a <sup>214</sup>Pb nebo jako 58 % aktivity stanovené z píku o energii 186 keV

$a_{Th}$  hmotnostní aktivitu radionuklidu <sup>228</sup>Th (Bq·kg<sup>-1</sup>), která je počítána jako vážený průměr aktivit dceřiných produktů <sup>208</sup>Tl, <sup>212</sup>Bi a <sup>212</sup>Pb.

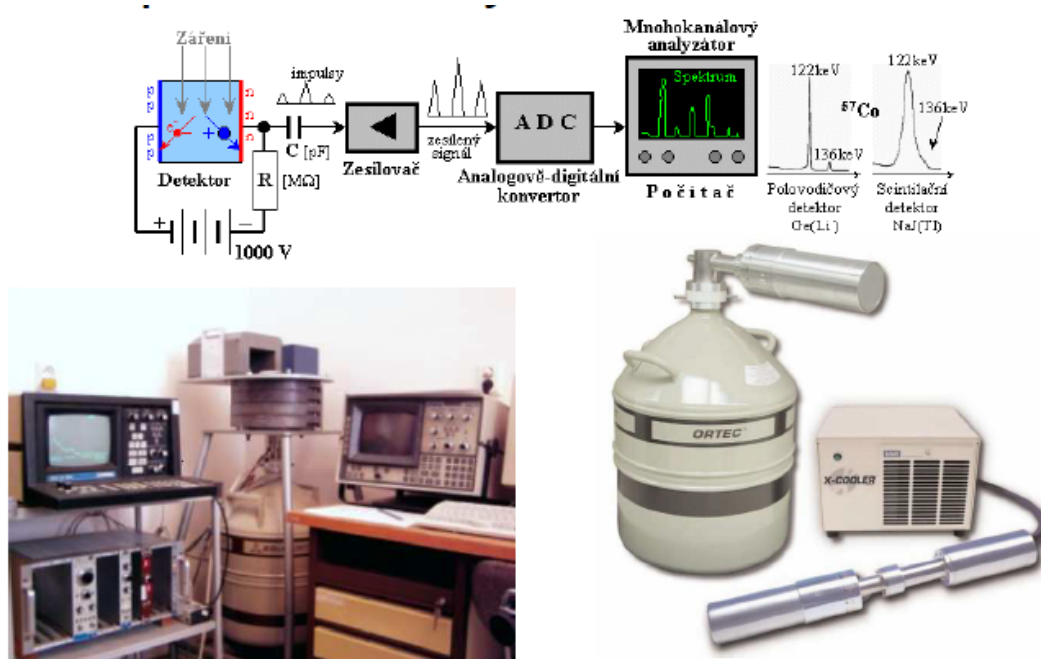
Přehled výsledků pro všechny vzorky je shrnut v tab. XVI.

**Tab. XVI** Stanovené aktivity (včetně nejistot) a indexy hmotnostní aktivity I (bezrozměrná veličina) pro všechny vzorky

Vzorek	Aktivita ± chyba [Bq/kg]			Index hmotnostní aktivity
	<sup>40</sup> K	<sup>226</sup> Ra	<sup>228</sup> Th	
Boreč – hlavní ventarola	1400 ± 100	44 ± 4	54 ± 5	0,87 ± 0,05
Boreč – ledová jeskyně	1300 ± 100	43 ± 4	57 ± 6	0,87 ± 0,05
Boreč – ledová jeskyně II.	1500 ± 100	50 ± 5	56 ± 6	0,93 ± 0,06
Boreč – střední vent.	1400 ± 100	52 ± 5	58 ± 6	0,94 ± 0,06
Boreč – střední vent. II.	1400 ± 100	51 ± 5	59 ± 6	0,94 ± 0,06
Boreč – s Borečkou (výchoz)	1500 ± 100	41 ± 4	58 ± 6	0,91 ± 0,06
Boreč – s Borečkou	1400 ± 100	40 ± 4	60 ± 6	0,91 ± 0,06

Dle vyhlášky 499/2005 Sb. (§ 96 příloha č. 10) o radiační ochraně nesmí index hmotnostní aktivity I přesáhnout hodnotu 0,5 u stavebních materiálů využívaných pro stavbu zdí, stropů a podlah ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi. Materiál z vrchu Boreč by tedy nebyl pro stavební účely vhodný.

Z výsledků v tab. XVI vyplývá, že v rámci chyb jsou hodnoty indexů hmotnostní aktivity stejné a všechny vzorky jsou z materiálu se shodným obsahem radionuklidů. Můžeme tvrdit, že z hlediska obsahu radionuklidů je hornina tvořící Boreč stejnorodá.



**Obr. 21** Systémy detekce záření gama polovodičovým detektorem

## **5.6 Prezentace vybraných výsledků**

Průběžné výsledky byly během výzkumu publikovány ve dvou sbornících mezinárodních konferencí. Na konferenci Bioklima 2012 byl navíc vystaven poster (soubor poster\_bioklima.pdf na přiloženém CD).

### **Konference Bioklima – Bioklimatologie ekosystémů**

#### **29. až 31. srpna 2012, Ústí nad Labem**

Ve sborníku byl publikován příspěvek: Türkott, L., Pospíšilová, E. 2012. Microclimatic conditions of ventarols in Boreč Hill (Příloha 7).

Cílem konference bylo podpořit rozvoj oboru bioklimatologie, umožnit setkání odborníků a rozvinout vzájemnou výměnu nejnovějších poznatků a zkušeností v daném oboru.

### **Konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin**

#### **13. až 14. února 2013, VÚRV, v. v. i. Praha- Ruzyně**

Ve sborníku byl publikován příspěvek: Türkott, L., Pospíšilová, E. 2012. Vliv mikroklimatu ventarol vrchu Boreč na vegetaci borečky vzácné (*Targionia hypophylla* L.) (Příloha 8).

Cílem konference byla prezentace nejnovějších výsledků teoretického a aplikovaného výzkumu v oblasti stresové fyziologie rostlin, včetně aplikace získaných výsledků ve šlechtění, pěstování a ochraně rostlin. Nosným tématem byla zejména problematika zvyšující se variability počasí a jejího vlivu na fyziologické procesy a produkci rostlin. Konference byla určena vědeckým a odborným pracovníkům, šlechtitelům a zemědělským poradcům i široké zemědělské veřejnosti.

## 6. Diskuze

### 6.1 Další metody výzkumu

Vrch by bylo vhodné prozkoumat některou z geofyzikálních metod, což by umožnilo určit vnitřní strukturu puklin, u sutí mocnost vrstvy sedimentů a potvrdit polohu permafrostu. Poznání vnitřní struktury puklinového systému může být důležité také pro určení bodu zvratu, jehož hodnota se může lišit pro jednotlivé ventaroly, podle jejich velikosti, prostupnosti a dalších znaků, které ovlivňují vnitřní teplotu systému. Otto (2006) srovnává tři metody měření z hlediska kvality a jejich využitelnosti v terénu. Zohledňuje také přesnost metod a nároky na obsluhu a čas měření, popisuje jejich výhody a omezení. Kvůli správné interpretaci naměřených dat doporučuje použití alespoň dvou geofyzikálních metod: georadaru (ground penetrating radar), 2D odporových měření (2D resistivity), případně seismické refrakce (seismic refraction). Použití georadaru pro průzkum pseudokrasových svahových deformací vrchu Kopec u Lidečka popisuje Baroň (2004).

Puklinové ventaroly s podobným mikroklimatickým režimem jako u těch Borečských, pozoroval Režný (1966) u Kostelce nad Orlicí. Režný se domnívá, že bez ověření podzemním průzkumem není možné osvětlit přesně podzemní strukturu ledových jeskyní, ale tvrdí, že se tyto nepodílejí na celkovém dynamickém režimu systému. Předpokládá, že se průduchy v zimě uzavírají ledem a sněhem, v teplém období jsou pak schopny vypouštět jen část prochlazeného vzduchu z podzemních dutin a vytvářejí tak statický protiklad k hlavní soustavě puklin s dynamickým režimem. Tomu by nasvědčovala i anemometrická měření provedená na Borči (tab. XII), kdy rychlosti proudění vzduchu u horních a dolních vyústění jsou různé. Jak tvrdí Guodong et al. (2007), když je dolní část suťových polí místy překryta zeminou, jako je tomu na Borči, efekt se ještě znásobí a přetrvává i v případě, že by led a sníh uzavírající průduchy roztál. Hanson and Hoelzle (2004), kteří zkoumali termální režim Murtèl Rock Glacier, tvrdí, že výška sněhové pokrývky musí dosahovat 0,6 m, aby se systém se uzavřel. Pro Boreč pravděpodobně není tato hranice důležitá, panují zde značně odlišné meteorologické podmínky než ve Švýcarských Alpách.

Podobně i Tanaka (2000), zkoumající mikroklíma Nakayama Wind-Hole v Japonsku, prohlašuje, že zatímco v zimě je chlad ukládán do sutí, v létě je chráněn proti oteplování stabilním zvrstvením. Ve své práci popisuje růst ledových útvarů, který byl tím intenzivnější, čím teplejší počasí panovalo. Nejvíce ledu se v údolí vyskytuje od dubna do podzimu. Led se rozpustí během srážek, ale v horizontu několika dní se vytvoří nový. Popisuje také růst

ledových krápníků směrem od země a považuje tento jev za nevysvětlitelný. Na Borči se ledové krápníky objevují v ledových jeskyních během zimního období, v roce 2012 vydržely pouze do dubna, po roztátí se nové neutvořily. Zbytky ledu na dně ledových jeskyní byly objeveny ještě v červenci. I zde některé krápníky rostou zdola nahoru – voda z tajícího sněhu přikapávající shora se v ledové jeskyni prudce ochladí a zmrzne. Tento jev je patrný na obr. 22 vpravo.



**Obr. 22** Ledové krápníky v ledové jeskyni (19. 2. 2013)

Podle Faimona et al. (2011) jsou pro rychlost a směr proudění vzduchu systémem také další charakteristiky. Bylo by vhodné monitorovat směr a sílu větru, orientaci ventarol ke směru větru, stav vegetace v blízkosti ventarol, dále vlhkost vzduchu – jak atmosférického, tak v jednotlivých ventarolách, případně atmosférický tlak apod.

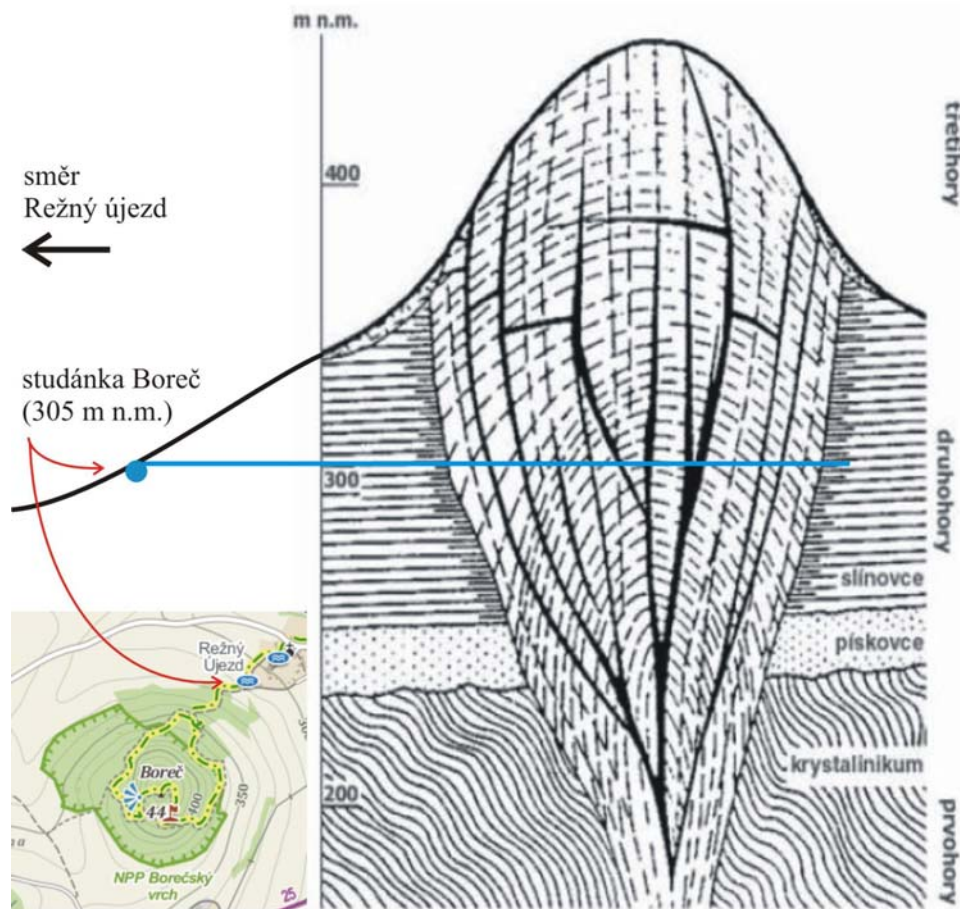
## 6.2 Nejteplejší den v ČR

Na obr. 14 (kapitola 5.2.2) teplotní data ze srpna 2012 vykazují velmi vysoké teploty vzduchu – až 38 °C. 20. 8. 2012 byl absolutně nejteplejším dnem v celé historii měření teploty vzduchu ČR. V Dobřichovicích naměřili kolem 16. hodiny letního středoevropského času maximální teplotu 40,4 °C., čímž byl o 0,2 °C překonán rekord pro ČR z 27.8.1983, kdy v Uhříněvsi naměřili maximum 40,2 °C, ale teplotní rekordy padaly i na dalších meteorologických stanicích, včetně Klementina (Němec, 2012).



### 6.3 Podzemní voda na Borči

Na úpatí vrchu Boreč se v cca 305 m n.m. nachází studánka (Národní registr pramenů a studánek, 2013). Přes léto se teplota vody ve studánce pohybovala mezi 12 a 13 °C, v zimním období pramen nezamrzá, teplota klesla k 10 °C. Je tedy možné, že vysoká akumulační schopnost masivu vrchu je ještě znásobena přítomností podzemní vody v puklinovém systému, jejíž tepelná vodivost je vyšší než tepelná vodivost vzduchu. Na obr. 23 je vyznačena jak poloha studánky, tak možná výška hladiny podzemní vody.



**Obr. 23** Umístění studánky Boreč a znázornění hladiny podzemní vody (Váně 1992, upraveno)

## 7. Závěr

V práci byly potvrzeny všechny hypotézy a splněny tyto cíle:

- Bylo provedeno systematické měření teploty okolního vzduchu a vzduchu proudícího vrchem (od 29. 11. 2011 do 19. 2. 2013). Tímto měřením byla prokázána vysoká tepelná akumulací schopnost puklinového systému vrchu Boreč a také přítomnost permafrostu. Největší teplotní rozdíl průměrné hodnoty vdechů a výdechů 26,6 °C byl zaznamenán v období silných mrazů dne 12. 2. 2012. Nejvyšší teplota exhalovaného vzduchu 17,4 °C byla naměřena dne 16. 10. 2012.
- Bylo ověřeno, že rychlost a směr proudění v puklinovém systému je závislý na teplotním gradientu uvnitř a vně systému.
- Bylo dokázáno, že existuje významný statistický rozdíl mezi letním a zimním režimem proudění a teplota bodu zvratu je proměnlivá podle aktuální teploty horniny vrchu.
- Bylo provedeno ambulantní měření směru a rychlosti proudění vzduchu v místech vdechů i výdechů vzduchu. Nejsilnější exhalace 3,6 m·s<sup>-1</sup> byly naměřeny u ventaroly č. 1 dne 9. 1. 2012.
- Bylo dokázáno, že vývojová stádia druhu *Targionia hypophylla* L. jsou závislá na teplotě a vlhkosti vydechovaného vzduchu. Rychlost její reakce na změnu mikroklimatu je vysoká, 2. 4. 2012 byly stélky borečky vyschlé, o 11 dní později, dne 13. 4. 2012, byla borečka zelená a v plné vegetaci.
- Byl zjištěn obsah CO<sub>2</sub> v exhalovaném vzduchu a vyloučen obsah postvulkanických plynů.
- Bylo ověřeno, že z hlediska obsahu radionuklidů je vrch Boreč tvořen shodnou horninou.
- Byl potvrzen výskyt zvláště chráněných druhů rostlin a živočichů.

Nejlepší způsob ochrany tohoto fenoménu je bezesporu pochopení mechanismu jeho fungování. Nejdůležitějším cílem této práce tedy bylo vlastní poučení, protože odtud je vždy nutno začít.

## 8. Seznam literatury

- Balch, E. S. 1900. *Glaciers or Freezing Caverns*. Allen, Lane and Scott, Philadelphia, p. 377.
- Baroň, I. 2003. Hluboká svahová deformace na Kopcích u Lidečka: Výsledky inventarizačního a geofyzikálního průzkumu. *Geol. výzk. Mor. Slez., Brno*. s. 82-87.
- Beran, L., Košer, M., Hamerský, R. 2008. Plán péče o národní přírodní památku Borečský vrch na období 2008 – 2018. *Správa CHKO České středohoří*. 26 s.
- Blažková, M. 2010. Metodika k hodnocení geotermálního potenciálu v modelovém území Podkrušnohoří. *Fakulta životního prostředí Univerzita J. E. Purkyně, Ústí nad Labem*. 96 s.
- Byun, H. R., Tanaka, H. L., Azzaya, D. 2006. On The Mysteries of Summer Icing and Winter Warming in the Ice Valley at Miryang, Korea. In: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Ice Caves, Demänovská Dolina*. p. 82-86.
- Cajz, V., Mlčoch, B., Čech, S., Valečka, J., Kadlec, J., Burda, J., Holý, M., Ulrych, J., Kinský, J., Chvátal, P. 1996. *České středohoří, Geologická a přírodovědecká mapa, Český geologický ústav*, s. 160.
- Delaloye, R., Lambiel, C. 2005. Evidences of winter ascending air circulation throughout talus slopes and rock glaciers situated in the lower belt of alpine discontinuous permafrost (Swiss Alps). *Norsk geogr. Tidsskr. Oslo*. 59 (2). 194-201. ISSN 0020-1951
- Drahoš, L. E. 1997. Jak jsem fotografoval borečské „fumaroly“. *Ochr. Přír.* 12(2). 56-57.
- Faimon, J., Troppová, D., Baldík, V., Novotný, R. 2011. Air circulation and its impact on microclimatic variables in the Císařská cave (Moravian Karst, Czech Republic). *Int. J. Climatol.* 32 (4). 599–623.

- Gude, M., Ditrich, S., Mäusbacher, R., Hauck, C., Molenda, R., Růžicka, V., Zacharda, M. 2003. Probable occurrence of sporadic permafrost in non-alpine scree slopes in central Europe, Proceedings 8th International Conference on Permafrost, Zürich, p. 331-336.
- Guodong, C., Yuanming, L., Zhizhong, S., Fan, J. 2007. The 'Thermal Semi-conductor' Effect of Crushed Rocks. Wiley InterScience. Permafrost and Periglacial Process. 18. 151–160.
- Hanson, S., Hoelzle, M. (2004). The Thermal Regime of the Aktive Layer at the Murtèl Rock Glacier Based on Data from 2002. Permafrost and Periglacial Processes. 15. pp. 273-282.
- Harris, S. A., Pedersen, D. E. 1998. Thermal Regimes Beneath Coarse Blocky Materials. John Wiley and Sons, Ltd. Permafrost and Periglacial Processes. 9. 107-120.
- Chlupáč, I., Brzobohatý, R., Kovanda, J., Stráník, Z. 2002. Geologická minulost České republiky. Praha: Academia, 436 s., Ediční číslo 2483. ISBN 80-200-0914-0.
- Jiráková, H., Procházka, M., Dědeček, P., Kobr, M., Hrkal, Z., Huneau, F., Le Coustumer, P. 2011. Geothermal assessment of the deep aquifers of the northwestern part of the Bohemian Cretaceous basin, Czech Republic, Geothermics. 40. 112–124.
- Křištof, M., Peterka, L., Vlašina, V. 2010. Průvodce naučnou stezkou Boreč. Český svaz ochránců přírody v Ústí nad Labem, ZO č. 38/02.
- Kubát, K. 1971. Ledové jámy a exhalace v Českém středohoří II. Vlastivědný sborník Litoměřicko, Okresní muzeum Litoměřice. 8. 67–89.
- Kubát K. 1972. Příspěvek k mikroklimatu sutí Schustlerovy zahrádky (Krkonoše). Opera Corcontica. 9. 165-167.
- Kubát, K. 1974. Proudění vzduchu sutěmi jako ekologický faktor. Opera Corcontica. 11. 53-62.

Ložek, V. 1954. Malakozoologický výzkum rezervace Boreč v Českém Středohoří. Ochrana přírody. Praha. IX (3). 93-94.

Ložek, V. 2000. Problematika krajinné historie Českého středohoří. Ochrana přírody. Praha. 55. 18–24.

Moore, J. R., Gischig, V., Katterbach, M., Loew, S. 2011. Air circulation in deep fractures and the temperature field of an alpine rock slope. *Earth Surface Process. Landforms*. John Wiley & Sons, Ltd. DOI: 10.1002/esp.2217

Morard, S., Delaloye, R., Dorthe, J. 2008. Seasonal thermal regime of a ventilated debris accumulation and its implication on extrazonal permafrost and related terrestrial ecosystem. In: *Proceedings of the Ninth International Conference on Permafrost, July 2008, Fairbanks, Alaska, 2*, 1233-1238.

Myslil, V., Burda, J., Čtyroká, J., Drábková, J., Pošmourný, K., Táborský, Z., Žáček, V. 2008. První hlubinný geotermální vrt v Českém masivu, *Zprávy o geologických výzkumech v roce 2007*, Česká geologická služba, Praha.

Myslil, V., Kukul, Z., Pošmourný, K., Frydrych, V. 2007. Geotermální energie, *MŽP, Planeta*. XV (4).

Němec, L. 2012. Český teplotní rekord – Dobřichovice 20.8.2012. *Meteorologické zprávy*, 65. pp. 145-148.

Otto, J. C., Sass, O. 2006. Comparing geophysical methods for talus slope investigations in the Turtmann valley (Swiss Alps), *Geomorphology*. 76. 257–272.

Petrová, K. 2009. Doporučení, Měření a hodnocení ozáření z přírodních zdrojů ve stavbách s obytnými nebo pobytovými místnostmi, *Státní úřad pro jadernou bezpečnost*.

Philips, M., Zenklusen Mutter, E., Kern-Luetschg, M., Lehning, M. 2009. Rapid Degradation of Ground Ice in a Ventilated Talus Slope: Fluela Pass, Swiss Alps. *Wiley InterScience. Permafrost and Periglac. Process*. 20. 1–14.

Pilous, Z. 1959. Mechorosty Borečského vrchu v Českém středohoří: příspěvek k výzkumu státní přírodní rezervace. Praha. Ochrana přírody. 97-99.

Pokorný, R., Holec, M. 2009. Jeskyně Ústeckého kraje. Nekrasové podzemní objekty ve třetihorních vulkanitech, jejich původ, charakteristiky a biota. Nakladatelství XYZ s.r.o., Praha, s. 276.

Raška P. 2007. Geomorfologické aspekty environmentálních změn suťových akumulací. In: Herber V (ed.) Fyzickogeografický sborník 4. Geografický ústav PřF MU, Brno, 161-166.

Režný, K. 1966. Puklinové ventaroly u Kostelce nad Orlicí. Acta Musei Reginae-hradecensis, Hradec Králové. ser. A (VII). 31–42.

Růžička, J. 1999. Beetle communities (Insecta: Coleoptera) of rock debris on the Boreč hill (Czech Republic: České středohoří mts), Acta Soc. Zool. Bohem. 63. 315-330.

Růžička, V. 1998. Podzemní led v kamenných sutích. Vesmír. 77. 397-398.

Růžička, V., Zacharda, M. 2009. Kamenité sutě a skalní stěny – biotopy významné pro biodiverzitu. Živa. 57 (2). 75-77.

Sawada, Y., Ishikawab, M., Ono, Y. 2003. Thermal regime of sporadic permafrost in a block slope on Mt. Nishi-Nupukaushinupuri, Hokkaido Island, Northern Japan, Geo-morphology. Elsevier. 52. 121–130.

Schwarz, R. 1959. Boreč, dýmající vrch v Českém středohoří. Dvacáté století. Orbis, Praha, 233–239.

Soldán, Z., Peksa, O., Halda, J., Loskotová, E., Marková, I., Palice, Z. 2003. Mechorosty a lišejníky zaznamenané během XV. Bryologickolichenologických dnů ve Vilemíně (CHKO České středohoří). Bryonora, Praha. 32.

Šimr, J. 1957. Vzácný přírodní úkaz v Českém středohoří, Ochr. Př. 12 (2). 55-56.

Škaloud, P. 2004. Aero-terestrické sinice a řasy ventarol NPP Borečský vrch. Přírodovědecká fakulta UK v Praze, Katedra botaniky, DP.

Škaloud, P. 2009. Species composition and diversity of aero-terrestrial algae and cyanobacteria of the Boreč Hill ventaroles. *Fottea*. 9 (1). 65–80.

Tanaka, H. L., Nohara, D., Yokoi, M. 2000. Observational Study of Summertime Ice at the Nakayama Wind-Hole in Shimogo, Fukushima. *Science Reports*. Institute of Geoscience, University of Tsukuba, Section A (Geographical Sciences). 21. 1-21.

Váně, M. 1992. Exhalace par na Borči a na Jezerní hoře. *Sborník Severočeského muzea – Přírodní vědy*. 18. 175 – 191.

Wakonigg H. 1996. Unterkühlte Schutthalden. *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens-Universität Graz, Beiträge zur Permafrostforschung in Österreich, Arb. Aus d. Inst. f. Geogr. d. Univ. Graz*. 33. 209-223.

Zacharda, M., Gude, M., Růžička, V. 2007. Thermal Regime of Three Low Elevation Scree Slopes in Central Europe, Permafrost and Periglac. *Process*. Wiley InterScience. 18. 301–308.

### **Elektronické zdroje**

AOPK ČR, 2012 [online]. Správa CHKO České středohoří, dostupné z:  
<<http://www.ceskestredohori.ochranaprirody.cz/>>

Geologická mapa ,1990 [online]. 1:50 000, list 02-43 Litoměřice, redaktor J. Domas, ČGÚ.  
Dostupné z: <[http://www.geology.cz/demo/CD\\_RADON50/0243/0243.htm](http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/0243/0243.htm)>

Národní registr pramenů a studánek, 2013 [online]. Studánka Boreč. [citováno dne: 11.3.2013], dostupné z: <http://www.estudanky.cz/22-studanka-borec>

Předpis 499/2005 Sb.Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost o radiační ochraně, dostupný z: <<http://www.psp.cz/sqw/sbirka.sqw?cz=499&r=2005>>

Shrbený, O. 1998. Databáze tercierních vulkanitů Českého masivu [online]. Litogeochemická databáze České geologické služby [cit. 2012-10-31]. Praha. Dostupné z:  
<<http://www.geology.cz/app/legenda/litog.pl?idn=4131>>

Územní srážky, 2012 [online]. Český hydrometeorologický ústav, dostupný z:  
<[http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4\\_Historicka\\_data/P4\\_1\\_Pocasi/P4\\_1\\_5\\_Uzemni\\_srazky&nc=1&portal\\_lang=cs#P4\\_Uzemni\\_srazky](http://portal.chmi.cz/portal/dt?action=content&provider=JSPTabContainer&menu=JSPTabContainer/P4_Historicka_data/P4_1_Pocasi/P4_1_5_Uzemni_srazky&nc=1&portal_lang=cs#P4_Uzemni_srazky)>

Zákon 114/1992 Sb. o ochraně přírody a krajiny, dostupný z:  
<<http://www.cizp.cz/Pravni-normy/Ochrana-prirody>>

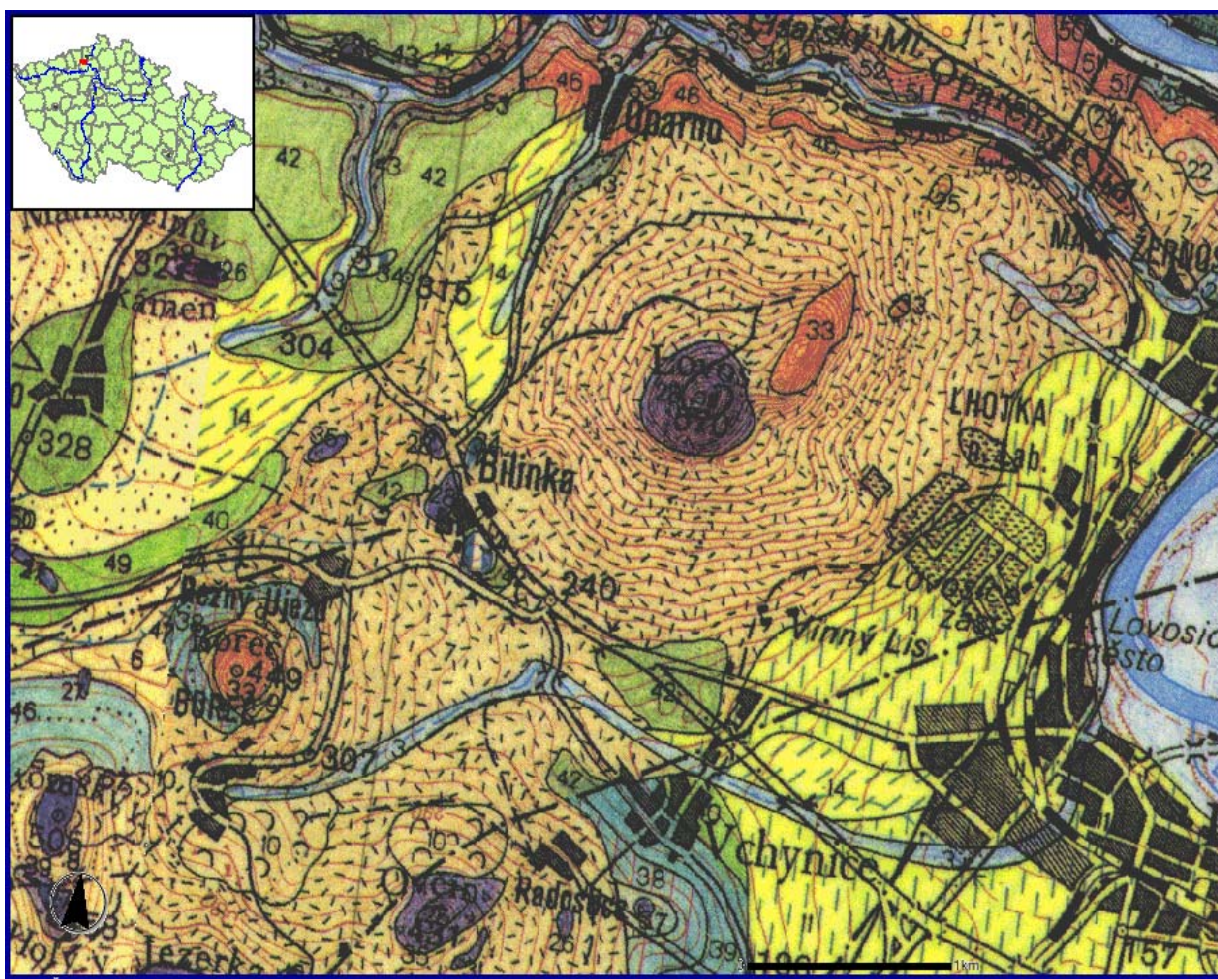




## Přílohy

Přílohy.....	56
Příloha 1 – Geologická mapa oblasti .....	57
Příloha 2 – Výsledky litogeochemického výzkumu .....	59
Příloha 3 – Mapa radonového indexu .....	59
Příloha 4 – Mapa tepelného toku .....	60
Příloha 5 – Spektrální analýza radionuklidů (přepočteno na 1 vteřinu) .....	61
Příloha 6 – Grafické vyhodnocení naměřených teplot.....	64
Příloha 7 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Bioklima 2012 .....	72
Příloha 8 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013 .....	74

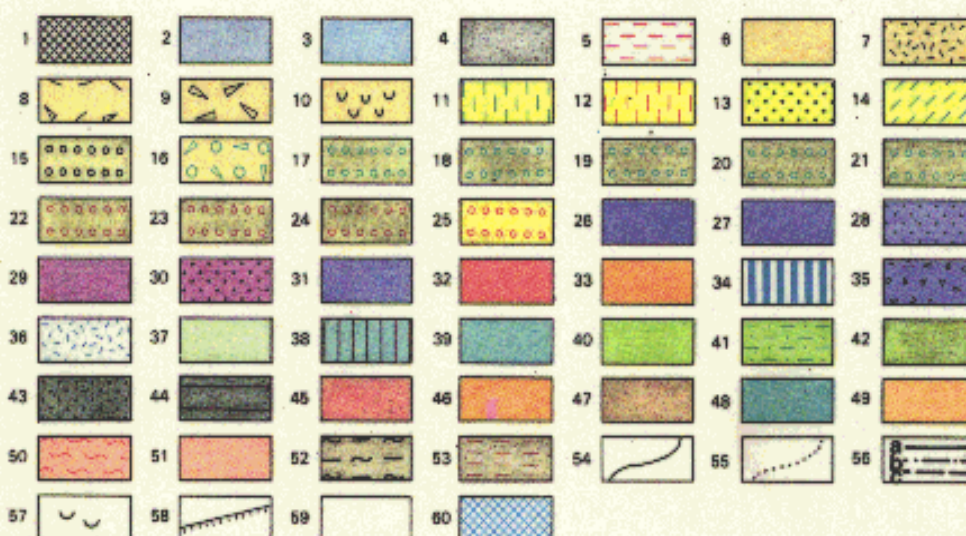
## Příloha 1 – Geologická mapa oblasti



(GEOČR500 geologická mapa ČR v měřítku 1:500 000,

Mapový server ČGS: <http://mapy.geology.cz/website/geoinfo/>, legenda na další straně)

## Legenda ke geologické mapě "0243 - Litoměřice"



**KVARTÉR, holocén:** 1 - komunální odpady, lomové odvaly, navážky; 2 - fluvialní převážně písčito-hlinité sedimenty v nivách; 3 - deluviofluvialní převážně písčito-hlinité sedimenty; 4 - hnílokalové a organodetritické sedimenty; 5 - bahenní oxidické železné rudy;

**holocén - pleistocén:** 6 - deluvialní písčito-hlinité sedimenty; 7 - deluvialní kamenito-hlinité sedimenty; 8 - deluvialní hlinito-kamenité sedimenty s bloky hornin; 9 - deluvialní blokové akumule; 10 - deluvialní kamenito-hlinité uloženiny konsolidovaných sesuvů;

**pleistocén svrchní:** 11 - spraše; 12 - sprašové hlíny; 13 - naváté písky; 14 - deluvio-eolické písčito-hlinité sedimenty s kameny; 15 - fluvialní písčité šterky;

**pleistocén střední:** 16 - proluviační písčité šterky;

**mladší riss:** 17 - fluvialní písčité šterky;

**starší riss:** 18 - fluvialní písčité šterky;

**pre-riss:** 19 - fluvialní písčité šterky;

**mladší mindel:** 20 - fluvialní písčité šterky;

**starší mindel:** 21 - fluvialní písčité šterky;

**pleistocén spodní, mladší gūnz:** 22 - fluvialní písčité šterky;

**starší gūnz:** 23 - fluvialní písčité šterky;

**dunajské stadium:** 24 - fluvialní písčité šterky;

**TERCIÉR, neogén, pliocén:** 25 - fluvialní písčité šterky;

**neogén - paleogén:** 26 - olivínické alkalické bazalty a bazanity (nefelinické, analcimické, „leucitické“), limburgity; 27 - sodaliticko-nefelinický bazanit; 28 - olivínické foidity (olivínické nefelinity, analcimity, „leucicity“); 29 - alkalické bazalty bez olivínu a tefrity (analcimické, „leucitické“, zeolitické), augity; 30 - sodalitický nefelinit; 31 - bazaltické horniny nerozlišené; 32 - trachybazalty (bez foidů, analcimické); 33 - sodalitické trachyty; 34 - silně alterované (autometamorfované) bazaltické horniny; 35 - subvulkanická brekcie bazaltických hornin; 36 - pyroklastika bazaltických hornin;

**MEZOZOIKUM, křída svrchní, santon - coniak: březenské souvrství:** 37 - slínovce, vápnité jílovce;

**coniak - turon svrchní: rohatecké vrstvy:** 38 - silicifikované jílovité vápence;

**teplické souvrství:** 39 - slínovce s polohami jílovitých vápenců, jílovité vápence (spodní část);

**turon svrchní - střední: jizerské souvrství, spodní část:** 40 - jílovce, slínovce; 41 - jílovito-prachovité pískovce;

**turon střední - spodní: bělohorské souvrství:** 42 - prachovce, spongilitické písčité slínovce; v sz. části území listu podřízeně jemnozrné glaukonitické pískovce;

**cenoman: korycanské vrstvy:** 43 - křemenné jemné až středně zrnité pískovce, místy slabě jílovité, na bázi často slepencovité;

**perucké vrstvy:** 44 - jílovité jemně zrnité pískovce s obsahem organické hmoty;

**SVRCHNÍ PALEOZOIKUM, perm - karbon, lišské souvrství:** 45 - jílovce, jílovité prachovce;

**karbon:** 46 - ryolit;

**SPODNÍ PALEOZOIKUM - PROTEROZOIKUM (?):** 47 - horniny fylitové série s přechody do svorů (sericit-chloritické fylity, vápnité fylity, muskovitické svory); 48 - amfibolity a zelené břidlice; 49 - leukokráttní ortoruly; 50 - biotit-muskovitické hybridní ortoruly; 51 - migmatity až silně hybridní muskovit-biotitické ortoruly; 52 - migmatizované biotitické až dvojslédné ruly; 53 - granáticko-biotitické a granáticko-muskovitické rula středně zrnité až drobnozrná;

54 - hranice stratigrafických jednotek; 55 - pozvolný přechod jednotlivých typů sedimentů; 56 - zlom: a-zjištěný, b-zakrytý, c-předpokládaný; 57 - konsolidované sesuvy; 58 - stěna lomu; 59 - vytěžená plocha; 60 - vodní plocha vzniklá těžbou.

## Příloha 2 – Výsledky litogeochemického výzkumu

IDN: 4131 Symbol: NV Dok. bod: 50 Vzorek: K1033

Lokalita: Lovosice

Mapa 50: 0243 Název mapy: Litoměřice

[X, Y]: [766696,991775]

Soubor: Neovulkanity (O. Shrbený),(1985-1995)

Hornina + přívl.: trachyt

Popis horniny: sodalitický trachyt Hloubka odběru:

Místo odběru: Boreč

Regionální členění: České středohoří

Stratigrafické členění: terciér (neogén - paleogén)

Litostratigrafické členění: nerozlišeno

Poznámka: S PRIM.ANALC.,SL.ALT.

Rok: 85-95 Autor: Shrbený Otakar Úkol: Protokol: Organizace: ÚÚG Praha

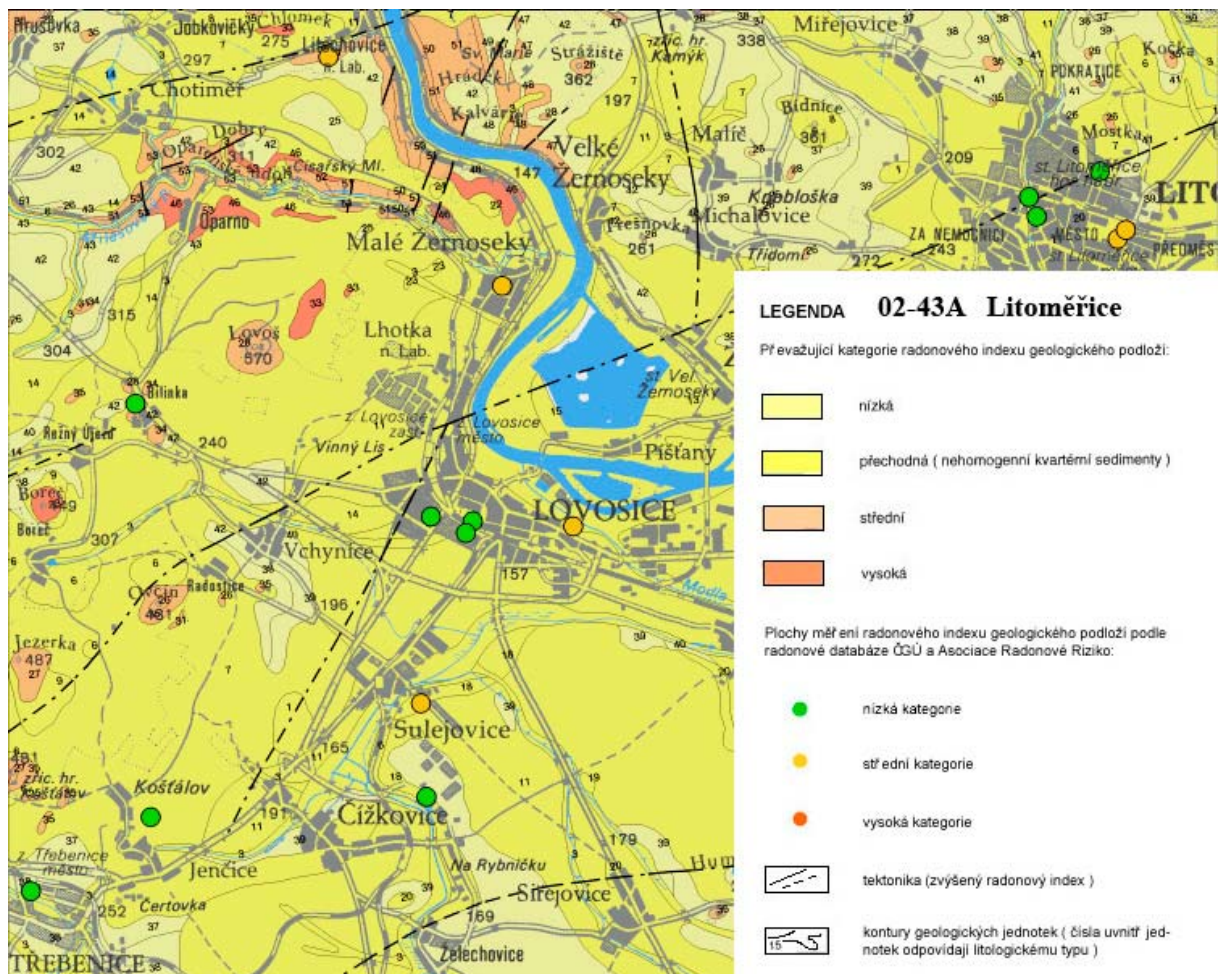
Silikátová analýza - měřené hodnoty: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O<sup>+</sup>, F, MgO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeO, S, Na<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, CaO, Li<sub>2</sub>O, MnO, K<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>O<sup>-</sup>, SiO<sub>2</sub>

RFA - roentgenfluorescenční analýza - měřené hodnoty: Rb, Zr, Mo, Y, Ni, As, Cr, Cu, Nb, Zn, Pb, Sr

OES - optická emisní spektrografie - měřené hodnoty: Be

INAA - instrumentální neutronová aktivační analýza - měřené hodnoty: Co, Sb, Lu, Ta, Ce, La, Th, Cs, Sm, Sc, Tb, Yb, Hf, U, Eu

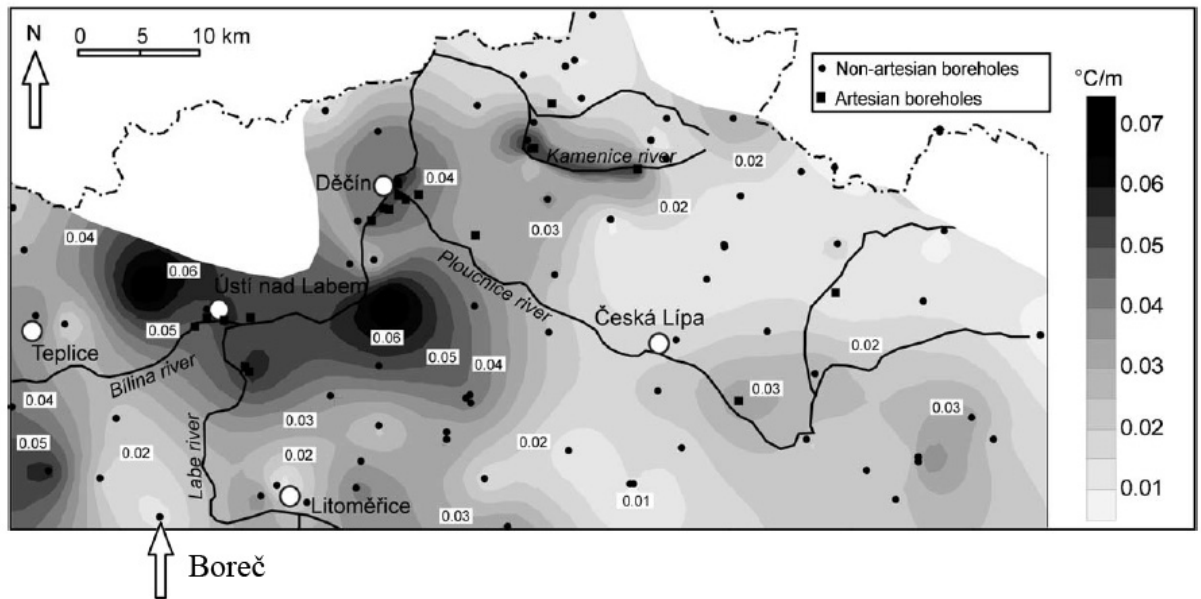
## Příloha 3 – Mapa radonového indexu



Podle geologické mapy 1:50 000, list 02-43 Litoměřice, redaktor J. Domas, ČGÚ 1990

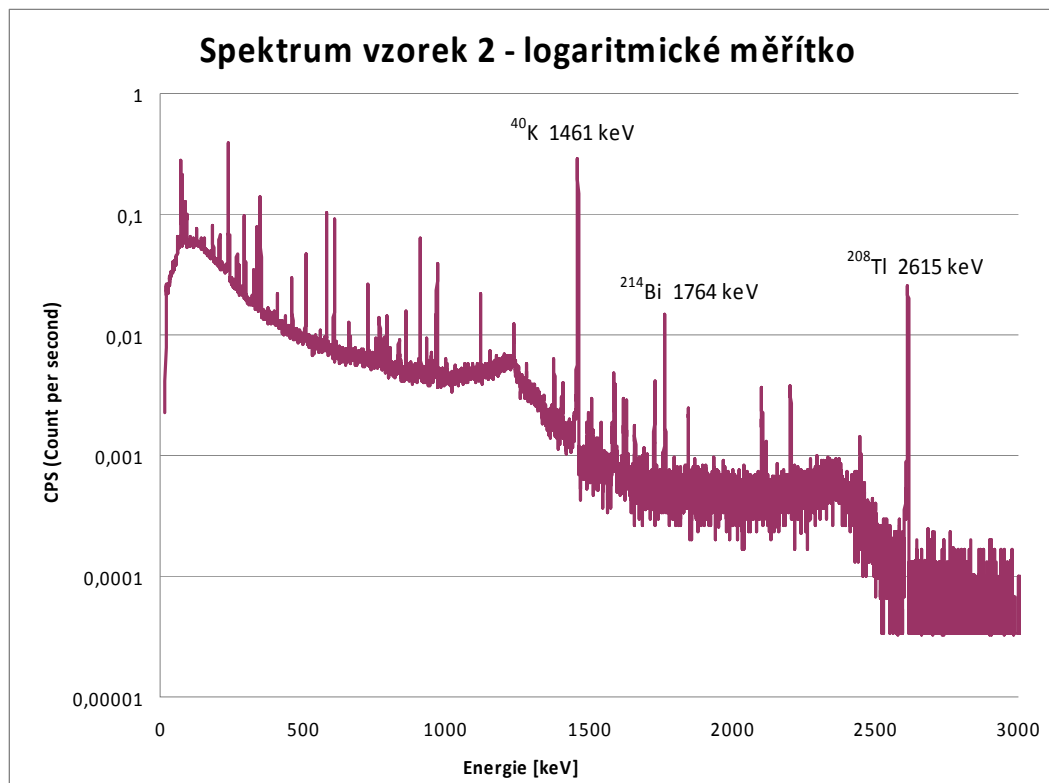
([http://www.geology.cz/demo/CD\\_RADON50/0243/0243.htm](http://www.geology.cz/demo/CD_RADON50/0243/0243.htm))

## Příloha 4 – Mapa tepelného toku

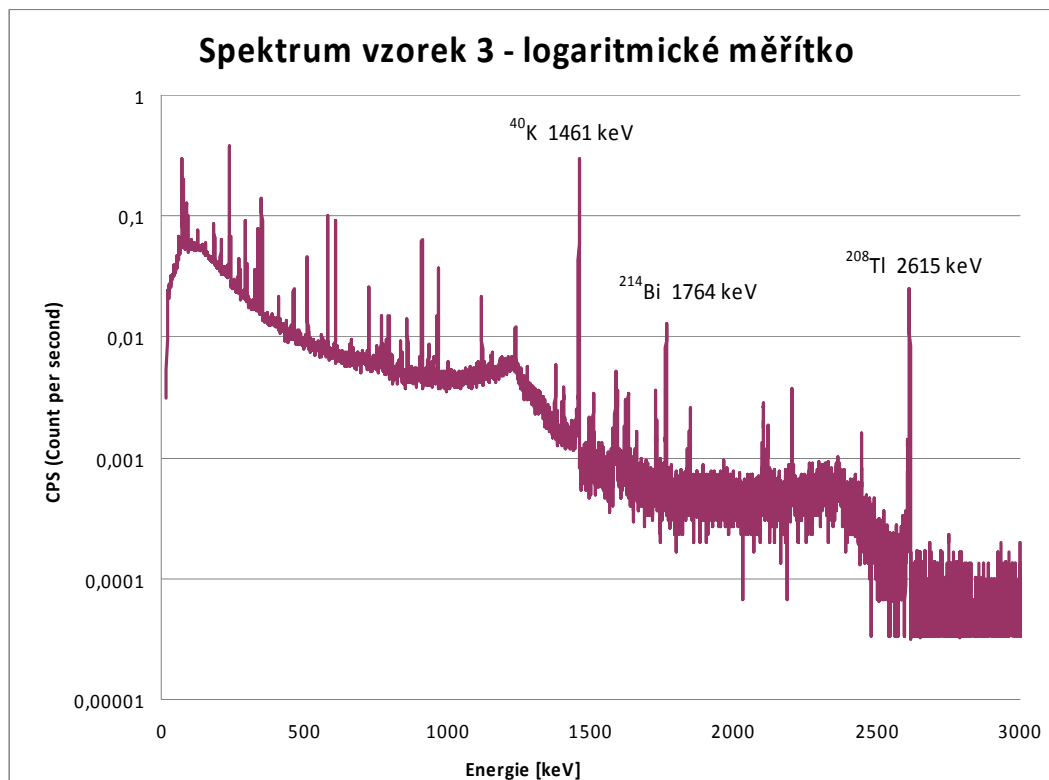


Mapa tepelného toku v oblasti Benešov – Ústí nad Labem dle Jirákové (2011). Šipkou je označen vrt, který se nachází v blízkosti vrchu Boreč.

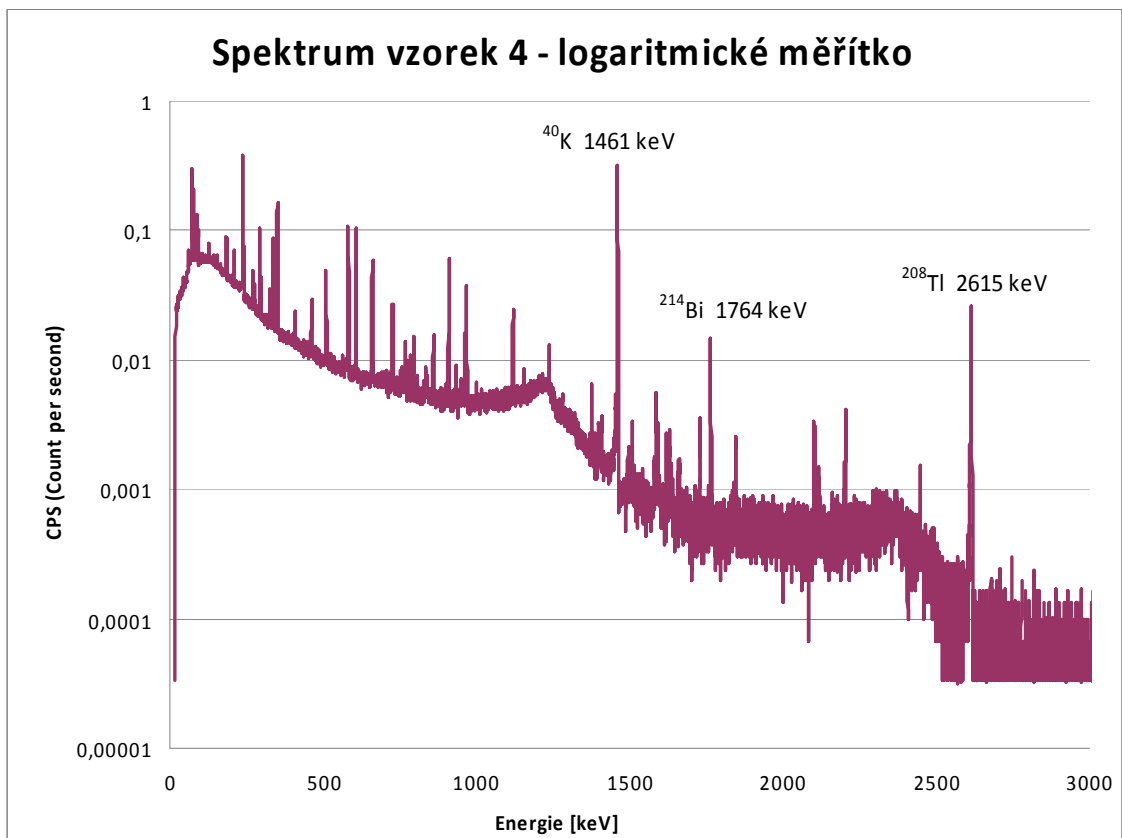
## Příloha 5 – Spektrální analýza radionuklidů (přepočteno na 1 vteřinu)



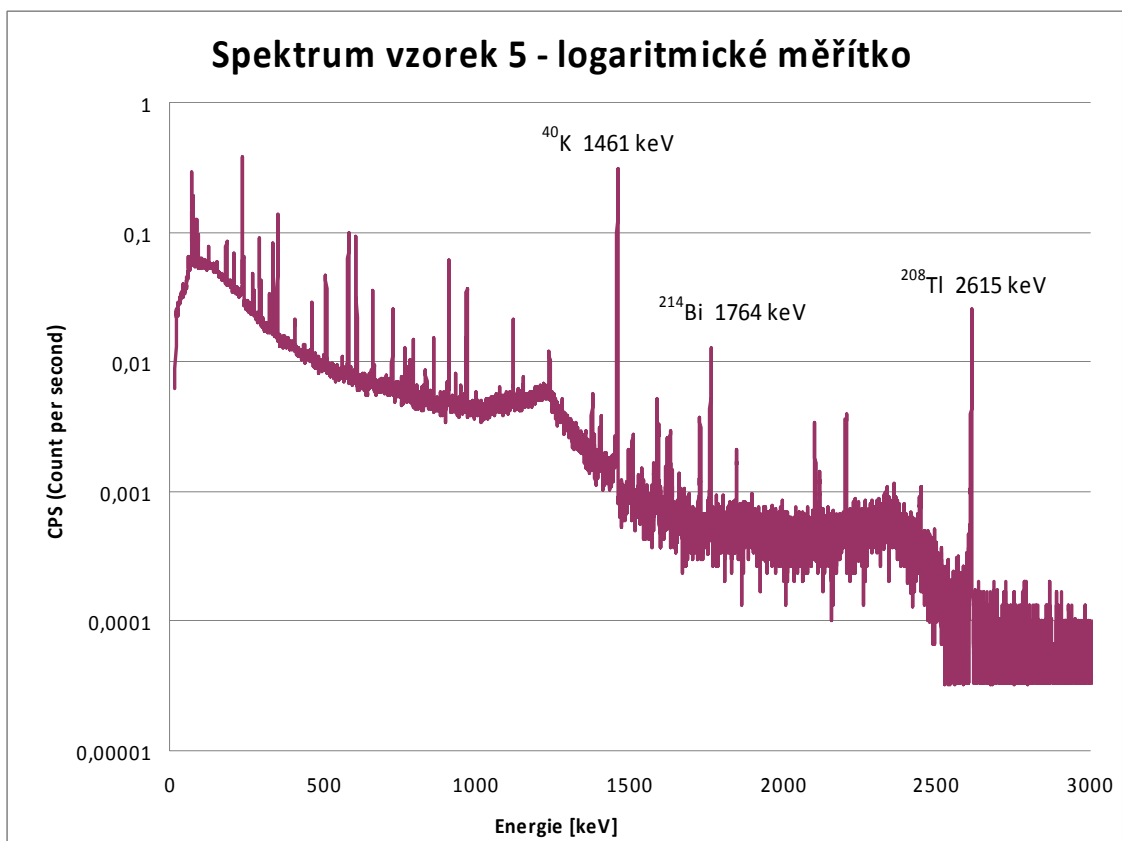
Obr. 24 Spektrum vzorku 2 – logaritmické měřítko



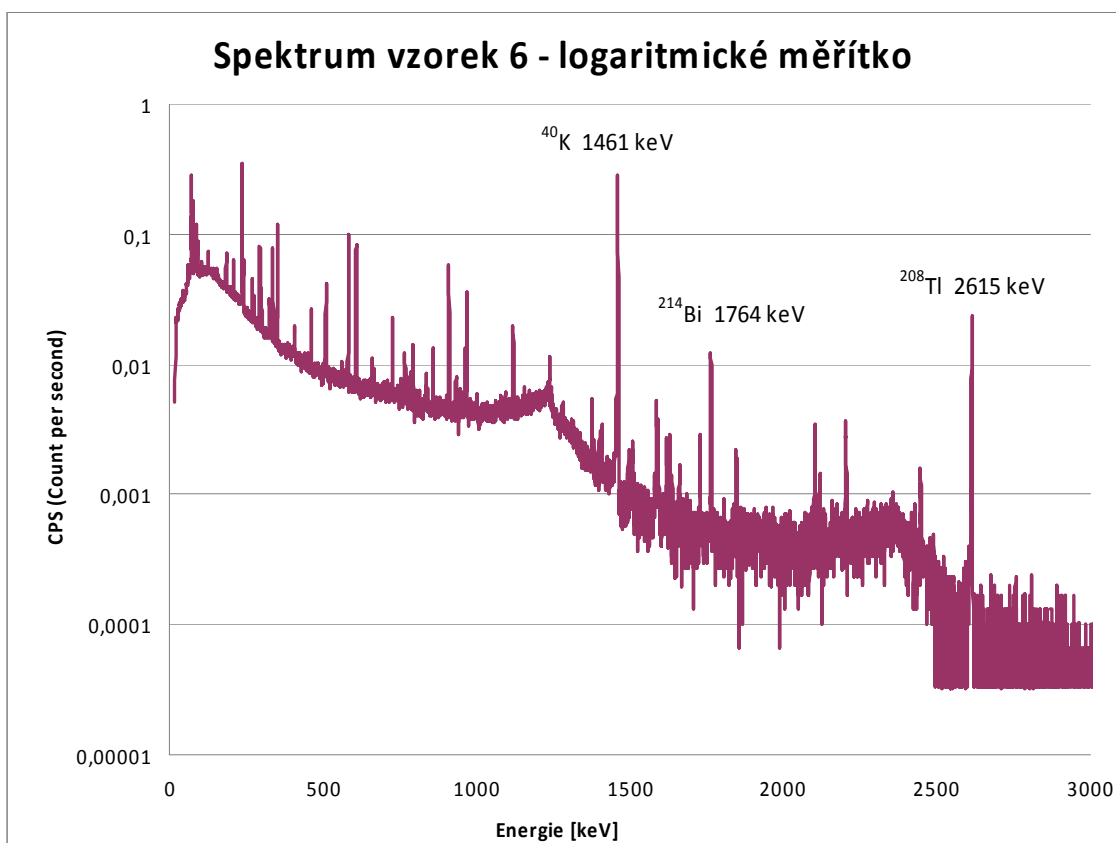
Obr. 25 Spektrum vzorku 3 – logaritmické měřítko



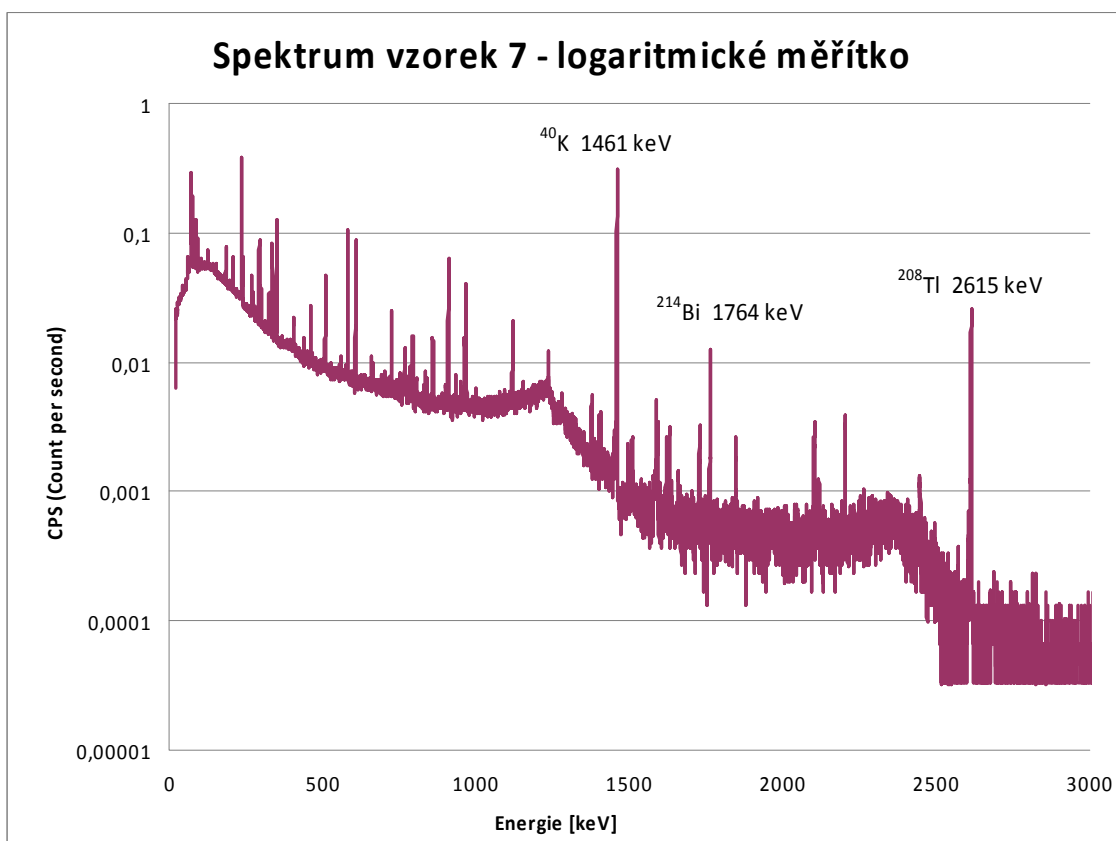
**Obr. 26** Spektrum vzorku 4 – logaritmické měřítko



**Obr. 27** Spektrum vzorku 5 – logaritmické měřítko



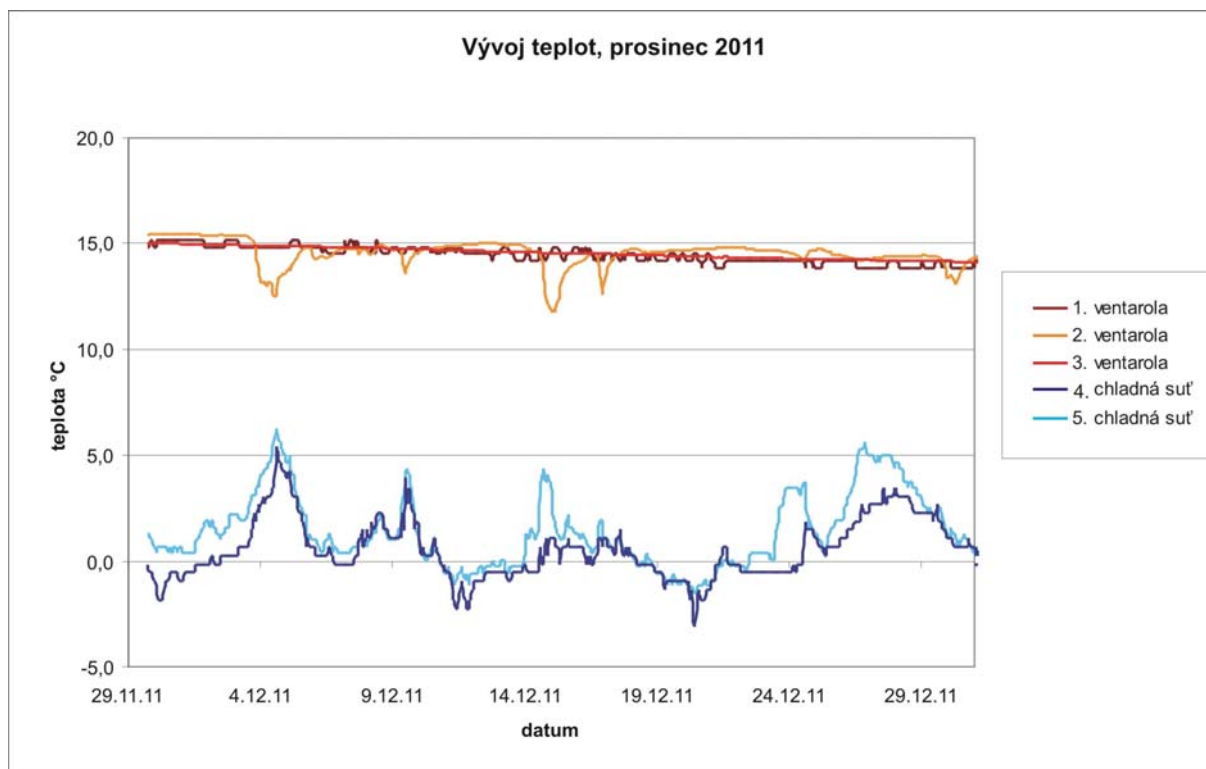
**Obr. 28** Spektrum vzorku 6 – logaritmické měřítko



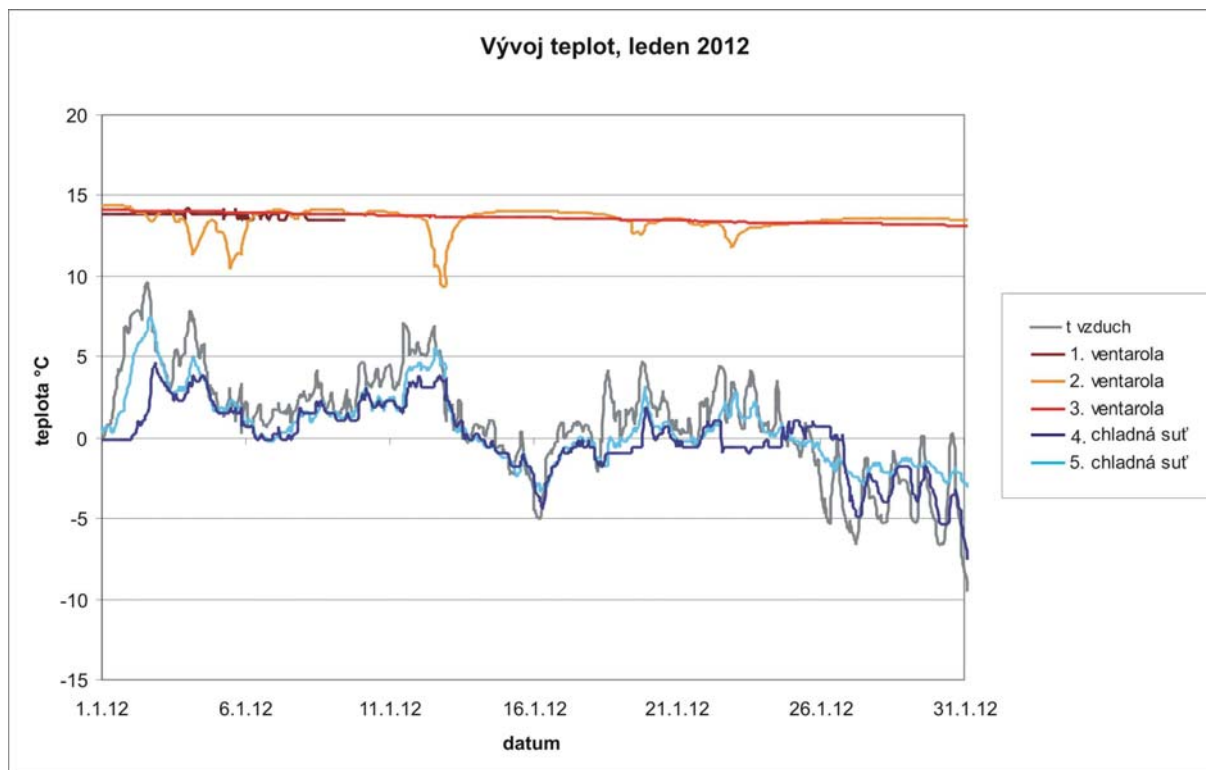
**Obr. 29** Spektrum vzorku 7 – logaritmické měřítko



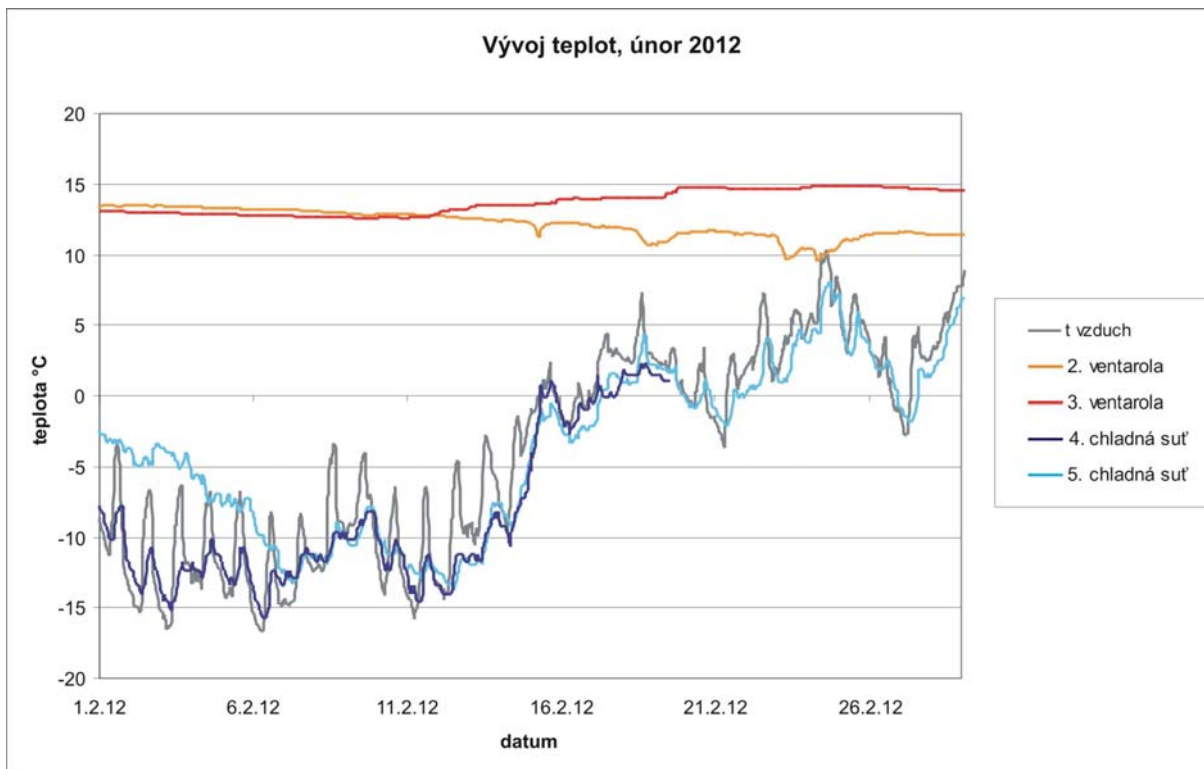
## Příloha 6 – Grafické vyhodnocení naměřených teplot



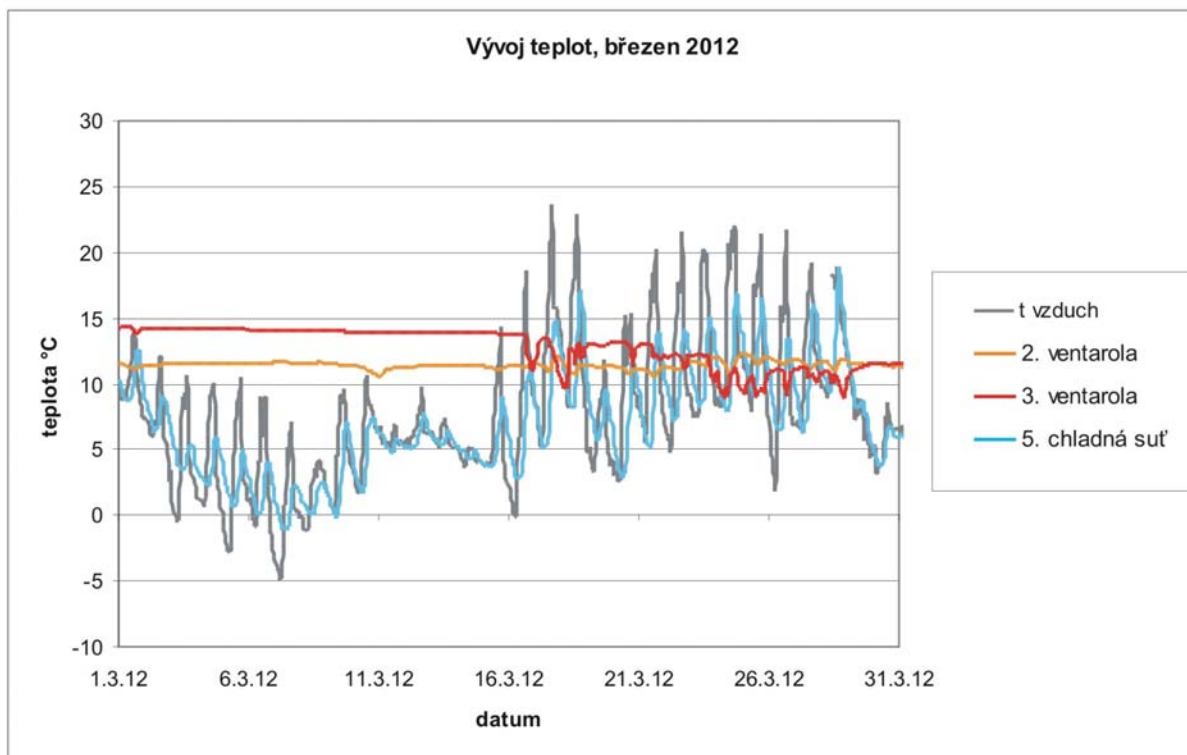
**Obr. 30** Vývoj teploty, prosinec 2011



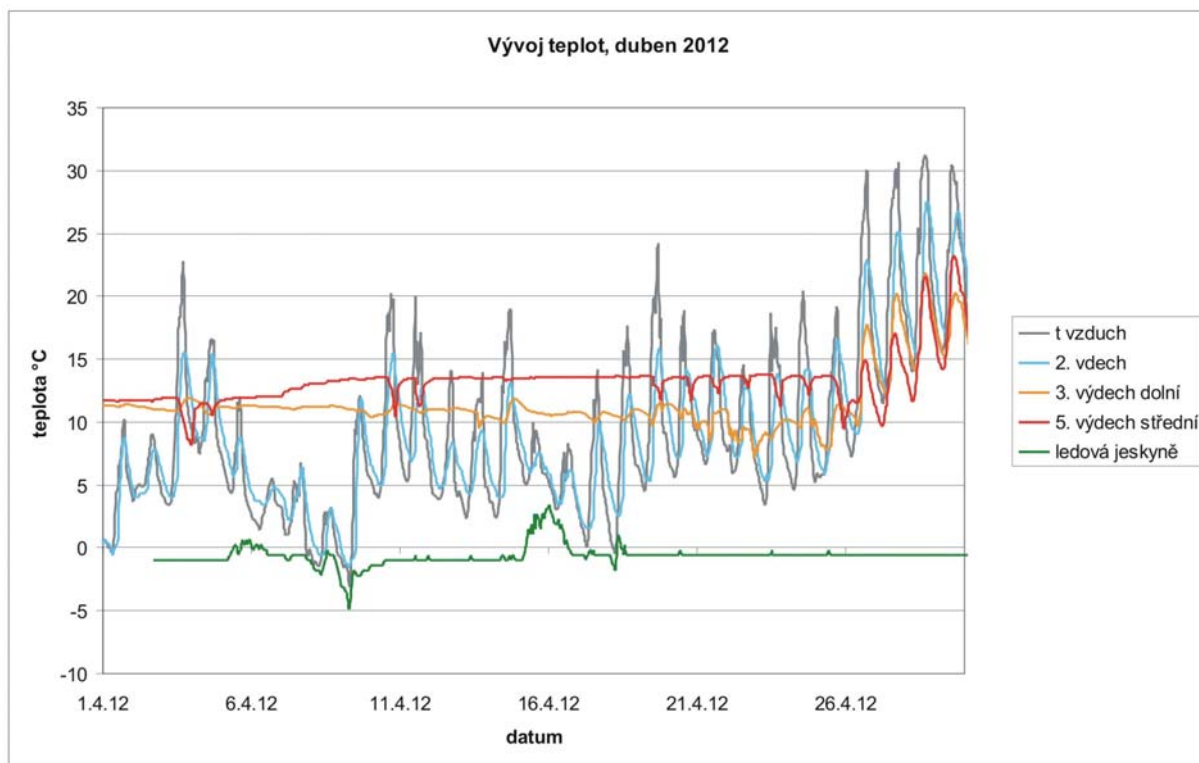
**Obr. 31** Vývoj teploty, leden 2012



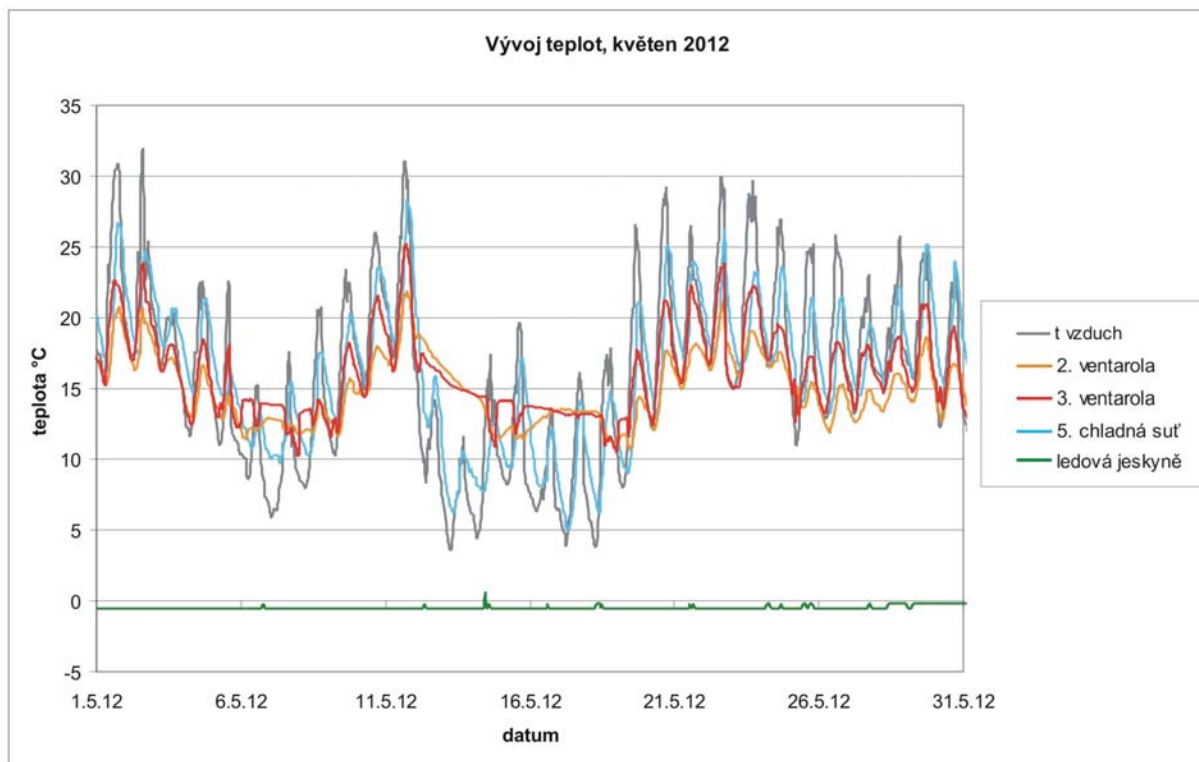
**Obr. 32** Vývoj teploty, únor 2012



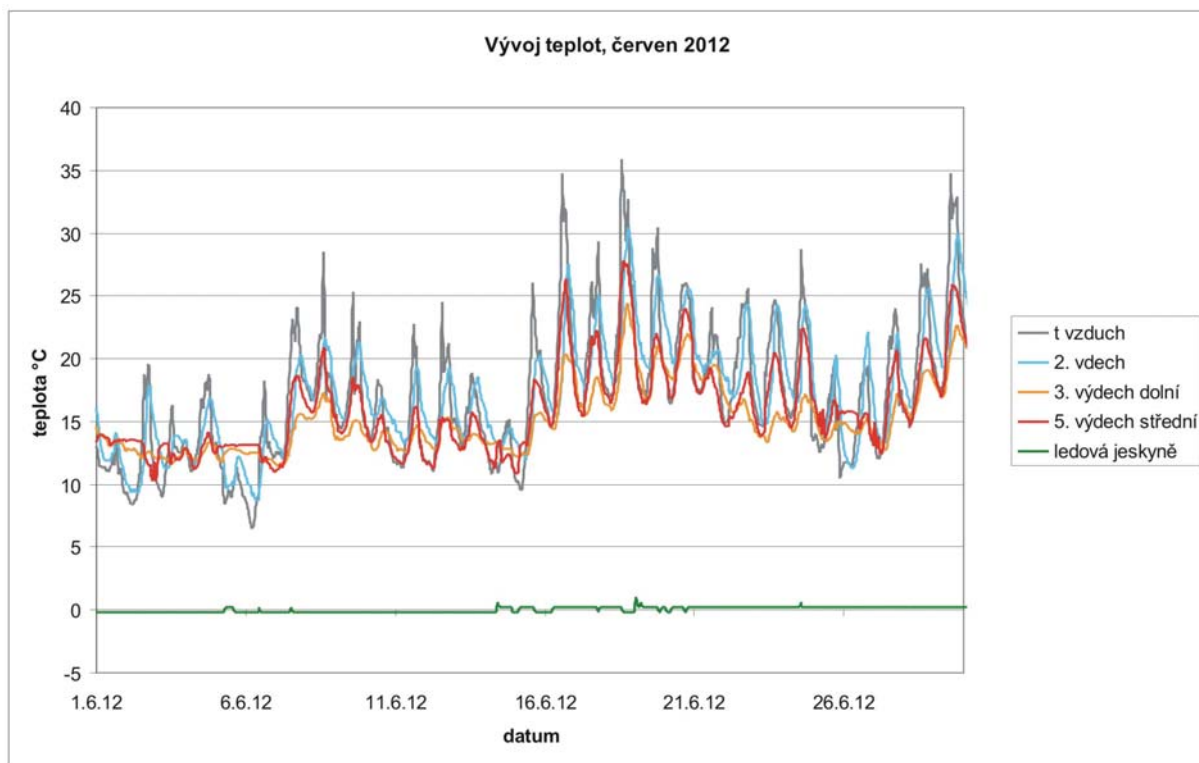
**Obr. 33** Vývoj teploty, březen 2012



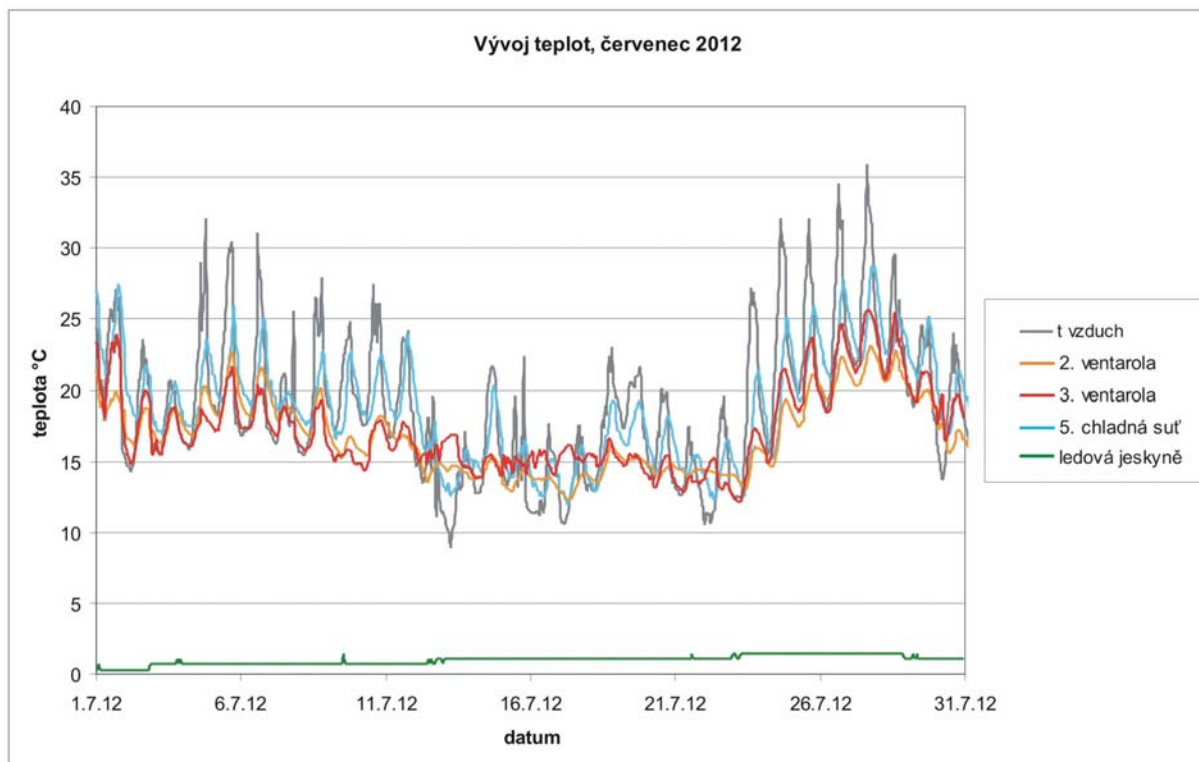
**Obr. 34** Vývoj teploty, duben 2012



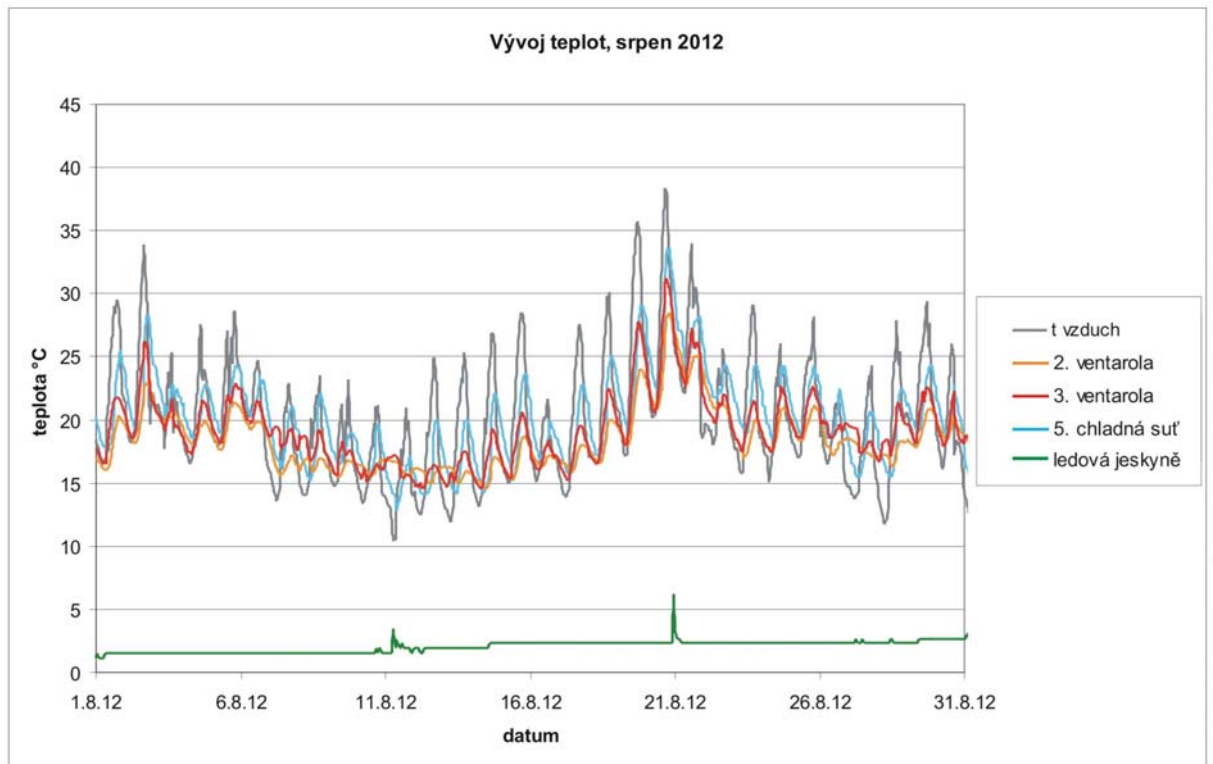
**Obr. 35** Vývoj teploty, květen 2012



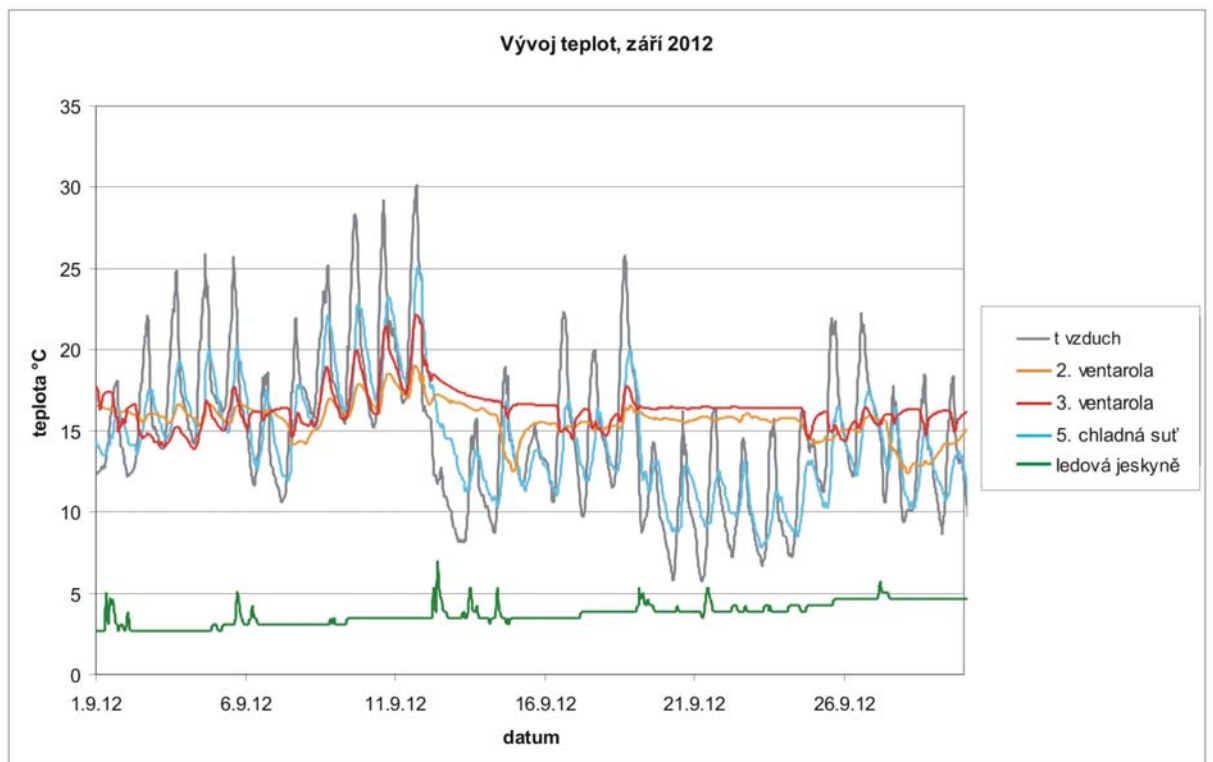
Obr. 36 Vývoj teploty, červen 2012



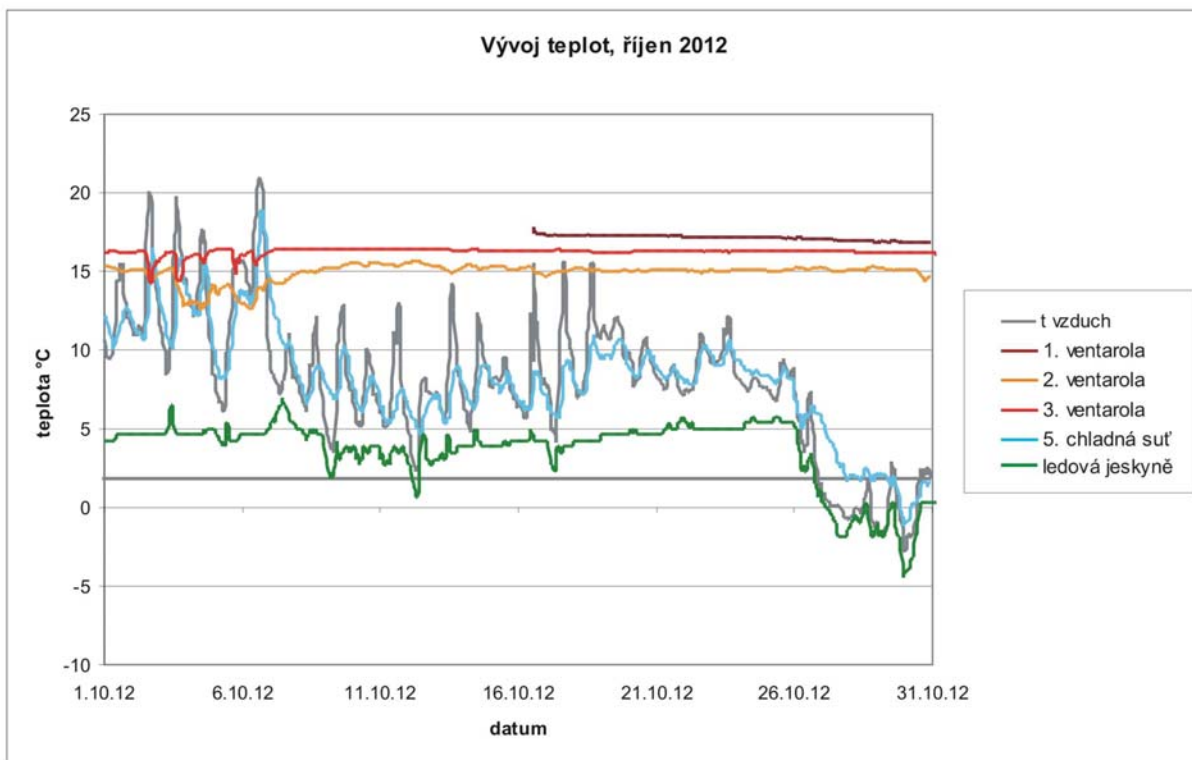
Obr. 37 Vývoj teploty, červenec 2012



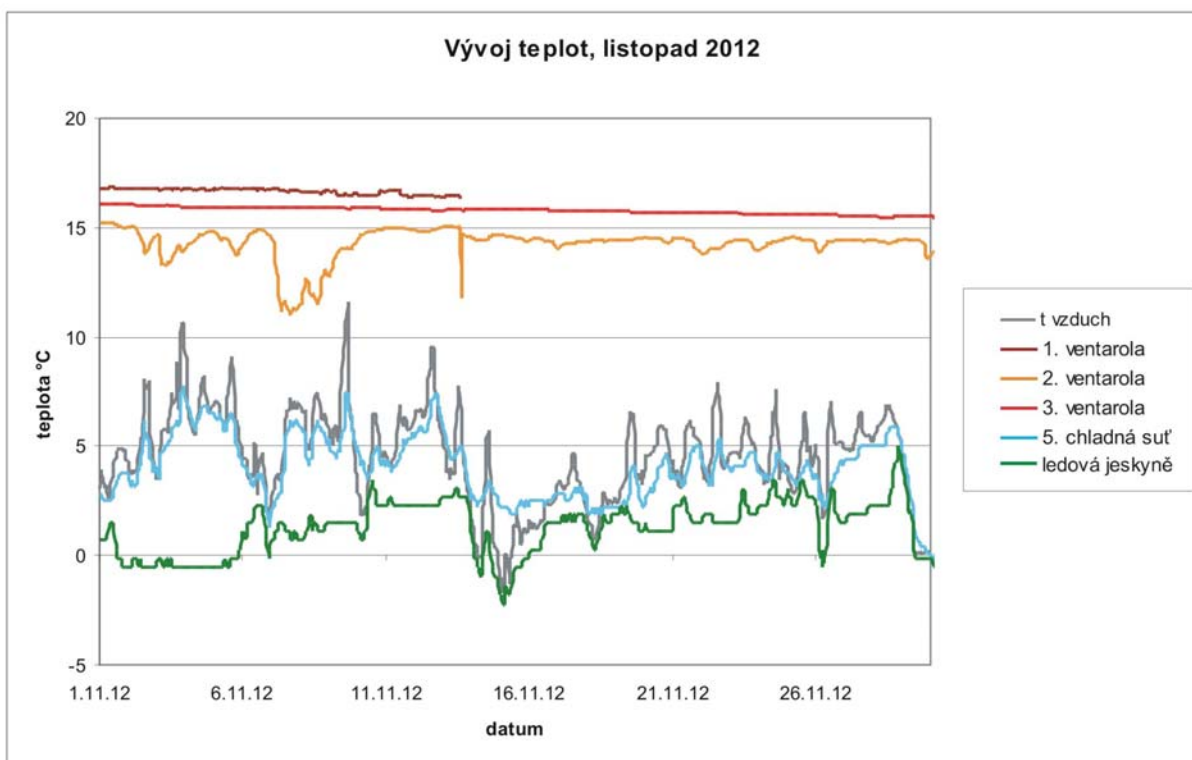
**Obr. 38** Vývoj teploty, srpen 2012



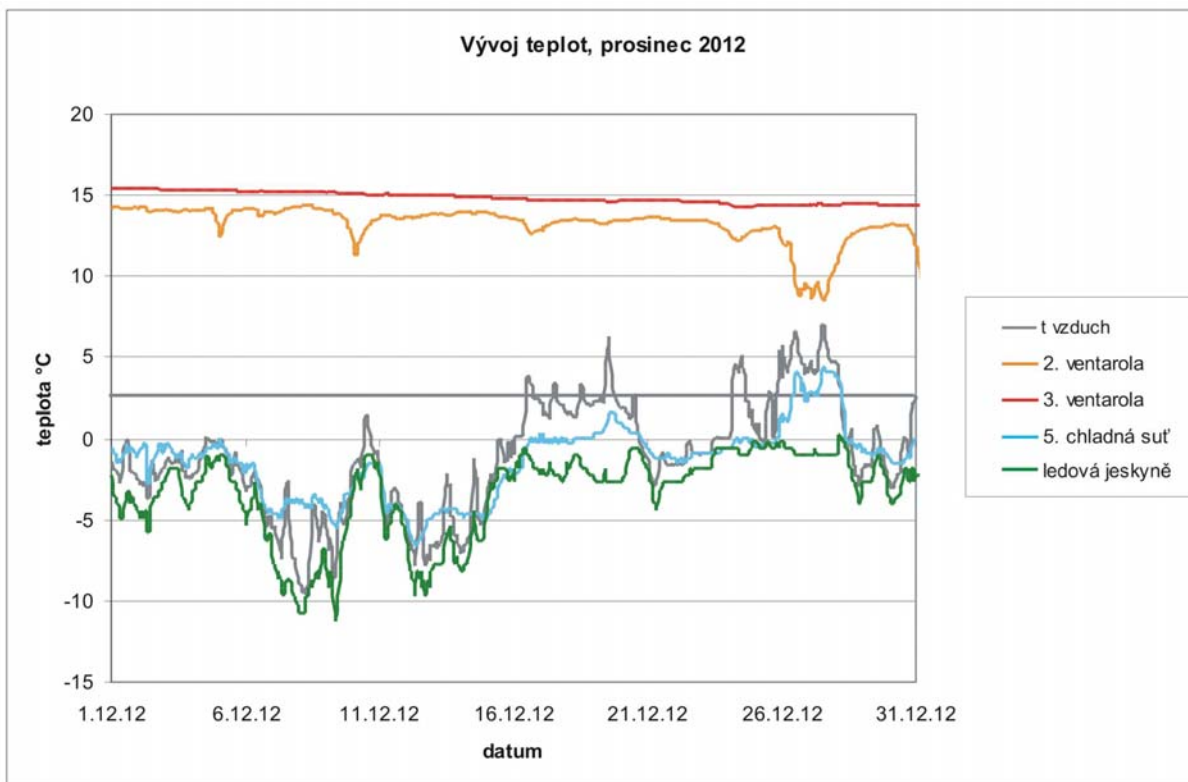
**Obr. 39** Vývoj teploty, září 2012



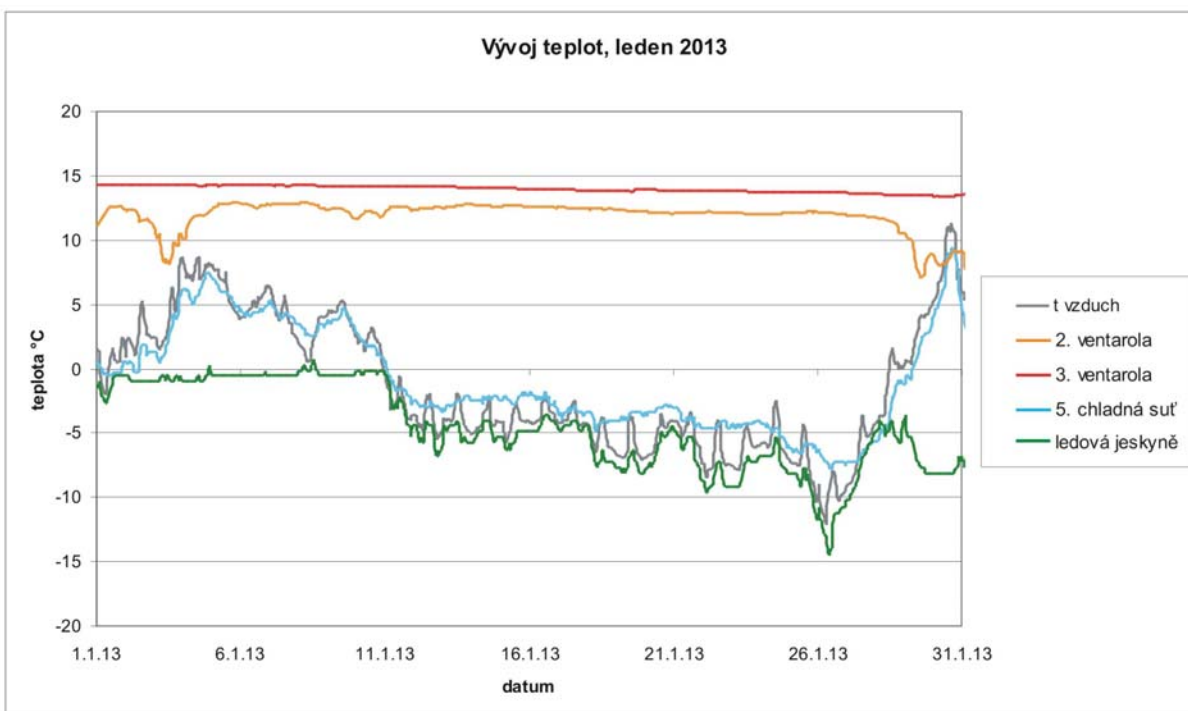
**Obr. 40** Vývoj teploty, říjen 2012



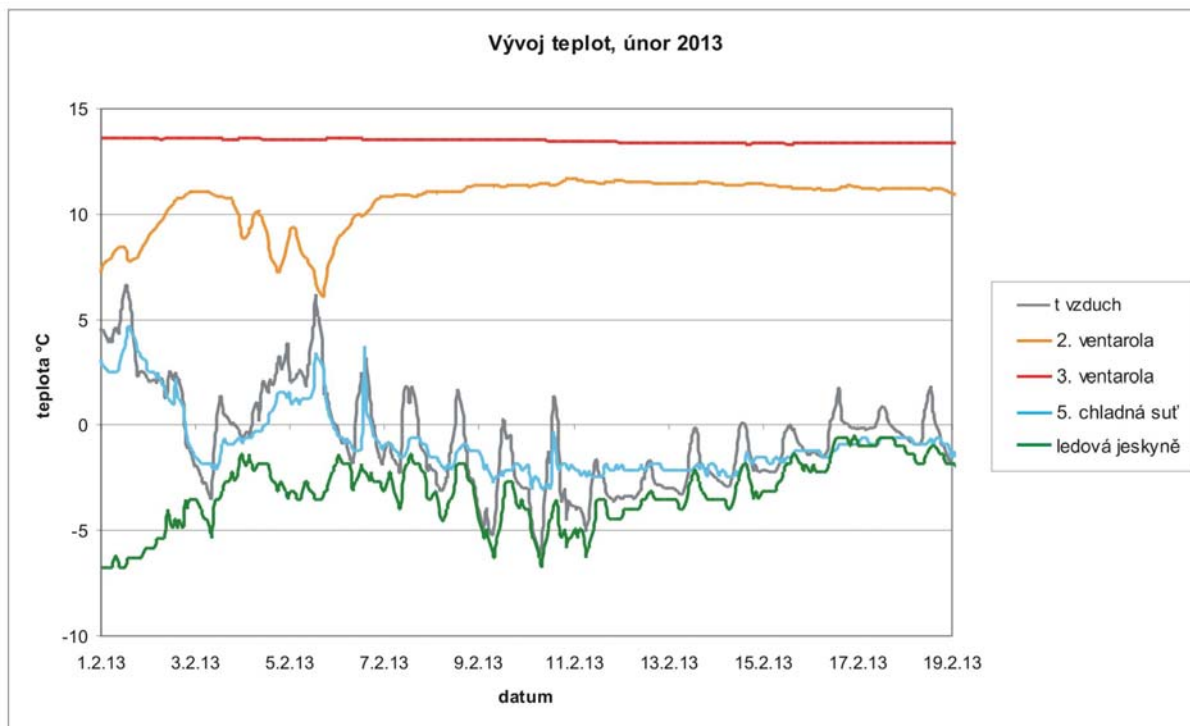
**Obr. 41** Vývoj teploty, listopad 2012



**Obr. 42** Vývoj teploty, prosinec 2012



**Obr. 43** Vývoj teploty, leden 2013



**Obr. 44** Vývoj teploty, únor 2013



## Příloha 7 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Bioklima 2012

### Microclimatic conditions of ventarols in Boreč Hill.

Luboš Türkott, Eva Pospíšilová

CULS, FAFNR, Department of Agroecology and Biometeorology, Prague, Czech Republic, [turkott@af.czu.cz](mailto:turkott@af.czu.cz)

**Abstract.** In the period from November 29, 2011 to March 28, 2012 microclimatic conditions of fissures in phonolite massive were monitored. Fissures form a phenomenon known as ventarols. High accumulation capacity of the rock causes exhalations of warm and moist air in winter. The highest temperature of outflowing air was recorded in the period from 11/29/2011 to 03/28/2012 and it was 15.5 °C. The total temperature drop for the observation period was 4.8 °C, or 4.1 °C as the case may be. The largest difference in average temperature of inflowing and outflowing air was 26.6 °C and it was recorded during the very frosty weather of February 12, 2012. Microclimatic regime of the system creates favorable conditions for *Targionia hypophylla* L., whose developmental stages are closely tied to specific features of the airflow in the fissures.

#### Introduction

Temperature conditions in the Czech Central Mountains are significantly influenced by the topography of the landscape. Their closed position from the north and the opened position to the south creates a specific temperature conditions for the occurrence of thermophilous vegetation. Boreč hill (446 m above sea level) belongs to the Milešovská part of the Czech Central Mountains and to Lovoš Highlands. On the northern side, the slopes of Boreč are mainly covered with scree formed in frost erosion. The hill body is penetrated with network of fissures created by tension when the phonolite rock was cooling down. Thermal regime of the scree slopes is mainly dependent on the specific microclimate of the scree. The temperature of the surface fluctuates, but conditions inside the scree are humid and have a balanced temperature, which leads to airflow and exhalations (Kubat 1971). Besides its geological aspect, Boreč's fauna and flora are also interesting. There is a number of protected plant species, particularly rare *Targionia hypophylla* L. Kubát (1974) describes few locations outside the Czech Central Mountains with ventarols – Kotelní jána valley in the Giant Mountains, Malý šišák, Malá Čertova zahrádka etc. Outside the Czech Republic, ventarols are abundant and often described mainly from the geological point of view.

#### Material and methods

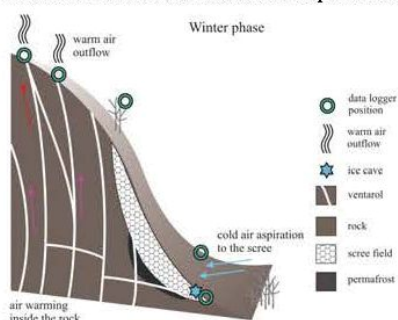
The research focused on the evaluation of thermal conditions and airflow in the fissure systems of the Boreč hill (N50 30.851 E13 59.322). Temperature sensors PT100 were placed in selected locations and the temperature of flowing air in the fissures was measured at hourly intervals in the period from November 29, 2011. At the same time, the ambient air temperature was measured 2 m above the ground. Speed and direction of airflow in the fissures was measured manually using anemometer Stoppani. Particular locations were chosen with regard to winter exhalations and relief of the hill. The locations included places with winter

outflow (1, 2 and 3) and winter inflow with various strengths of the flow. On Location No. 1, a sensor was damaged on January 9, 2012. The locations of sensors were targeted by a GPS navigation system and their positions marked in the map.

#### Results and discussion

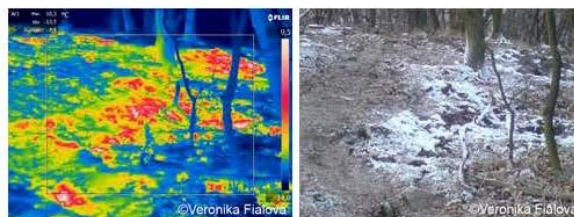
The present experimental results have proved the high thermal storage capacity of the fissure system. In the period from 11/29/2011 to 03/28/2012, the temperature of expelled air was fluctuating at Location No. 2 between 15.5 °C and 8.9 °C, and No. 3 between 15.5 °C and 9.3 °C. The lowest temperature of exhaled air was not recorded at the end of the experiment on March 28, 2012, but on January 12, 2012 at Location No. 2, and March 24, 2012 at No. 3. The temperature of exhaled air was influenced by the then weather situation and the season of year. During the winter, the hill was cooling down and the temperature of outflow at No. 3 dropped from the beginning to the end of experiment by 4.1 °C; the drop at No.2 was by 4.8 °C. There are also visible correlations between the ambient and the exhaled air temperature, which became evident with a mild delay. Delay, frequency and severity of correlations depend on the structure and length of the route that the air has to pass through the fissures. Váně (1992) assumes that the ingenious mass of Boreč extends to the depth of 200 to 300 m, and he

estimates the cubature of fissures to be hundreds of m<sup>3</sup>.



**Figure 1.** Scheme of the principle of winter airflow in the fissures.

Because of the stability and power of the outflowing air, we can conclude that the inflowing air does not flow through the massive in the shortest way (which is only about 61 m), but it drops to the depth of the hill, where it slowly warms up and rises through a complex of fissures to the place of exhalation. Therefore, the connection of a particular inflow and outflow location can not be proved.



**Figure 2.** Temperature scheme of winter outflow on the hill of Boreč in the IR and VIS spectre.

According to the mean temperature of inflowing air and outflowing air, the greatest temperature difference of 26.6 °C was recorded during heavy frosts on February 12, 2012. In such periods, water vapor forms hoarfrost on objects nearby ventarols (Fig. 2).

Figure 3 shows three different modes of the observed ventilation:

- *Period A*, the temperature of exhaled vapor slowly decreases due to cooling of the rock; time series No. 2 correlates with the ambient air – with the reduction of temperature difference, the flow ceases, and the temperature inside the ventarol influences the cooler ambient air.
- *Period B*, the largest difference between temperatures inside and outside of the system occurs during heavy frost season – the upward flow is stable and exhalations are strong.
- *Period C*, the outside air temperature is equalized with the temperature inside the hill – the flow direction is influenced by slight variations in atmospheric temperature (turning point around 14 to 16 °C), the system also fluctuates under influence of particular weather conditions (Váně 1992).

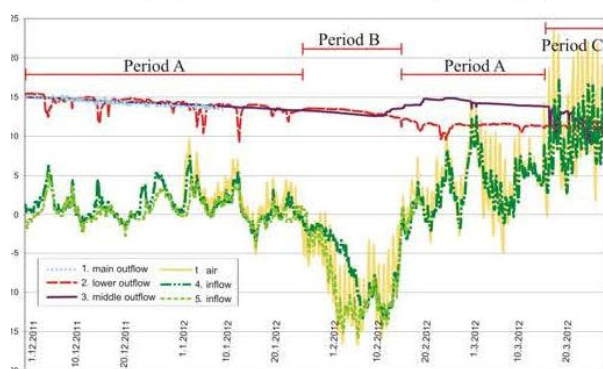


Figure 3. Air temperature [°C] in the fissures of the hill of Boreč.

Airflow velocity in fissures depends mainly on the inside and outside temperature gradient in the system. The exhaled air velocity in the biggest and strongest ventarole No.1 was 3.6 m.s<sup>-1</sup> during manual measurement on 9 January, 2012 at 11:00. The air temperature outside the ventarol was 2.4 °C. During further measurements, the velocity of outflow decreased with increasing ambient air temperature; and during observations on 03/28/2012 at 11:00, the opposite direction of air flow occurred. The velocity of airflow was 0.8 m.s<sup>-1</sup>. The variations in airflow regime can be caused by reasons described below:

- Balch effect, the influence of gravity on airflow according to its specific weight – cold air is heavier than warm air and it flows out at the bottom of the scree (Balch 1900).
- Chimney effect, air in the fissure system warms up and rises, it is replaced by cold air sucked in from the surrounding debris (Wakonigg 1996). A similar mode was observed in dynamic caves.
- The influence of latent heat, when the phase of water changes (evaporation, melting and sublimation), latent heat is consumed and it can cause cooling of environment (Wakonigg 1996).

- Interaction with the atmosphere, changes in flow may occur due to the current weather situation (Harris 1998).

Occurrence and development of *Targionia hypophylla* L. is closely tied to the thermal regime of the fissure system. Changes in flow represent increase or decrease in relative humidity and air temperature to which *Targionia* responds very quickly. During the dry and warm weather, the thallus is shriveled and black (Fig. 4b). *Targionia* starts to grow again at the time when the warm and humid air is exhaled, which happens out of the growing season of the vast majority of plant species (Fig. 4a).



Figure 4. Vegetation periods of *Targionia hypophylla* L.

## Conclusions

- High thermal storage capacity of the fissure system has been proved.
- The highest recorded temperature of exhaled air in the period from 29/11/2011 to 28/03/2012 was 15.5 °C.
- The overall decrease in exhaled air temperature during the reported period was by 4.1°C at the location No. 3, and by 4.8 °C at location No. 2.
- The largest difference in temperature average of inflowing and outflowing air was 26.6 °C and it was recorded during the heavy frosts on February 12, 2012.
- Velocity and direction of flow is dependent on the temperature gradient inside and outside the system.
- Developmental stages of *Targionia hypophylla* L. are dependent on temperature and humidity of exhaled air.

**Acknowledgements** This study was supported by S grant of MSMT CR and project No. MSM 6046070901.

## References

- Balch, E. S.: *Glaciers or Freezing Caverns*. Allen, Lane and Scott, Philadelphia, 1990, 337 p.
- Harris, S. A., Pedersen, D. E.: *Thermal Regimes Beneath Coarse Blocky Materials, Permafrost and Periglacial Processes*, John Wiley and Sons, Ltd., 9, 1998, pp. 107-120.
- Kubát K.: *Ledové jámy a exhalace v Českém středohoří II. Vlastivědný sborník Litoměřicko*, Okresní muzeum Litoměřice, 8: 67–89, 1971.
- Kubát K.: *Proudění vzduchu sutěmi jako ekologický faktor*. Opera Corcontica, 11, 1974, 53-62.
- Váně, M.: *Exhalace par na Borči a na Jezerní hoře*. Sborník Severočeského muzea – Přírodní vědy, 1992, č. 18, s. 175–191.
- von Wakonigg, H.: *Unterkühlte Schutthalden (Undercooled talus)* (in German). *Arbeiten aus dem Institut für Geographie der Karl-Franzens Universität, Graz*, 33, 1996, pp. 209–223.

## **Příloha 8 – Příspěvek vydaný ve sborníku konference Vliv abiotických a biotických stresorů na vlastnosti rostlin 2013**

### **Vliv Mikroklimatu ventarol vrchu Boreč na vegetaci borečky vzácné (*targionia hypophylla* l.)**

#### ***INFLUENCE OF microclimate of Boreč hill on vegetation of targionia hypophylla l.***

Luboš Türkott, Eva Pospíšilová

Česká zemědělská univerzita v Praze, FAPPZ, katedra agroekologie a biometeorologie, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6 – Suchdol, turkott@af.czu.cz

#### ***Summary***

In the year of 2012 microclimatic conditions of fissures in Boreč Hill phonolite massive were monitored. These fissures create a phenomenon known as ventarols. Microclimatic regime of the system creates favorable conditions for *Targionia hypophylla* L., whose developmental stages are closely linked to the specific features of the airflow (way, strength and direction) in the fissures. In 2012 year, *Targionia hypophylla* L. was found in only one of ventarole. The growing season of *Targionia hypophylla* L. occurs during when exhalations of warm and humid air in the cold half-year period. The highest differences in temperature inside and outsides the ventarole was reached 29.9 °C during heavy frosts in the first half of February 2012.

*Key words: microclimatic conditions, ventarols, Targionia hypophylla L., Borec hill*

#### ***Souhrn***

V roce 2012 byly sledovány mikroklimatické poměry puklinového systému znělcového masivu vrchu Boreč. Tyto pukliny vytvářejí jev známý jako ventaroly. Mikroklimatický režim systému vytváří vhodné podmínky pro druh *Targionia hypophylla* L., jejíž vývojová stádia jsou úzce vázána na cestu, sílu a směr proudění vzduchu puklinovým systémem. V roce 2012 byla borečka nalezena pouze v jedné z ventarol. Vegetační období borečky nastává při exhalacích teplého a vlhkého vzduchu v období chladného půlroku. Nejvyššího rozdílu teplot vzduchu a vzduchu exhalovaného bylo dosaženo v období silných mrazů v první polovině února 2012. Největší absolutní rozdíl 29,9 °C byl naměřen 3. 2. 2012.

*Klíčová slova: mikroklimatické podmínky, ventaroly, borečka vzácná, Boreč*

## **ÚVOD**

České středohoří vzniklo v důsledku třetihorní vulkanické činnosti, kdy reliéf krajiny vytvářejí především kopce a vrchy vyvřelých čedičů a znělců. Výškový gradient středohoří je od koryta Labe u Děčína 122 m n. m. do 837 m n. m. na vrcholu Milešovky. Vrch Boreč s nadmořskou výškou 446 m (N50 30.851 E13 59.322) patří do Milešovské části Českého

středohoří a do Lovošské vrchoviny. Těleso vrchu je protkáno sítí puklin vzniklých pnutím znělcového masivu v chladnoucí hornině. Svahy Borče jsou převážně na severní straně pokryté suťovými splazy vzniklými mrazovou erozí v průběhu čtvrtohor. Princip suťového fenoménu spočívá především ve specifickém mikroklimatu sutí. Zatímco povrch sutí podléhá teplotním výkyvům, prostředí uvnitř sutí je vlhčí a má vyrovnané teploty, takže může docházet k proudění vzduchu sutí a jeho exhalacím tzv. fumaroly resp. ventaroly /1/. V důsledku vysoké akumulací schopnosti masivu dochází k výdechům teplého a vlhkého vzduchu v zimním období. Kromě geologického aspektu je Boreč zajímavý svou faunou a flórou. Vyskytuje se zde několik chráněných rostlinných druhů v čele s borečkou vzácnou *Targionia hypophylla* L.

*Targionia hypophylla* L. je teplomilný druh, rozšířený v oblastech se středomořským či atlantským klimatem. V České republice se vyskytuje pouze na jediné lokalitě, kterou je vrchol Borče. Jedná se o relikv třetihorní flóry, který zde musel přežít dobu ledovou a udržuje se jen díky zcela výjimečným mikroklimatickým podmínkám, které jsou způsobeny prouděním vzduchu ventarolami. Podle /2/ byla horní vyústění ventarol uměle prohloubena, takže není možné říci, kde všude borečka původně rostla. V roce 1932 byla zdokumentována /3/ ve třech ventarolách, kde rostla dosti hojně. Totéž potvrzuje i /2/, jak v roce 1937, tak 1939, kdy pokrývala celé dno jedné z ventarol a bohatě fruktifikovala. Když se na lokalitu vrátil v roce 1945, borečka byla vzácnější a v roce 1956 na jaře, kdy prováděl hlavní výzkum, našel ventaroly skoro suché, bez proudění a poškozené – ze dna největší ventaroly byla vybrána suť, na které předtím borečka nejvíce rostla, zbývající porost měl cca 4 dm<sup>2</sup>. Pilous se domníval, že vyhynutí borečky bylo otázkou nejbližší budoucnosti a také /1/ zmiňuje, že byla borečka téměř vyhubena.

## MATERIÁL A METODA

Výzkum byl zaměřen na hodnocení teplotních poměrů a proudění vzduchu v puklinovém systému na vrchu Boreč. Do suťových splazů a vyústění ventarol byla instalována teplotní čidla PT100 a v hodinových intervalech byla měřena teplota vzduchu v puklinovém systému. Ambulantně ve vybraných termínech byla měřena rychlost a směr proudění vzduchu v puklinách anemometrem Stoppani. Současně byla měřena teplota vzduchu mimo puklinový systém ve výšce 2 m nad zemí v porostu dřevin. Z hodinových hodnot teploty vzduchu byla vypočítána průměrná denní teplota vzduchu.

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Pozorováním původních nalezišť na vrchu Boreč byl v roce 2012 zjištěn výskyt borečky v jednom z vyústění ventarol na ploškách řádově desítek cm<sup>2</sup>. Výskyt a vývojová stádia borečky jsou úzce vázána na proudění vzduchu puklinovým systémem. Změny v proudění znamenají nárůst či pokles poměrné vzdušné vlhkosti a teploty vzduchu, na který borečka velmi rychle reaguje (tab. 1, obr. 1). Puklinový systém vrchu Boreč má během roku několik rozdílných režimů cirkulace vzduchu. V prvním období teplota exhalovaných par pomalu klesá vlivem ochlazování horniny, exhalace jsou mírné a při poklesu rozdílu teplot, proudění ustává a teplotu uvnitř ventaroly ovlivňuje chladnější vzduch z okolí. V období silných mrazů je rozdíl teplot uvnitř a vně systému nejvyšší a proudění vzduchu směrem vzhůru je stabilní

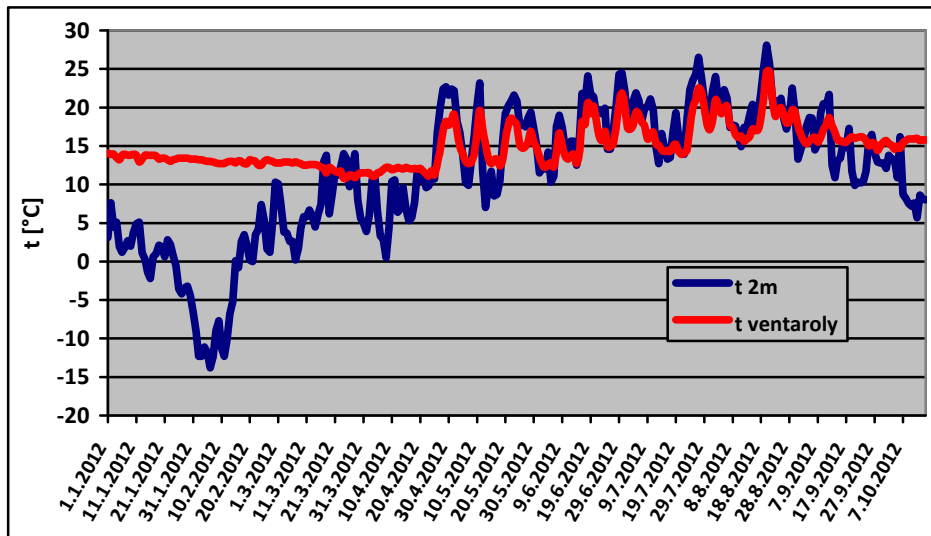
a exhalace jsou mohutné. Při vyrovnání teplot venkovního vzduchu s teplotou uvnitř kopce je směr proudění exhalací ovlivňován i mírnými výkyvy teploty ovzduší (bod zvratu je 14 – 16 °C). Při zvýšení teploty vzduchu nad tuto hodnotu je na vrcholu kopce vzduch nasáván, v nitru masivu ochlazován a vydechován v ledových jeskyních sut'ových splazů na severní straně. Mikroklimatický režim puklinového systému je stabilní v období od října do dubna a v tomto období nastávají vhodné podmínky pro vegetaci borečky vzácné. Borečka obrůstá (obr. 1b) v době, kdy je v jejím okolí vydechován teplý a vlhký vzduch a zároveň dochází ke kondenzaci vodní páry ve vyústění ventarol. K tomu dochází mimo vegetační období převážně většiny rostlinných druhů. Borečka vegetuje také v době, kdy potřebnou vláhu získává prostřednictvím atmosférických srážek. Hlavní vegetační období borečky je tedy od podzimu do jara. Vegetativní rozmnožování u tohoto druhu není známo a rozšíření v rámci lokality Borče je tedy vázáno na tvorbu samčích a samičích generativních orgánů tzv. antheridií a archegonií. V průběhu sledování nebyly tyto orgány borečky zjištěny. Během suchého a teplého počasí, kdy ventaroly na vrcholu masivu nasávají okolní vzduch, jsou stélky borečky seschlé a černé (obr. 1a).

Tab. 1: Záznam pozorování borečky vzácné.

Datum	Proudění		Teplota vzduchu [°C]		<i>Targionia hypophylla</i> L.
	v [m/s]	směr	2 m	ventaroly	
9.1.2012	2,47	výdech	2,0	13,8	vegetuje
5.2.2012	-	výdech	-11,8	13,0	vegetuje
28.3.2012	-	vdech	14,0	10,9	nenalezena
2.4.2012	0,94	výdech	6,0	11,5	stélky černé, vyschlé
13.4.2012	0,60	výdech	6,9	12,1	vegetuje
10.5.2012	1,02	vdech	20,4	16,9	stélky černé, vyschlé
3.7.2012	0,98	vdech	17,7	17,2	vegetuje (vlivem srážek)
14.7.2012	0,18	střídavé	16,6	14,5	vegetuje (vlivem srážek)
22.7.2012	0,00	-	13,9	14,1	stélky vysychají, ale stále zelené
26.7.2012	0,98	vdech	24,3	21,0	stélky černé, vyschlé
23.9.2012	0,42	výdech	10,3	16,1	většina vegetuje, část vyschlá
16.10.2012	1,58	výdech	8,4	16,2	vegetuje
3.11.2012	1,88	výdech	6,7	15,5	vegetuje

Tab. 1 obsahuje záznamy z pozorování borečky vzácné, je patrná její reakce na měnící se mikroklima lokality. V období teplého půlroku jsou stélky borečky tmavé a seschlé. Výjimkou jsou období s dostatkem srážek. Je zřejmé, že srážkově silně nadnormální červenec 2012 udržel borečku ve vegetačním stádiu. Úhrn srážek v Ústeckém kraji byl 129 mm, což je 189 % normálu. Průměrné denní teploty vydechovaného vzduchu ventarolami jsou v chladném období roku velmi stabilní a nezávislé na aktuálním stavu počasí. Jak je patrné z grafu 1., bylo největšího rozdílu teploty exhalovaného vzduchu a teploty vzduchu ve 2 m dosaženo v období silných mrazů v první polovině února 2012. Tyto silné mrazy neovlivnily teplotu vydechovaného vzduchu a teplotní rozdíl průměrných denních teplot vzduchu ve 2 m a vzduchu exhalovaného dosáhl maxima 26,8 °C dne 6. 2. 2012. Nejvyššího okamžitého rozdílu (29,9 °C resp. 29,5 °C) v teplotě vzduchu a exhalovaného vzduchu bylo dosaženo 3. 2. 2012 v 5:00, kdy teplota vydechovaného vzduchu byla u jedné z ventarol 13,4 °C

a u druhé 13,0 °C a teplota vzduchu ve 2 m byla -16,5 °C. /4/ uvádí teplotní rozdíl dne 9. 2. 1929 23 °C.



Graf 1: Průměrná denní teplota vzduchu ve 2 m a vzduchu exhalovaného ventarolami



a) 2. 4. 2012

b) 13. 4 2012

Obr. 1: Vegetační stádia borečky vzácné *Targionia hypophylla* L.

#### LITERATURA

- /1/ Kubát K.: Ledové jámy a exhalace v Českém středohoří II. Vlastivědný sborník Litoměřicko, Okresní muzeum Litoměřice, 8, 1971: 67-89.
- /2/ Pilous Z.: Mechorosty Borečského vrchu v Českém středohoří: příspěvek k výzkumu státní přírodní rezervace. Praha: Ochrana přírody, 1959: 97-99.
- /3/ Šimr J.: Vzácný přírodní úkaz v Českém středohoří, Ochr. Př. 12(2), 1957: 55-56.
- /4/ Šimr J.: Státní přírodní rezervace Borečský vrch. Vlastivědný sborník Litoměřicko, Okresní muzeum Litoměřice, 3-4, 1964: 41-45.

#### Poděkování

Uvedená práce vznikla za finanční podpory výzkumného záměru MSM 6046070901 a ve spolupráci s Agenturou ochrany přírody a krajiny České republiky Litoměřice.