

**Česká zemědělská univerzita v Praze**  
Fakulta lesnická a dřevařská  
Katedra pěstování lesa



**Klimatické poměry ve vybraných lokalitách v Jizerských horách  
v závislosti na terénní konfiguraci**

**Diplomová práce**

Autor: Bc. Ondřej Suchomel

Vedoucí práce: Ing. Martin Baláš, Ph.D.

©2022 ČZU v Praze



Česká zemědělská univerzita v Praze  
Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Autor práce:	Bc. Ondřej Suchomel
Studijní program:	Lesní inženýrství
Obor:	Lesní inženýrství
Vedoucí práce:	Ing. Martin Baláš, Ph.D.
Garantující pracoviště:	Katedra pěstování lesů
Jazyk práce:	Čeština
Název práce:	<b>Klimatické poměry ve vybraných lokalitách v Jizerských horách v závislosti na terénní konfiguraci</b>
Název anglicky:	<b>Climatic Conditions on Selected Locations in the Jizerské hory Mts. in Relation to Terrain Settings</b>
Cíle práce:	Cílem práce je vyhodnotit klimatické poměry ve vybraných lokalitách ve vyšších polohách Jizerských hor, zejména s ohledem na výskyt teplotních extrémů (mrazy ve vegetačním období) v závislosti na terénní konfiguraci.
Metodika:	Vypracujte stručnou rešerši na téma klimatické poměry horských oblastí se zaměřením na Jizerské hory. Zpracujte vedoucím poskytnutá teplotní data. Kromě běžných klimatologických charakteristik se zaměřte na dynamiku průběhu nočních teplot v závislosti na terénní poloze meteostanice (údolí, svah, hřeben) a umístění čidla (v různých výškách nad zemí). Rovněž proveďte základní analýzy teploty půdy, zejména s ohledem na promrzání. Získané výsledky diskutujte s dostupnou literaturou. Harmonogram: do X/2021: shromáždění literárních zdrojů a vypracování rešerše do I/2022: zpracování a vyhodnocení dat

do konce III/2022: odevzdání kompletní práce v předběžné verzi  
duben 2022: finální odevzdání práce

Doporučený rozsah práce: cca 50 stran, grafické přílohy dle potřeby

Klíčová slova: mrazové kotliny, pozdní mrazy, Jizerské hory, datalogery Comet

Doporučené zdroje informací:

1. Balcar V., Špulák O., Kacálek D., Kuneš I. (2012): Klimatické podmínky na výzkumné ploše Jizerka. II. – teplota, vítr a sluneční svit. Zprávy lesnického výzkumu, 57: 160–172.
2. Blennow K. (1998): Modelling minimum air temperature in partially and clear felled forests. Agricultural and Forest Meteorology, 91: 223–235.
3. Dy G., Payette S. (2007): Frost hollows of the boreal forest as extreme environments for black spruce tree growth. Canadian Journal of Forest Research, 37: 492-504.
4. Gallo J., Kuneš I., Baláš M., Nováková O., Drury M. L. (2014): Occurrence of frost episodes and their dynamics in height gradient above the ground in the Jizerské hory Mts. Journal of Forest Science, 60: 1: 35–41.
5. Geiger R. (1950): The Climate Near the Ground. Cambridge, Harvard University Printing Office: 482.
6. Jůza P., Starostová M., Sklenář K. (2011): Naměřená minima teploty vzduchu na vybraných horských stanicích v Čechách. Meteorologické zprávy, 64: 10-17.
7. Lindkvist L., Lindqvist S. (1997): Spatial and temporal variability of nocturnal summer frost in elevated complex terrain. Agricultural and Forest Meteorology, 87: 139-153.
8. Slodičák M. et al. (2009): Lesnické hospodaření v Jizerských horách. Lesy ČR, Hradec Králové; VÚLHM, Jíloviště-Strnady, 232 s.

Předběžný termín obhajoby: 2021/22 LS – FLD

Konzultant: Ing. Josef Gallo, MSc.

Elektronicky schváleno: 27. 4.  
2021  
**doc. Ing. Lukáš Bílek, Ph.D.**  
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 26. 7.  
2021  
**prof. Ing. Róbert Marušák,**  
**PhD.**  
Děkan

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Klimatické poměry ve vybraných lokalitách v Jizerských horách v závislosti na terénní konfiguraci“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Martina Baláše, Ph.D., a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č.1111/1998 Sb., o vysokých školách, v platném znění, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne .....

.....

Bc. Ondřej Suchomel

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval panu Ing. Martinu Balášovi, Ph.D., za vedení této diplomové práce, za jeho rady, připomínky a doporučení. A hlavně mé rodině a přátelům za dlouhodobou podporu během mého studia. Děkuji.

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na rozdílnost v teplotních poměrech na vybraných lokalitách v Jizerských horách. Rozdíly v teplotách jsou pro jednotlivé lokality dány terénní konfigurací. Zkoumané lokality se nacházeli v údolích, na svazích a hřebeni Jizerky.

Na těchto lokalitách byly zřízeny dataloggery teplot. Každý datalogger byl vybaven čtyřmi čidly a zaznamenával teploty každou hodinu. Z nasbíraných dat byly zkoumány mrazové noci během vegetačního období.

Nejnižší počet mrazových nocí se vyskytoval na lokalitách, jež se nacházeli na svahu. Naopak nejvíce mrazových nocí bylo zaznamenáváno na lokalitách v údolích. Čidla, jež byla umístěna pod zemí nezaznamenala během vegetačního období žádné mrazové noci.

**Klíčová slova:** mrazové kotliny, pozdní mrazy, Jizerské hory, dataloggery  
Comet

## **Abstract**

The diploma thesis is focused on the difference in temperature conditions in selected localities in the Jizera Mountains. Differences in temperatures are given for individual localities by terrain configuration. The investigated localities were located in the valley, on the slopes and the Jizera ridge.

Temperature data loggers have been set up at these sites. Each data logger was equipped with four sensors and recorded temperatures every hour. From the collected data were examined frost nights during the growing season .

The lowest number of frost nights occurred in localities that were located on a slope. On the other side most frost nights were recorded in localities in the valley. Sensors that were placed underground did not detect any frost nights during the growing season.

**Key words:** frost basin, late frosts, Jizera mountains, dataloggers Comet

## Obsah

1.	Úvod.....	11
2.	Cíl Práce .....	12
3.	Literární rešerše .....	13
3.1.	Jizerské hory.....	13
3.2.	Variabilita klimatu.....	17
3.3.	Globální oteplování .....	17
3.4.	Teplotní extrémny .....	18
3.5.	Teplota země a vzduchu.....	20
3.6.	Radiační bilance.....	21
3.7.	Mrazové kotliny .....	22
4.	Metodika.....	26
4.1.	Zájmová oblast .....	26
4.2.	Čidla .....	28
4.3.	Zpracování dat .....	31
5.	Výsledky .....	33
5.1.	2009 .....	33
5.2.	2010 .....	36
5.3.	2011 .....	41
5.4.	2012 .....	45
5.5.	2013 .....	50
5.6.	2014 .....	55
5.7.	Meziroční porovnání.....	60
6.	Diskuse .....	62
7.	Závěr.....	65
8.	Zdroje .....	66



## Seznam obrázků

Obrázek 1 – Poloha Jizerských hor.....	13
Obrázek 2 – Mapa CHKO Jizerské hory .....	16
Obrázek 3 – Legenda k mapě CHKO.....	16
Obrázek 4 – Porovnání teplot.....	20
Obrázek 5 – Porovnání teplot.....	21
Obrázek 6 – Poškození smrku mrazem .....	24
Obrázek 7 – Poškození výhonů mrazem .....	24
Obrázek 8 – Tabulka lokalit.....	26
Obrázek 9 – Lokalizace jednotlivých dataloggerů .....	27
Obrázek 10 – Ilustrační snímek meteostanice v lokalitě Český vrch .....	28
Obrázek 11 – Poškozená meteostanice .....	30
Obrázek 12 – Poškozený kabel .....	30
Obrázek 13 – Ulomený držák čidla .....	31

## Seznam tabulek

Tabulka 1 – Naměřené hodnoty 2009.....	34
Tabulka 2 – Naměřené hodnoty 2010.....	38
Tabulka 3 – Naměřené hodnoty 2011.....	42
Tabulka 4 – Naměřené hodnoty 2012.....	47
Tabulka 5 – Naměřené hodnoty 2013.....	52
Tabulka 6 – Naměřené hodnoty 2014.....	57
Tabulka 7 – Průměrné hodnoty.....	61

## Seznam grafů

Graf 1 – Mrazová epizoda 8. – 9. září 2009.....	34
Graf 2 – Teploty 2009 .....	35
Graf 3 – Mrazová epizoda 27. – 28. května 2010.....	39
Graf 4 – Teploty 2010 .....	40
Graf 5 – Mrazová epizoda 5. – 6. května 2011 .....	43
Graf 6 – Teploty 2011 .....	44
Graf 7 – Mrazová epizoda 5. – 6. června 2012 .....	48
Graf 8 – Teploty 2012 .....	49

Graf 9 – Mrazová epizoda 18. – 19.května 2013.....	53
Graf 10 – Teploty 2013 .....	54
Graf 11 – Mrazová epizoda 2. – 3. května 2014.....	58
Graf 12 – Teploty 2014 .....	59

## 1. Úvod

Tato diplomová práce je zaměřena na klimatické poměry na vybraných lokalitách v Jizerských horách. V závislosti na terénní konfiguraci dochází ke vzniku specifických podmínek, které ovlivňují místní mikroklima. Proto je v této práci sledováno celkem 15 lokalit, které se nacházejí v údolí, na svahu nebo hřebeni v okolí osady Jizerka. Na daných lokalitách jsou zaznamenávány teploty pomocí dataloggerů se čtyřmi čidly. Zájmovým obdobím je období vegetační, které bylo pro účely této práce definováno od 30.4. do 1.10. V tomto období byl od roku 2009 do roku 2014 pro jednotlivé lokality zjišťován počet mrazových nocí a jejich intenzita.

Diplomová práce má za cíl objasnit vliv terénní konfigurace na mikroklima stanoviště. Ze získaných dat lze následně zjistit, jak je lokalita náchylná na vznik mrazových nocí, jak dlouho mrazy v noci trvají a jakých nejnižších teplot dosahují. Získaná data mohou sloužit k výzkumu poškození lesních dřevin, či vůbec k možnostem pěstování lesních dřevin na určitých lokalitách. Změna půdního krytu totiž může mít za následek zlepšení mikroklimatu a snížení počtu mrazových nocí.

Vyhodnocením dat získáme informace o vhodnosti jednotlivých lokalit pro možné další výzkumy z oblasti pěstování a ochrany lesa. Získáme možnost zjištěné informace porovnávat s jinými lokalitami a zlepšit tím péči o ohrožené lokality vzniklé například kalamitou.

## **2. Cíl Práce**

Cílem práce je vyhodnotit klimatické poměry ve vybraných lokalitách ve vyšších polohách Jizerských hor, zejména s ohledem na výskyt teplotních extrémů (mrazy ve vegetačním období) v závislosti na terénní konfiguraci.

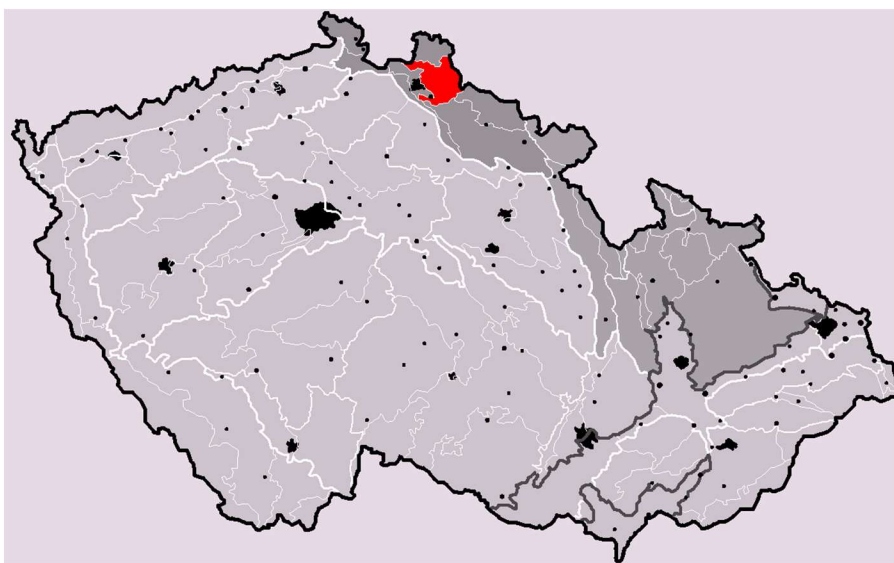
### 3. Literární rešerše

#### 3.1. Jizerské hory

Po dlouhou dobu byly Jizerské hory považovány za západní výběžek Krkonoš a nebyly příliš zkoumány. Tento fakt může být způsoben určitou odlehlostí a nepřístupností lokality v minulosti (Vonička, 2008).

V současné době jsou Jizerské hory uváděny jako nejsevernější pohoří České republiky a svou východní částí zasahují až do Polska. Charakter české oblasti je velmi různorodý, nadmořské výšky se zde pohybují od 350 do 1 124 m n. m. Nejvyšším vrcholem české části je Smrk s nadmořskou výškou 1 124 m a druhým nejvyšším vrcholem je Jizera s nadmořskou výškou 1 122 m. Na českém území se Jizerské hory rozkládají na zhruba 417 km<sup>2</sup>, z nichž má více než 200 km<sup>2</sup> nadmořskou výšku 800 m n. m. (Vonička, Višňák, 2008).

Díky své různorodé terénní konfiguraci rozdělují Jizerské hory rozvodí mezi Severní a Baltské moře. Voda ze severozápadní části proudí do Odry, která se vlévá do Baltského moře. Naopak voda z východní části odtéká do Labe a díky tomu se vlévá do moře Severního. Zároveň v Jizerských horách pramení několik významnějších vodních toků, například do Odry se vlévá Lužická Nisa a Smědá, zatímco do Labe Jizera s jejím přítokem Kamenicí (Vonička, Višňák, 2008).



Obrázek 1 – Poloha Jizerských hor

Poloha Jizerských hor (červeně zvýrazněné) v rámci ČR (dostupné z [https://cs.wikipedia.org/wiki/Jizersk%C3%A9\\_hory](https://cs.wikipedia.org/wiki/Jizersk%C3%A9_hory), 2021)

### 3.1.1. Podnebí

Podnebí Jizerských hor je velmi ovlivněno vlhkým oceánským prouděním. Následkem tohoto proudění je chladné klima a jedny z nejvyšších úhrnů srážek v České republice. Ve 20. století neklesal průměrný roční úhrn srážek pod 1000 mm. Během vegetačního období, které zde probíhá od dubna do září, se uvádí průměrný úhrn srážek kolem 650 mm. V současné době jsou úhrny mírně nižší. Sněhová pokrývka se většinou vyskytuje od začátku listopadu až do dubna, přičemž průměrně dosahuje maximální výšky kolem 120 cm. Průměrné teploty z první poloviny 20. století v rámci Jizerských hor jsou velmi rozmanité od 4 °C v nejvyšších polohách až po 8,5 °C v podhůří. Průměrná teplota v druhé polovině 20. století je 5,8 °C. Během vegetačního období se průměrná teplota dostává dokonce k teplotě 10,8 °C. Od této doby průměrné teploty stouply zhruba o 1 °C a některé měsíční průměry vykazují oteplení o více než 2 °C (Slodičák, 2009).

Vzhledem ke svému chladnému a vlhkému podnebí jsou Jizerské hory, a zejména jejich hřebenové polohy na rozmanitost vegetace poměrně chudé. Dalším výrazným faktorem, který omezuje druhovou variabilitu ve sledovaném území, je značná kyselost půd s nízkým množstvím živin. Mezi hlavní druhy přirozeně se vyskytujících dřevin patří smrk ztepilý (*Picea abies*), buk lesní (*Fagus sylvatica*) a jedle bělokorá (*Abies alba*) (Vonička, Višňák, 2008). V přimíšeném zastoupení zde mají přirozený výskyt i další dřeviny – jeřáb (*Sorbus*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jilm horský (*Ulmus glabra*), olše šedá (*Alnus incana*), v nižších polohách i olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), jasan ztepilý (*Fraxinus excelsior*) a lokálně borovice kleč (*Pinus mugo*).

Zároveň se v Jizerských horách nachází mnoho rašelinišť, která jsou specifickým ekosystémem ve střední Evropě s výrazně nízkou hladinou pH. Tyto lokality jsou svou charakteristikou velmi málo úživnou a nehostinnou krajinou (Štěpánková, 2008).

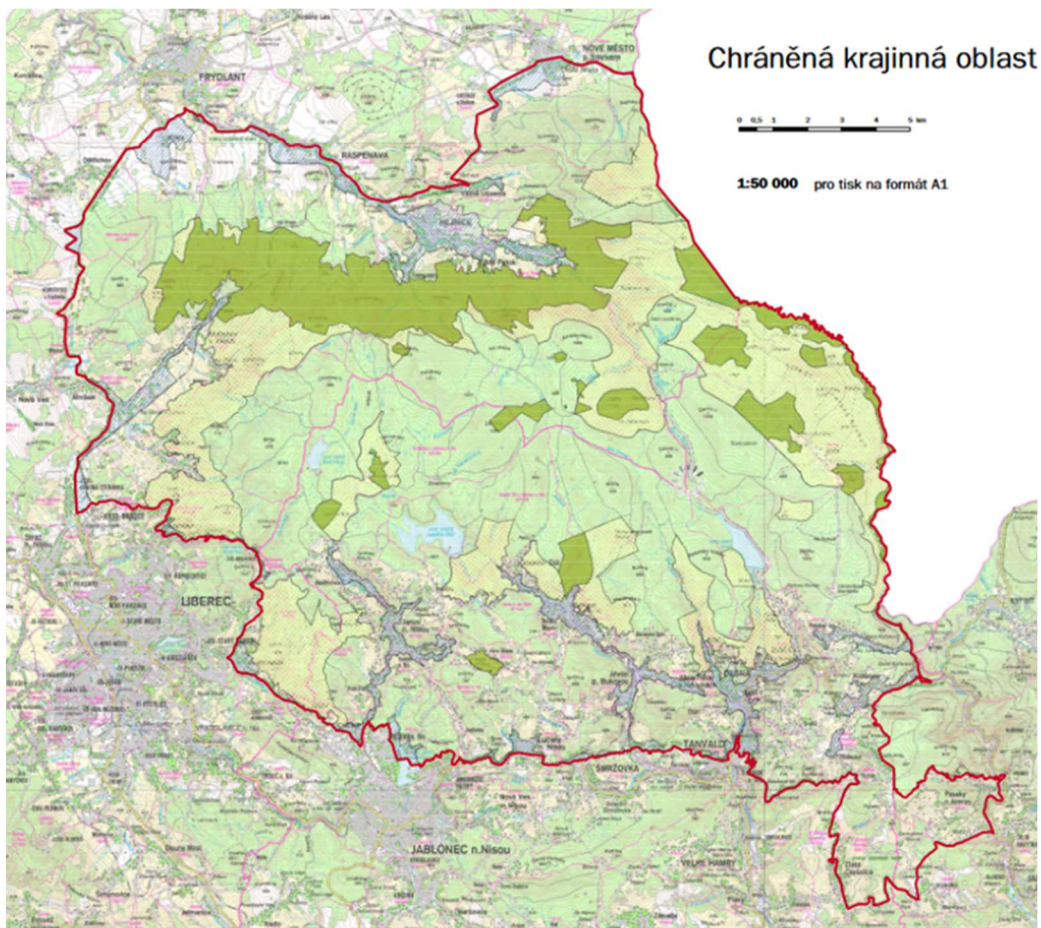
### 3.1.2. Imisní škody a CHKO

V druhé polovině 20. století začaly lesy na některých místech v České republice odumírat vlivem imisí. Celkově na území České republiky odumřelo více než 100 tisíc ha. Jizerské hory byly jednou z nejvíce zasažených oblastí. První zmínky o poškození jsou z roku 1958. V 60. letech byly Jizerské hory zasaženy větrnou kalamitou, a tak nebyl na imise kladen takový důraz. Škody způsobené imisemi však výrazně vzrostly v 70. a 80. letech, kdy vzniklo více než 12 tisíc ha holin. Od 90. let dochází k výraznému snížení imisí, čímž jsou zmírňovány škody na únosnou mez, při které nedochází k plošnému odumírání dřevin (Lomský, 2012).

Proto v roce 1968 vláda zřídila Chráněnou krajinnou oblast Jizerské hory. CHKO byla založena s účelem zachování jedinečných přírodních prvků. V roce 1978 byla tato oblast vyhlášena nařízením vlády Chráněnou oblastí přirozené akumulace vod Jizerské hory za účelem podpory ochrany vod a půdy (Křeček, 2001).

Tato CHKO se rozkládá na Jizerských horách včetně okolních podhůří, jedinou výjimkou je Černostudniční hřeben. Hranice jsou tvořeny okolními městy, která se rozkládají v údolích, např.: Liberec, Jablonec nad Nisou, Frýdlant, Tanvald atd. Celkově CHKO zaujímá plochu o velikosti zhruba 368 km<sup>2</sup>. Dominantou CHKO jsou lesy, které zabírají zhruba 73 % z celé plochy.

Dnes jsou na tomto území znatelné velmi výrazné kontrasty. Jednou stranou mince jsou porosty poškozené imisemi a v některých případech rozsáhlé stejnověké porosty vzniklé na imisních holinách, které se nacházejí zejména na náhorních plošinách. Na druhé straně mince se však nacházejí oblasti, které jsou velmi vzácné. Jsou zde přirozená buková stanoviště na severním svahu, klimaxové smrčiny a rozsáhlá rašeliniště (AOPK ČR, 2021).

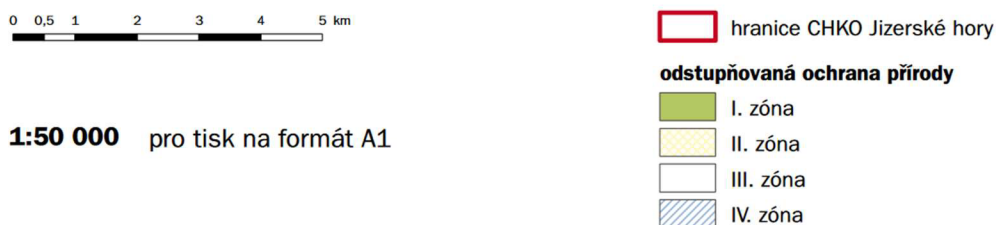


Obrázek 2 – Mapa CHKO Jizerské hory

(Dostupné z

<https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/res/archive/132/017480.pdf?seek=1377771257,2021>)

## Chráněná krajinná oblast Jizerské hory, zonace



Obrázek 3 – Legenda k mapě CHKO

(Dostupné z

<https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/res/archive/132/017480.pdf?seek=1377771257,2021>)



### **3.2. Variabilita klimatu**

Klima je pozorováno od nepaměti. Klima bylo spolu s půdními podmínkami a dalšími faktory zásadní charakteristikou pro výběr lokalit vhodných pro výstavbu měst, farmaření a další různé činnosti. Vhodný výběr místa je pro lidstvo zásadní, jelikož to utváří osobnost jednotlivých lidí, má to vliv na jejich chování a náladu (Stehr, 1999).

Z tohoto důvodu je již dlouhou dobu studována variabilita klimatu. Během studia bylo zjištěno, že uvnitř většího území může docházet k různým anomáliím, které tím ovlivňují vývoj klimatu svého okolí.

Střet těchto anomálií s obecným topoklimatem může způsobit povětrnostní situace, které mohou být ohrožením pro společnost i životní prostředí. Tyto anomálie jsou ovlivňovány geomorfologií místa, na kterém vznikají, původním klimatem tohoto místa, a také antropogenními vlivy. Lidská činnost mnohdy nenávratně přetváří krajinu, a to má své následky. Výstavba měst, odlesňování pro zemědělskou půdu, doprava i produkce energie zanechává na klimatu své stopy.

Což je do značné míry problematické, jelikož každý druh krajiny má své různé specifikace. Například lesní porosty snižují dopadající sluneční záření, tudíž dochází ke snížení teploty. Taktéž lépe zadržují srážky a snižují rychlost proudění větru. Zatímco na polích dochází k častému přehřátí půdy z důsledku velké plochy, která propouští záření až k půdě a není schopna teplotu regulovat. V důsledku chemických postřiků tato půda není schopna zadržovat vyšší množství vody a vznikají záplavy (Vysoudil, 2009).

### **3.3. Globální oteplování**

Jak je napsáno výše, lidská činnost může měnit klima. Tyto změny jsou celkově označovány jako globální oteplování. Mezi nejvíce problémové činnosti patří spalování fosilních paliv, mezi které patří uhlí, plyn a ropa. Velmi vážným problémem je také přílišné odlesňování. Lidstvo tímto způsobem vytváří velké množství skleníkových plynů, které přetrvávají v atmosféře. Tyto plyny pak zadržují infračervené záření, které vyzařuje zemský povrch. Takto zadržené

záření způsobuje ohřev zemského povrchu a udržuje nepřírozeně vyšší teploty. Tyto jevy následně způsobují celosvětovou změnu klimatu (Houghton, 2005).

V současné době je na vzestupu oxid uhličitý. Jedná se o skleníkový plyn, jenž se řadí mezi ty méně účinné, ale jeho emise jsou tak vysoké, že se nepředpokládá zpomalení oteplování. Podle nejnovějších průzkumů pokračuje trend stoupaní emisí rychlým tempem, z čehož se odvozuje, že se nepodaří udržet oteplování pod hranicí 2 °C oproti předindustriálnímu období. Aby bylo možné udržet tuto hranici, muselo by dojít k rychlému a významnému přechodu na čisté emise. Přechod by však musel proběhnout v dlouhodobém a trvalém režimu po celé planetě (Peters, 2012).

Oxid uhličitý se řadí mezi plyny, které mají v atmosféře dlouhou dobu setrvání (až desítky let) díky své stabilitě a schopnosti promíchání. Naopak metan patří do skupiny plynů, jež se průběžně rozkládají a v atmosféře setrvávají maximálně v jednotkách let. Hladiny jednotlivých plynů se však dají snadno kontrolovat (Braniš, 2009).

### **3.4. Teplotní extrémny**

Z důvodu globálního oteplování začalo rozsáhlé zkoumání teplot. Kromě sledování průměrných teplot jsou vyhodnocovány i teploty extrémní neboli maximální a minimální hodnoty v roce či daném časovém úseku (Rencová, 2004).

Extrémně se počasí projevuje v podstatě napříč celou planetou. Tyto jevy mohou výrazně ovlivnit celou lidskou populaci. Z globálních i regionálních výstupů modelů bylo zjištěno, že k extrémním projevům počasí může docházet mnohem častěji a budou silnější (Beniston, 2007).

Abychom mohli zamezit škodám, které způsobují extrémní výkyvy počasí, musíme nejdříve znát všechny faktory, kterými jsou tyto jevy způsobeny. Ze zkoumání zjistíme chování takovýchto jevů a můžeme zavést opatření, která budou fungovat (Polášek, 2012).

Tato data jsou významná, protože teplota je jedním z nejdůležitějších vnějších vlivů, jež ovlivňují růst rostlin, ale i jiných organismů. Zvyšování průměrné teploty může mít vliv na produkci rostlin, ale teplotní výkyvy

a nenadálé extrémy mohou být pro rostliny fatální. Všechny organismy mají své adaptační strategie, které se dají použít za přirozených podmínek. V případě náhlých změn však organismy nejsou schopny tyto strategie uskutečnit (Hatfield, 2015).

Jedním z důvodů vzniku teplotních extrémů může být změna půdního krytu. Pokud proběhne odlesňování, těžba, zastavění atd., dojde ke změně místních podmínek, které utvářejí místní klima. Změna klimatu může mít neblahý vliv na vývoj okolní vegetace a její následné odumírání. Následkem takovéto situace může být mineralizace půdy a následné vyplavování živin (Avila, 2012).

Zároveň mohou mít změny ve využívání půdy řadu účinků na hydrologii celého povodí. Pokud se zvětší nepropustná povrchová plocha, tak může dojít ke snížení infiltrace a zvýšení odparu. Během odpařování dochází ke přeměně skupenství a stoupající vodní pára odnáší teplo s sebou. Tudíž díky odpařování dochází k výraznému ochlazení stanoviště (Herb, 2008).

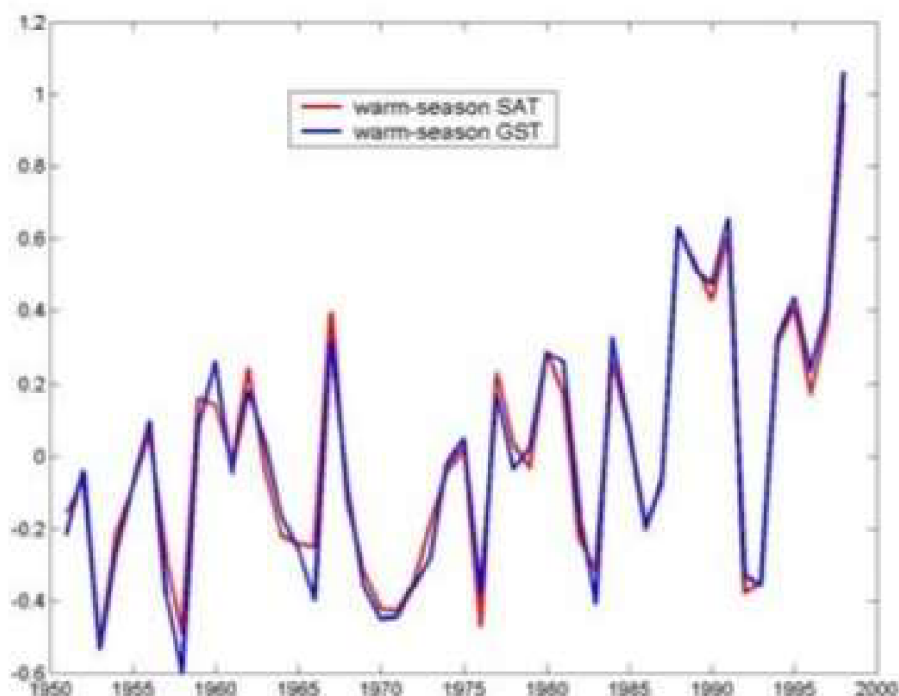
Při meteorologických měřeních jsou nejčastěji meteostanice umístěny ve městech nebo jejich okolí. Hustá zástavba a materiály použité v okolí značně ovlivňují výsledky jednotlivých měření. Umělé povrchy se ohřejí výrazně dříve a o více stupňů než povrchy pokryté vegetací. Následně pak tyto rozehráté plochy ovlivňují teplotu vzduchu v okolí. Takováto měření značně pozměňují celkové klimatologické výsledky pro danou lokalitu. Tento jev je obecně označován za „tepelný ostrov velkoměsta“ a hranice ovlivněné lokality je totožná s hranicemi dané zástavby (Knozová, 2018).

Z naměřených dat bylo zjištěno, že se země ohřívá nejrychleji za 500 let a přináší to svá úskalí. V důsledku změn teplot a dalších meteorologických prvků dochází ke vzniku suchých a vlhkých období. Vlhká období s sebou přinášejí výrazné úhrny srážek, které půda není schopna za tak krátký čas pojmout a následně může docházet ke zvýšení hladin vodních toků. Toto kolísání se následně odráží na dostupnosti půdní vláhy (Čermák, 2014).

### 3.5. Teplota země a vzduchu

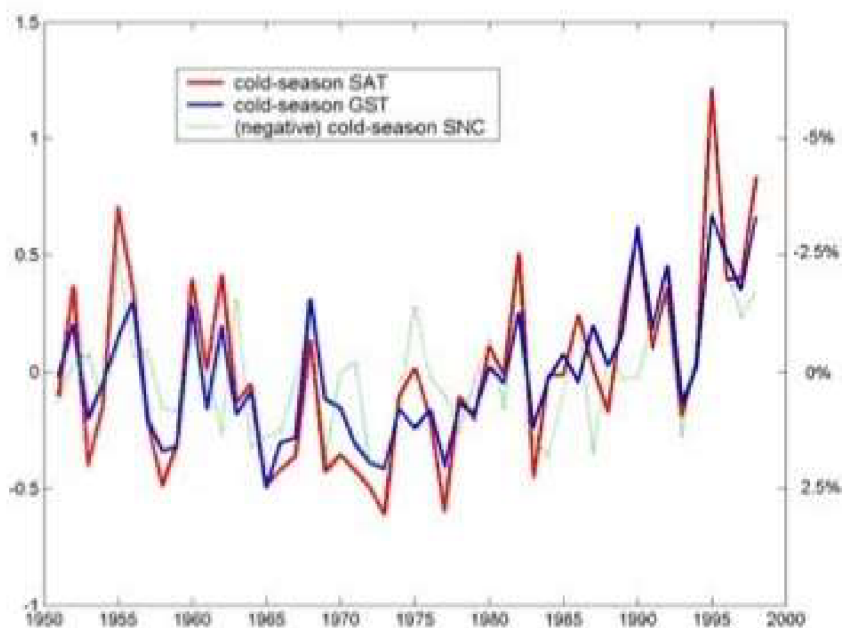
Meteorologická pozorování obecně potvrzují, že obvykle existuje výrazný rozdíl mezi teplotou země a vzduchu. Rozdíly v teplotách jsou ovlivňovány mnoha různými faktory. V zimních měsících má výrazný vliv sněhová pokrývka, která v podstatě uzavírá povrch země od vnějších vlivů a tvoří aktivní povrch, ze kterého probíhá vyzařování tepla. Na jaře a na podzim je teplota zemského povrchu vystavena vlivu přízemních mrazíků. V letních měsících je hlavním faktorem vegetační pokryv, který může ovlivnit ohřev půdy. Ale hlavně jsou půdním pokryvem ovlivněny radiční vlastnosti povrchu a odpar vody. Dalšími faktory mohou být ranní rosa, vítr, expozice, hladina podzemní vody, rychlost rozmrzání půdy, struktura a druh půdního pokryvu (Pollack, 2005).

Během období dlouhodobého oteplování povrchu a odtávání sněhu v chladnějších měsících je průměrné navýšení teploty zemského povrchu o 0,2 °C nižší než u teploty vzduchu. Tento jev je důsledkem schopnosti sněhu odrazet sluneční záření více než jiné povrchy. Dále má sníh výborné izolační schopnosti a má značnou spotřebu tepla při změně skupenství (Mann, 2003).



Obrázek 4 – Porovnání teplot

Porovnání teplot vzduchu (červená) a povrchu země (modrá) ve °C v teplých obdobích 2. poloviny 20. století (Mann, 2003)



Obrázek 5 – Porovnání teplot

Porovnání teplot vzduchu (červená) a povrchu země (modrá) ve °C v chladných obdobích 2. poloviny 20. století, zároveň je zde procentuálně znázorněn vliv sněhu na změnu teplot (zeleně) (Mann, 2003)

### 3.6. Radiační bilance

Radiační bilance je jeden z nejzásadnějších faktorů, jež ovlivňuje počasí z hlediska mikro-, mezo- a makroklimatu. Nejčastěji bývá definována jako výsledek opačných toků energie. První tok přichází k tělesu a druhý tok naopak odchází. Přicházející energie je z určité části tělesem absorbována, a tak dochází k jeho ohřevu. Naopak odcházející tok energii odčerpává a těleso je tímto ochlazováno. Ohřev a ochlazování zemského povrchu pak ovlivňuje změny v počasí (Klabzuba, 2008).

Jedná se především o množství krátkovlnného a dlouhovlnného slunečního záření, které na zemský povrch dopadá anebo se od něho odráží. Toto množství je ovlivňováno různými faktory. Pro dlouhovlnné záření jsou ovlivňujícím faktorem meteorologické podmínky a vlastnostech ozařované oblasti. Krátkovlnné záření je ovlivňováno denní dobou, ročním obdobím a geografickými podmínkami (Marková, 2002).

Úhrn noční bilance je dost rozdílný od bilance denní. Přes noc totiž nedochází k dopadu slunečního záření, a tím dochází ke změně tepelných poměrů. V noci zemský povrch naopak vyzařuje teplo a rychle se ochlazuje. Díky tomuto záření je teplota vzduchu vyšší než teplota povrchu země. Stejně tak je vyšší teplota ve větších hloubkách v půdě. Půda zároveň vede teplo z hlubších vrstev k povrchu, odkud je následně vyzářeno. Tento proces udržuje vyrovnanou teplotu na povrchu půdy a je více účinný při vyšší vlhkosti půdy díky zvýšené tepelné vodivosti. Odchozí teplo nemusí být vyzářeno, ale může být spotřebováno prostřednictvím kondenzace vodní páry na rosu. Během kondenzace se vytváří latentní teplo a dochází k ohřevu povrchu, respektive je zpomalováno jeho ochlazování (Vysoudil, 2013).

Pro radiální ochlazování je potřeba slabý vítr nebo naprosté bezvětří nad povrchem. Pokud však dochází k promíchávání vzduchu silnějším větrem nevznikají radiální mrazy, jelikož silnější proudy vzduchu odnášejí chladný vzduch. Díky tomuto jevu dochází ke zvyšování minimálních nočních teplot. Během dne je vliv silného větru opačný a je snižována maximální denní teplota, protože dochází k promíchávání teplého a chladného vzduchu (Kopáček, 2005).

### **3.7. Mrazové kotliny**

Mrazové kotliny jsou různé prohlubně či údolí a dochází zde k častým přízemním mrazům v průběhu vegetačního období. Energie, která se vyzařuje ze zemského povrchu, způsobuje jeho ochlazování. Tím dochází k ochlazování nejsvrchnější vrstvy povrchu (tzv. radiálně aktivní povrch). Následně se od povrchu ochlazuje vzduch. Tyto mrazy jsou ovlivňovány klimatem, vegetací, topografií a v dlouhodobém měřítku také odvodňováním půdy. Pokud se nám sejdou tyto vlivy, může nám vzniknout záporná energetická bilance, jenž znatelně prohloubí pravděpodobnost vzniku nočního mrazu (Langvall, 2001).

Nejčastěji se noční mrazy objevují za jasných nocí, kdy současně nedochází k velkému pohybu vzduchu. Jasná a bezvětřná noci jsou nejdůležitějším faktorem, protože se vzduch rozvrství a chladné vrstvy zůstávají těsně nad zemským povrchem. Pokud se na obloze vyskytuje oblačnost, tak dochází k odražení tepelného záření zpět k zemi a mezi povrchem země a vrstvou

oblaků se vytváří skleníkový efekt, jenž ohřívá vzduch. Stejně jako oblačnost funguje i lesní porost, který nepropouští tepelné záření vzhůru a vrací ho zpět k zemi. Teplota vzduchu je tudíž závislá na hustotě lesa a zápoji jednotlivých korun (Dy, Payette, 2007).

Zároveň je důležitá půdní vlhkost. Mnohem vyšší pravděpodobnost vzniku mrazů je na půdách s nižší vlhkostí. Vyšší obsah vody totiž zvyšuje výpar a vodivost tepla v půdě. Vlhké půdy jsou totiž schopné během dne akumulovat větší množství energie ze slunce, a navíc jsou schopné tuto energii v noci déle udržet. Vyšší výpar znamená větší množství latentního skupenského tepla a tím zpomaluje ochlazování. Zároveň může dojít ke vzniku přízemní mlhy, čímž dochází k dalšímu zpomalení ochlazování (Geiger, 2003).

Pro vznik mrazových kotlin je zásadním faktorem členitá topografie. V prohlubních a údolích se hromadí masy studeného vzduchu. Tím, jak se vzduch ochlazuje kontaktem s půdou, tak houstne a stává se těžším. Tomuto jevu se říká katabatické proudění. Toto proudění se pohybuje především po svahu a vyplňuje konkávní prohlubně studeným vzduchem a vytváří tak mrazové kotliny (Geiger, 2003).

Stručně řečeno, optimální podmínky pro vytváření radičního mrazu na povrchu půdy zahrnují klidné a jasné noci, krajinu s minimem lesních porostů, dobře odvodněnou půdu a konkávní topografii (Dy, Payette, 2007).

Takovéto výkyvy teplot, a hlavně nízké teploty, jsou v průběhu vegetačního období, velmi nebezpečné pro přežití a růst dřevin. Z jehličnatých dřevin je na výkyvy citlivá jedle, naopak smrk a borovice jsou výrazně odolnější. Listnaté dřeviny jsou citlivé téměř všechny, obzvláště buk. Výjimku tvoří břízy, které jsou k mrazům velmi odolné. Pěstování lesa v takovýchto oblastech může být značně náročné, jelikož i odolný sadební materiál nemusí zvládnout opakovaný stres a poškození. Již několik stupňů pod bodem mrazu dokáže způsobit odumírání, poškození či pozastavení růstu rostliny. Mráz ovlivňuje semenáčky, sazenice a mladé stromky minimálně do věku 20 let (Lindqvist, Lindqvist, 1997).



Obrázek 7 – Poškození výhonů mrazem

*Ilustrační fotografie poškození smrku ztepilého. (Autor: Baláš, 2016)*



Obrázek 6 – Poškození smrku mrazem

*Ilustrační fotografie poškození smrku ztepilého. (Autor: Baláš, 2016)*



Nejnebezpečnější pro jehlice a listy jsou mrazy v jarních měsících, kdy nejsou asimilační orgány zcela vyzrálé. Ve většině případů se jedná o květen, ale ve vyšších polohách je vegetační doba posunuta a je kratší, tudíž zde dochází k poškození i v červnu. V horských polohách ve střední Evropě může dojít k mrazům v průběhu celého vegetačního období. Mezi tyto výjimky patří právě Jizerské hory, které jsou pro své hřebeny s plochým reliéfem a mělkými údolími ideální ke vzniku mrazových kotlin. Jedna z nejvýraznějších mrazových kotlin se nachází na lokalitě Jizerka (Gallo, 2014).

Nad touto lokalitou byla na hřebeni v roce 1990 založena výzkumná plocha, která byla založena v oblasti postižené holosečí, která probíhala v návaznosti na silné imisní poškození smrkové monokultury. Na dané lokalitě bylo vysázeno okolo 30 druhů dřevin. Na těchto dřevinách bylo zjišťováno, jak reagují na jednotlivé stresy typické pro výzkumnou plochu. Tento výzkum byl zacílen na možnosti obnovy porostů v horských podmínkách, kde se vyskytuje vrcholový fenomén. Byly zde zjištěny známky poškození především na čerstvých výhoncích (Balcar, 2012).

Naopak v mrazovém údolí byla v roce 2007 založena plocha s výsadbou jeřábu ptačího (*Sorbus aucuparia*) a v letech 2008–2009 byla vedlejší plocha osázena břízou pýřitou (*Betula pubescens*). Cílem těchto ploch je vytvořit porost z přípravných dřevin, které pomůžou připravit podmínky pro výsadbu lesa složeného z cílových dřevin – smrk ztepilý, jedle bělokorá a javor klen (Skibková, 2018).

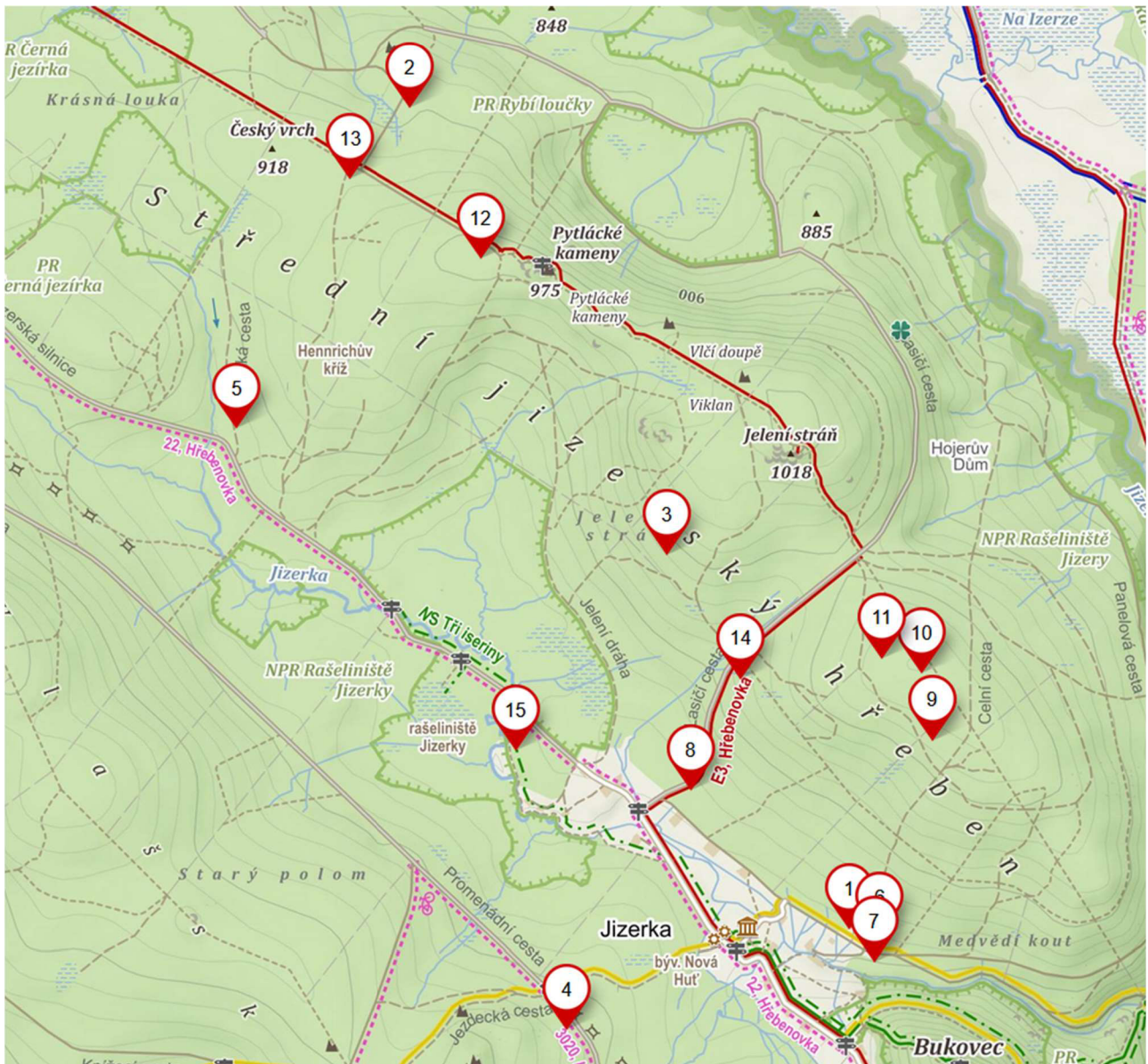
## 4. Metodika

### 4.1. Zájmová oblast

Od roku 2009 do roku 2014 byly v oblasti Jizerka postupně v 15 lokalitách rozmístěny datalogery k zaznamenávání teplot. Jako datalogery byly použity čtyřkanálové teploměry Comet S 0141, každý se čtyřmi sondami Pt 1000. Čidla jsou umístěna pod plastovým radičním krytem, který zabraňuje přímému oslunění čidla a chrání jej před deštěm, ale umožňuje volné proudění vzduchu kolem čidla. Datalogery a čidla jsou ve správě Fakulty lesnické a dřevařské České zemědělské univerzity v Praze. V roce 2009 byly uvedeny do provozu první dvě lokality a další tři byly umístěny v roce následujícím. Nejvíce lokalit bylo zřízeno v roce 2012, kdy došlo k zprovoznění osmi datalogerů. Poslední dvě stanoviště jsou v provozu až od roku 2014.

lokality	č. přístroje	GPS [lat]	GPS [long]	datum instalace	nadmořská výška	poloha
Panelka	1	N50°49.162'	E15°21.096'	2009-08-20	860	údolí
Jelenka	2	N50°50.933'	E15°19.596'	2009-09-03	895	údolí/svah
Jelení stráň	3	N50°49.968'	E15°20.474'	2010-05-21	940	svah
Promenádní cesta	4	N50°48.947'	E15°20.133'	2010-05-21	915	údolí/svah
Smědavská silnice	5	N50°50.241'	E15°19.005'	2010-05-22	885	údolí
Celní cesta	6	N50°49.144'	E15°21.201'	2012-05-29	860	údolí
Kosodřevina	7	N50°49.091'	E15°21.182'	2012-05-29	850	údolí
Lánský	8	N50°49.460'	E15°20.556'	2012-05-29	865	údolí
Střední hřeben	9	N50°49.569'	E15°21.380'	2012-05-30	965	hřeben
Výzkumná plocha	10	N50°49.714'	E15°21.344'	2012-05-31	980	hřeben
Hlídková	11	N50°49.746'	E15°21.207'	2012-05-31	975	hřeben
Pytlácké kameny	12	N50°50.608'	E15°19.839'	2012-05-31	955	hřeben
Český vrch	13	N50°50.781'	E15°19.393'	2012-05-31	920	hřeben
Lasičí cesta	14	N50°49.70'	E15°20.73'	2014-05-06	915	svah
Kleč	15	N50°49.55'	E15°19.96'	2014-05-06	865	údolí

Obrázek 8 – Tabulka lokalit



Obrázek 9 – Lokalizace jednotlivých dataloggerů

Zdroj: <https://mapy.cz/turisticka?vlastni-body&x=15.3229182&y=50.8334486&z=14&sid=622637ba6fbda1b30cdbd6b6>

## 4.2. Čidla

Na každé lokalitě byly umístěny datalogery, které mají čtyři čidla v různých výškách vůči zemskému povrchu. Dle umístění byly čidla označena T1, T2, T3 a T4. Značka T1 je název pro čidlo umístěné ve výšce 200 cm nad zemí. Ve 100 cm nad povrchem je čidlo T2. Nejbližší k zemi se nachází čidlo T3, jenž je umístěno 30 cm od země. Poslední čidlo T4 se nachází pod povrchem, a to v hloubce 10 cm.



Obrázek 10 – Ilustrační snímek meteostanice v lokalitě Český vrch (Autor: Baláš, 2013)

Výškové umístění čidel bylo zvoleno tak, aby byl podchycen průběh teplot v přízemní zóně, resp. v obvyklé výšce terminálního pupenu standardního sadebního materiálu (30 cm), dále v obvyklé výšce terminálního pupenu vyspělého sadebního materiálu (100 cm) a v kořenové zóně (10 cm pod povrchem). Výška 200 cm odpovídá standardní výšce pro meteorologická měření.

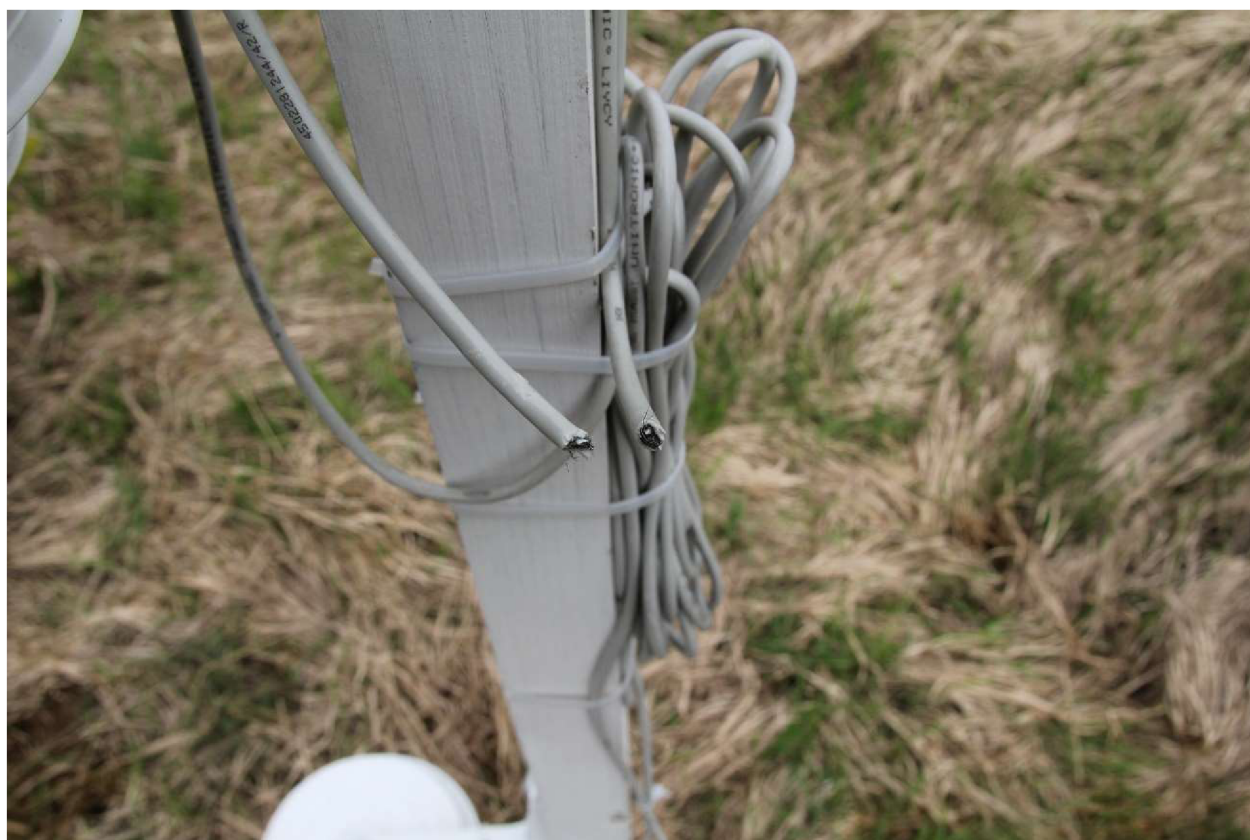
Jedinou výjimkou byla lokalita Panelka. Jedná se o první založenou lokalitu, a tak měla do roku 2012 jiné rozložení čidel. Čidlo T1 se nacházelo ve výšce 200 cm, ale bylo uloženo pod korunou stromu, tudíž dochází k pozměnění klimatických podmínek. Čidlo T2 se nacházelo ve výšce 30 cm. V hloubce 10 cm se nacházelo čidlo T3. Poslední čidlo se nacházelo opět ve výšce 200 cm, ale bylo umístěno na volné ploše, tudíž zde panovaly jiné podmínky než u čidla T1. V roce 2012 však došlo k přestavení čidel do stejných pozic jako u ostatních lokalit.

Jednotlivé datalogery byly nastaveny tak, aby v každou celou hodinu zaznamenaly aktuální teplotu. Tyto teploty se zaznamenávaly do dataloggerů a při průběžných kontrolách byly stahovány do počítače. Pro každou lokalitu byl vytvořen soubor v programu Microsoft Excel. Do tohoto souboru byla stažená data nahrána a rozdělena dle jednotlivých roků.

V některých případech však byla čidla poškozena a muselo dojít k jejich kalibraci, či úplnému nahrazení. V takovýchto případech jsou pořízená data neúplná. Pokud dojde k úplnému přerušení kabelu (poškození hlodavci, kunami, zaječí či jinou zvěří), data chybí zcela. Při částečném poškození kabelu (vnik vody pod izolaci s následným snížením izolačního odporu) mohou být hodnoty více či méně zkreslené. Pokud bylo poškození kabelu viditelné při pravidelné fyzické kontrole, byla data z příslušného čidla označena, překontrolována a ty nejvíce nepravděpodobná úplně odstraněna. Kontrolou před vlastním zpracováním však prošla i ostatní data, neboť poškození kabelu nebo čidla, způsobující záznam nerelevantních dat, nemusí být vizuálně patrné.



Obrázek 11 – Poškozená meteostanice (Autor: Baláš, 2013)



Obrázek 12 – Poškozený kabel (Autor: Baláš, 2013)



Obrázek 13 – Ulomený držák čidla

(Autor: Baláš, 2013)

Čidla nejsou naprosto přesná. Odchylna v měření oproti realitě může být až o 0,2 °C. Z tohoto důvodu jsou do výsledků zahrnovány pouze teploty, které se od referenční hodnoty liší o více než 0,2 °C. Tudiž pokud v noci teplota neklesla alespoň na hodnotu – 0,3 °C, nebyla tato noc zahrnuta mezi mrazové noci.

Ve výsledcích se pracuje s teplotami pod bodem mrazu. U čidla T4 neboli v hloubce 10 cm pod zemí, nedocházelo k promrzání, a proto data z tohoto čidla nebyla zpracovávána a uváděna v tabulkách a grafech.

### **4.3. Zpracování dat**

Pro účely této práce je vyhodnocení dat omezeno na období během vegetační sezóny. Vegetační sezónou je pro účely zpracování bráno období od 30.4. do 1.10. V tomto období je zjišťován celkový počet mrazových nocí pro jednotlivá čidla a zároveň celkový počet mrazových hodin, které během těchto nocí proběhly. Mrazové noci jsou následně tříděny do třech kategorií dle minimální dosažené teploty během noci. V první kategorii jsou noci, jejichž nejnižší teplota se nacházela v intervalu od 0 do – 2 °C. Následující kategorie

je v intervalu od  $-2,1$  do  $-4$  °C. Poslední kategorií jsou noci, které dosáhly minimální teploty nižší než  $-4,1$  °C. Dále byla zjišťována celková suma hodinových záporných teplot a suma hodinových záporných teplot, jež klesly pod  $-2$  °C. Zároveň byla zjišťována nejnižší teplota za celou vegetační sezónu. Všechna data byla zpracovávána pomocí programu Excel.



## 5. Výsledky

### 5.1. 2009

V roce 2009 začalo první měření 20. srpna na lokalitě Panelka a lokalita Jelenka byla zprovozněna až od 1. září. Na lokalitě Panelka došlo 15. září k poškození čidla 200 cm strom takovým způsobem, že již neměřilo a nebylo možné z něj získávat data. Toto poškození ovlivnilo výsledky měření, jelikož další dvě čidla zaznamenala nejnižší teplotu až v noci z 25. na 26. září.

Z nasbíraných dat bylo napočítáno v lokalitě Panelka 14 mrazových nocí ve výšce 30 cm nad zemí, zatímco na lokalitě Jelenka pouze 6. Z čehož je patrné, že lokalita uvnitř údolí je mnohem náchylnější na vznik mrazových nocí než lokalita v přechodové oblasti mezi údolím a svahem. Zároveň je zřejmé, že ve větších výškách nedochází k tak velkému a častému ochlazení, jako u země. Jak je z následující tabulky patrné, tak často dochází pouze k přízemním mrazům.

Tento rok nedošlo ani k jedné mrazové noci, během které by nejnižší teplota klesla pod  $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Nejnižší zaznamenaná teplota byla ve výšce 30 cm nad povrchem  $-3,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . U čidla T4, které se nachází 10 cm pod povrchem klesla teplota nejnižší na teplotu  $7,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  na lokalitě Jelenka.

Na grafu č. 1 je znázorněn průběh mrazové noci na obou lokalitách. Je zde patrný výrazný pokles teplot na obou lokalitách. Na lokalitě Panelka teplota klesá pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  u všech tří čidel. U stanoviště Jelenka však teplota pod  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  klesla pouze u čidla ve výšce 30 cm. Tento rozdíl je dán odlišným umístěním lokalit.

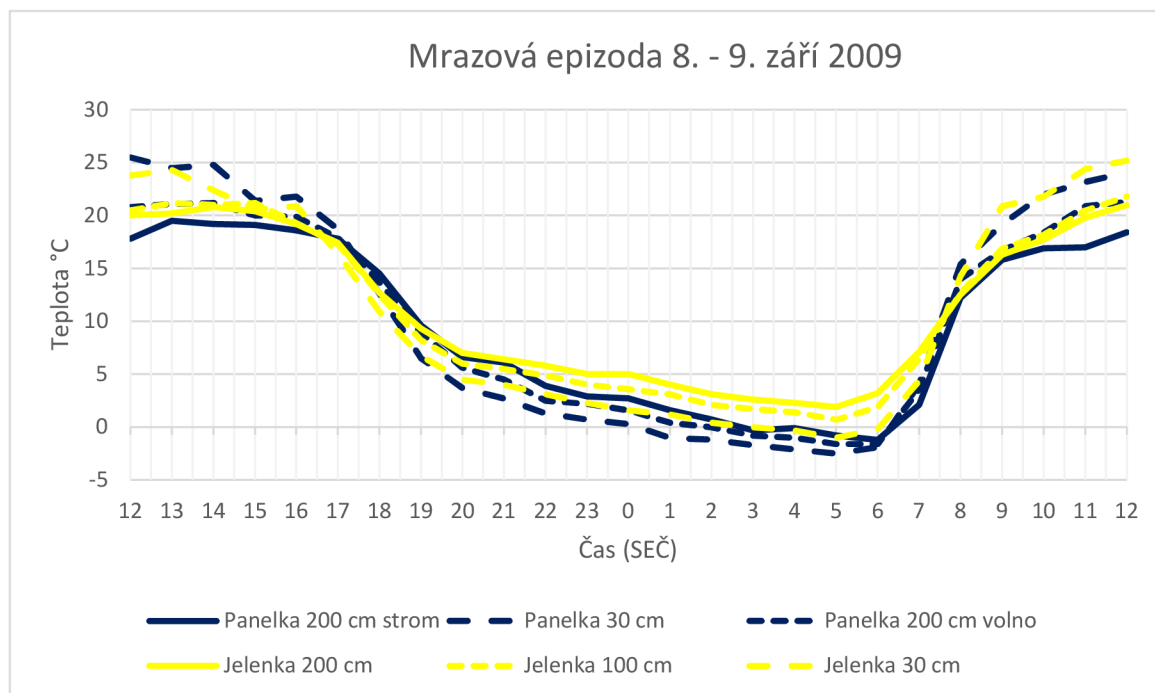
Graf č. 2 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Graf je doplněn o tabulku těchto hodnot. Z tabulky je patrné, že nejnižší, ale zároveň i nejvyšší teploty jsou zaznamenávány na čidle T3, které se nachází ve výšce 30 cm nad zemí. Teplotně nejstabilnější je pak čidlo T4, jež je umístěno 10 cm pod povrchem.

Tabulka 1 – Naměřené hodnoty 2009

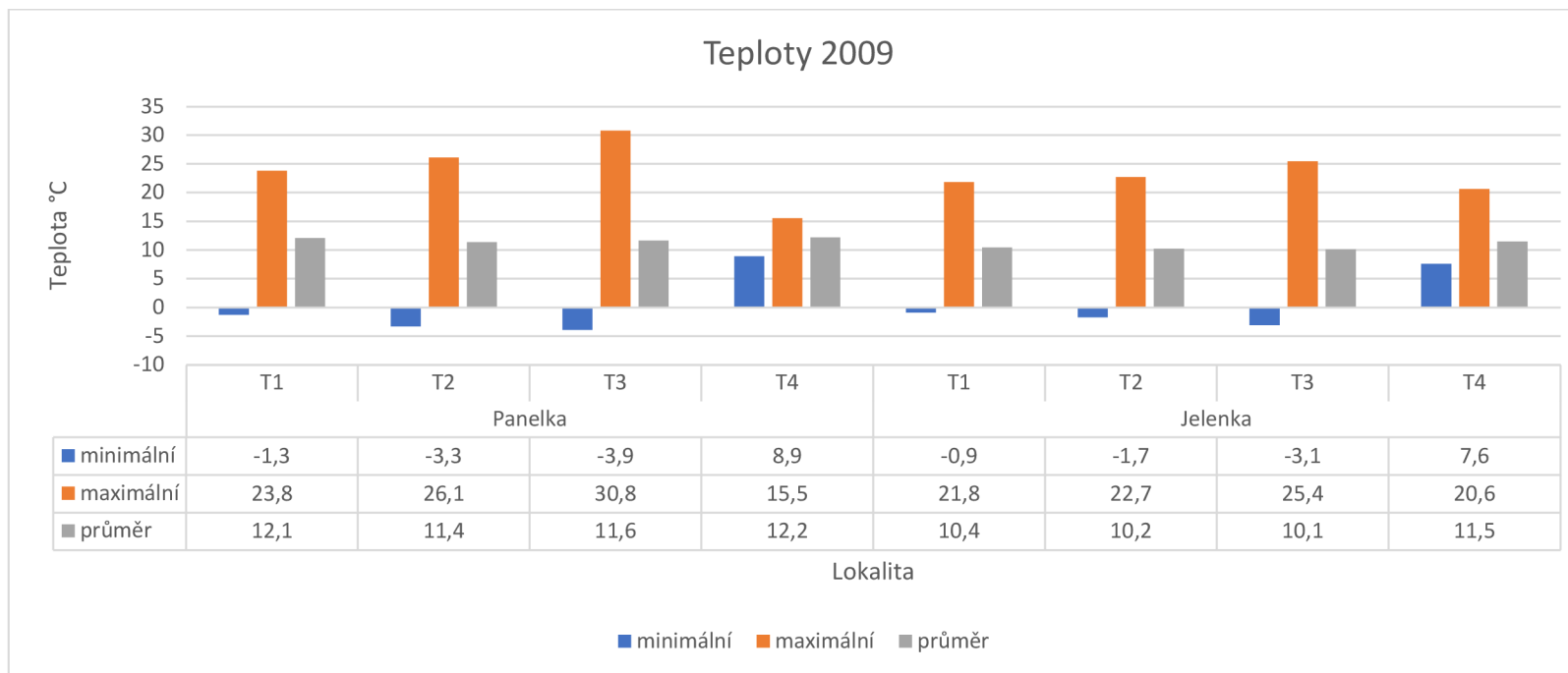
2009 (20.srpen až září)	počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota		
	výška	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2
Panelka (1) údolí	4	9	14	9	47	74	4	5	7	0	4	7	0	0	0	-6,4	-83	-144	0	-45,9	-99,6	-1,3	-3,3	-3,9
Jelenka (2) údolí/svah	1	1	6	4,0	6,0	32,0	1	1	4	0	0	2	0	0	0	-2,7	-8	-46,1	0	0	-16,9	-0,9	-1,7	-3,1

1) od 15.9. čidlo 200 cm strom poškozeno

2) měření od 1.zář



Graf 1 – Mrazová epizoda 8. – 9. září 2009



Graf 2 – Teploty 2009

## 5.2. 2010

V tomto roce je již zprovozněno 5 lokalit a díky tomu jsou zvýrazněny rozdíly v počtech mrazových nocí, dle umístění lokalit. Zatímco v údolí je v průměru 28 mrazových nocí ve výšce 30 cm nad zemí, tak na lokalitách, jež jsou na přechodové hraně mezi údolím a svahem je průměrně 20 nocí. Na lokalitě Jelení stráň je rozdíl nejvíce viditelný, jelikož se nachází na svahu a zde za celou vegetační sezónu byly pouze 4 mrazové noci. Na počet mrazových nocí během vegetační sezóny se jedná o rok průměrný.

Dále je patrný rozdíl v minimálních teplotách, zatímco na Jelení stráni teplota klesla maximálně na  $-1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tak na ostatních lokalitách se pohybovala od  $-4$  do  $-5,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zde je patrný i rozdíl mezi lokalitami v údolí. Zatímco v oblasti Panelka se za celé období vyskytla pouze jedna mrazová noc, během níž klesla teplota pod  $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , tak na lokalitě Smědavská silnice došlo k takovému poklesu během 4 různých nocí. Nejnižší teplotu pod povrchem zaznamenalo čidlo na lokalitě Jelení stráň v hodnotě  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Na lokalitě Smědavská silnice byl během zimy vlivem tlaku sněhu ulomen držák s čidlem ve výšce 100 cm, funkční čidlo se do doby opravy nacházelo na zemi a nebylo stíněno. Tento problém výrazně ovlivňuje naměřená data. Takto získaná data odpovídají spíše čidlům ve výšce 30 cm a nelze tak tato čidla porovnávat s ostatními čidly ve standardní výšce.

Na grafu č. 3 jsou znázorněny poklesy teplot na vybraných čidlech. Z grafu je patrné, že na lokalitě Jelení stráň nedošlo k poklesu teplot pod bod mrazu. Stejně tak teplota zůstala v kladných hodnotách na čidle ve výšce 200 cm na lokalitě Promenádní. Ostatní čidla ukazují pokles teplot a jejich setrvávání pod bodem mrazu.

Graf č. 4 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Graf je doplněn o tabulku naměřených hodnot. Z tabulky je patrné, že nejvyšší zaznamenaná teplota je na čidle T2 na lokalitě Smědavská silnice. Tato hodnota však nemůže být brána za věrohodnou, jelikož čidlo leželo na zemi bez krytu. Celkově byly nejvyšší teploty zaznamenány na lokalitě Jelení stráň, včetně minimálních

teplot, které se zde pohybují okolo 0 °C. Naopak nejnižší teploty byly naměřeny na lokalitě Smědavská silnice. Jedinou výjimkou je čidlo T4 na lokalitě Jelení stráň, kde teplota poklesla na hodnotu 0,8 °C.

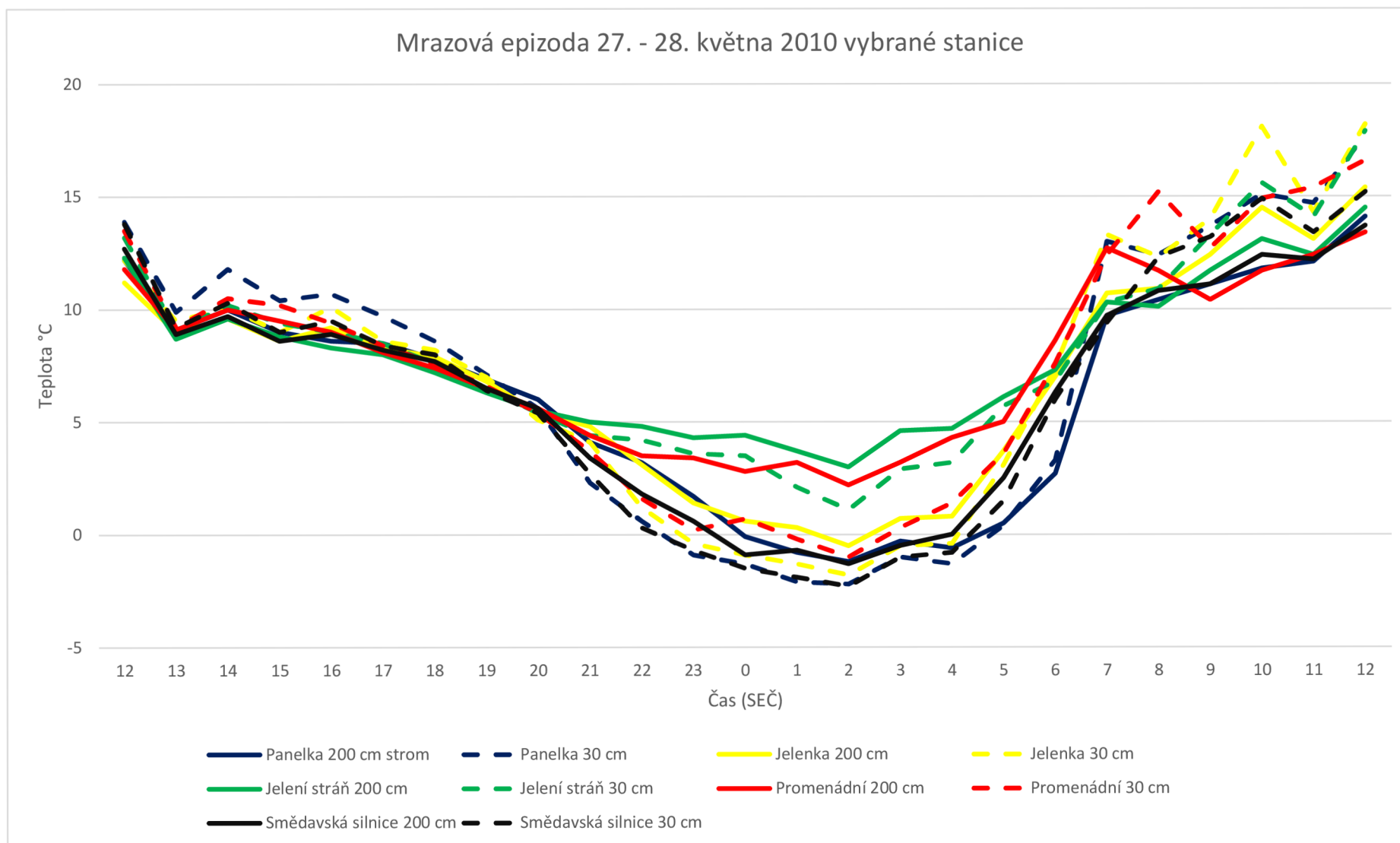
Tabulka 2 – Naměřené hodnoty 2010

2010 (květen až září)		počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota			
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	
	výška																									
Panelka (1)	údolí	10	20	30	43	83	142	8	14	22	2	6	8	0	0	0	-57	-124,1	-209,5	-21,7	-68,5	-106,2	-3,5	-4,4	-5	
Jelenka	údolí/svah	10	13	20	24	43	99	9	11	12	1	2	8	0	0	0	-25,7	-48,8	-136,8	-2,2	-11,8	-57,7	-2,2	-2,9	-4	
Jelení stráň (2)	svah	0	0	4	0	0	10	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	-6,6	0	0	0,2	0	-1,1		
Promenádní (2)	údolí/svah	2	7	19	4	19	86	2	6	12	0	1	5	0	0	2	-2,6	-21,4	-141,2	0	-4,6	-84,5	-0,9	-2,3	-4,9	
Smědavská silnice (3)	údolí	15	25	26	63	174	137	11	11	16	4	8	6	0	6	4	-81,5	-385,6	-251	-32,8	-278,9	-152,4	-3,1	-6,8	-5,5	

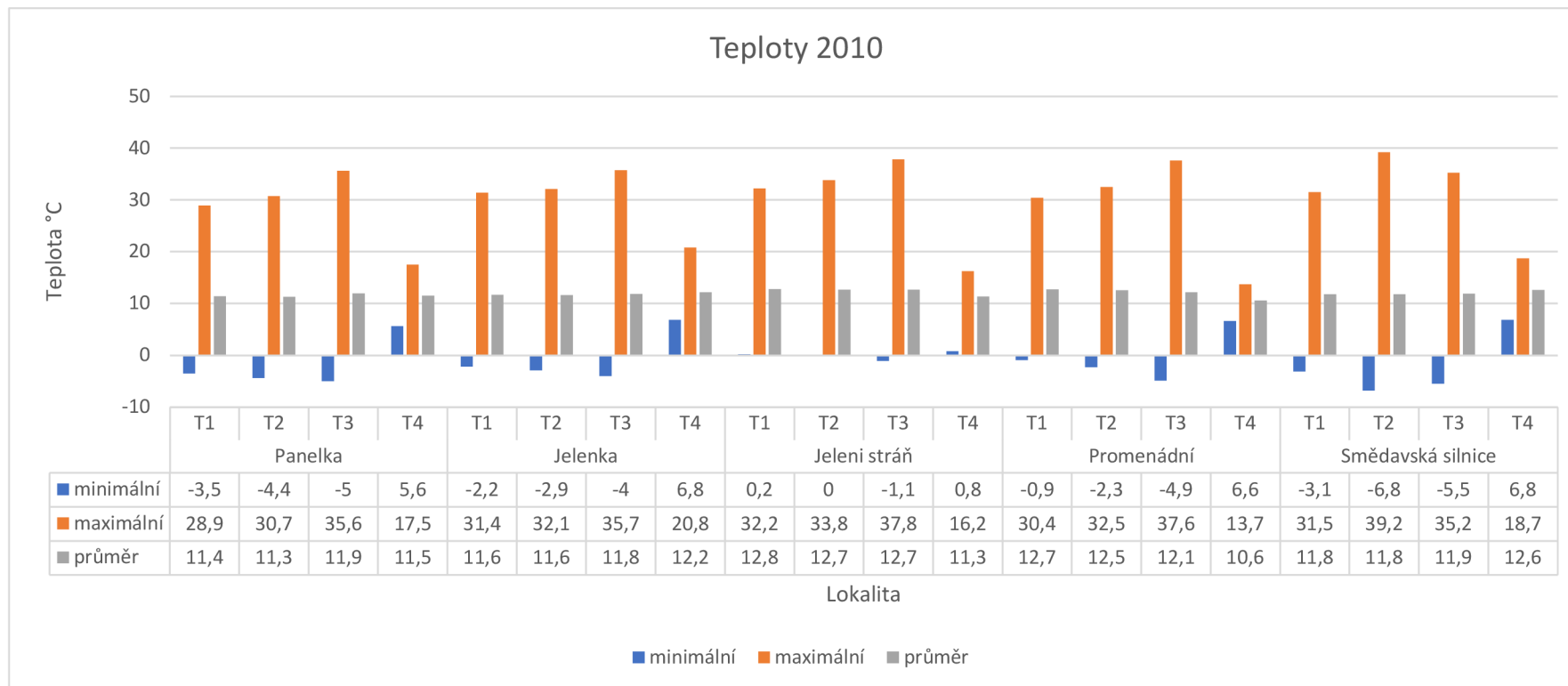
1) 12.5. oprava čidla 200 cm (strom)

2) měření od 21.5.

3) měřené od 22.5., od 4.7.čidlo 100 cm leží na zemi



Graf 3 – Mrazová epizoda 27. – 28. května 2010



Graf 4 – Teploty 2010



### 5.3. 2011

Rok 2011 byl během vegetační sezóny značně mrazivý. Na počet mrazových nocí byl spíše průměrný, ale teploty, jež se během těchto nocí vyskytovaly, byly velmi nízké. Tento jev se projevil především v počtech mrazových nocí, jejichž nejnižší teplota klesla pod  $-4,1$  °C. V předchozích letech k takovýmto nocím spíše nedocházelo, nebo se jednalo o ojedinělou záležitost ve výšce 30 cm. V tomto roce se takovéto noci nacházely u všech lokalit a byly zaznamenány i na čidlech, jež se nacházely výše od povrchu.

I přes takto mrazové noci je zde zachován rozdíl v počtech nocí mezi jednotlivými lokalitami dle jejich umístění. Z tabulky je patrné, že na obou údolních lokalitách vyskytlo 9 mrazových nocí, jejichž nejnižší teplota se nacházela pod hranicí  $-4,1$  °C. Naopak na lokalitě Jelení stráň se takovéto noci vyskytly pouze 2. U stanovišť, jež se nacházejí na hraně mezi údolím a svahem, je počet mrazových nocí rozdílný. Lokalita Jelenka má vyšší jak celkový počet mrazových nocí, tak počet nocí s nejnižší teplotou pod  $-4,1$  °C. U čidel, která se nacházejí pod povrchem půdy, byla zaznamenána nejnižší teplota na lokalitě Smědavská silnice v hodnotě  $2,7$  °C.

Čidlo ve výšce 200 cm na lokalitě Panelka bylo poškozeno a data, která z tohoto čidla byla získána neodpovídají skutečnosti. Zároveň došlo k poškození kabelu čidla 100 cm hlodavci na lokalitě Smědavská silnice. Čidlo bylo nadále funkční, ale v případě navlhnutí kabelu došlo ke ztrátě dat a databáze je tudíž nekompletní.

V grafu č. 5 je znázorněn výrazný pokles teplot na vybraných čidlech. Z grafu je patrné, že teploty na lokalitě Jelenka neklesaly tak prudce jako na ostatních lokalitách, čidlo 200 cm na této lokalitě celou noc zaznamenává teploty těsně pod bodem mrazu. Ostatní čidla v dané výšce však klesají až k  $-7$  °C, stejně jako čidla ve výšce 30 cm.

Graf č. 6 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Tento rok minimální teploty klesly výrazněji než roky jiné. Dokonce i na lokalitě Jelení stráň se nejnižší teploty nacházely pod hranicí  $-4,1$  °C. Nejvyšší teploty zaznamenala lokalita Jelenka. Jedinou výjimkou je čidlo T4, kdy byla nejvyšší teplota zaznamenána na lokalitě Jelení stráň.

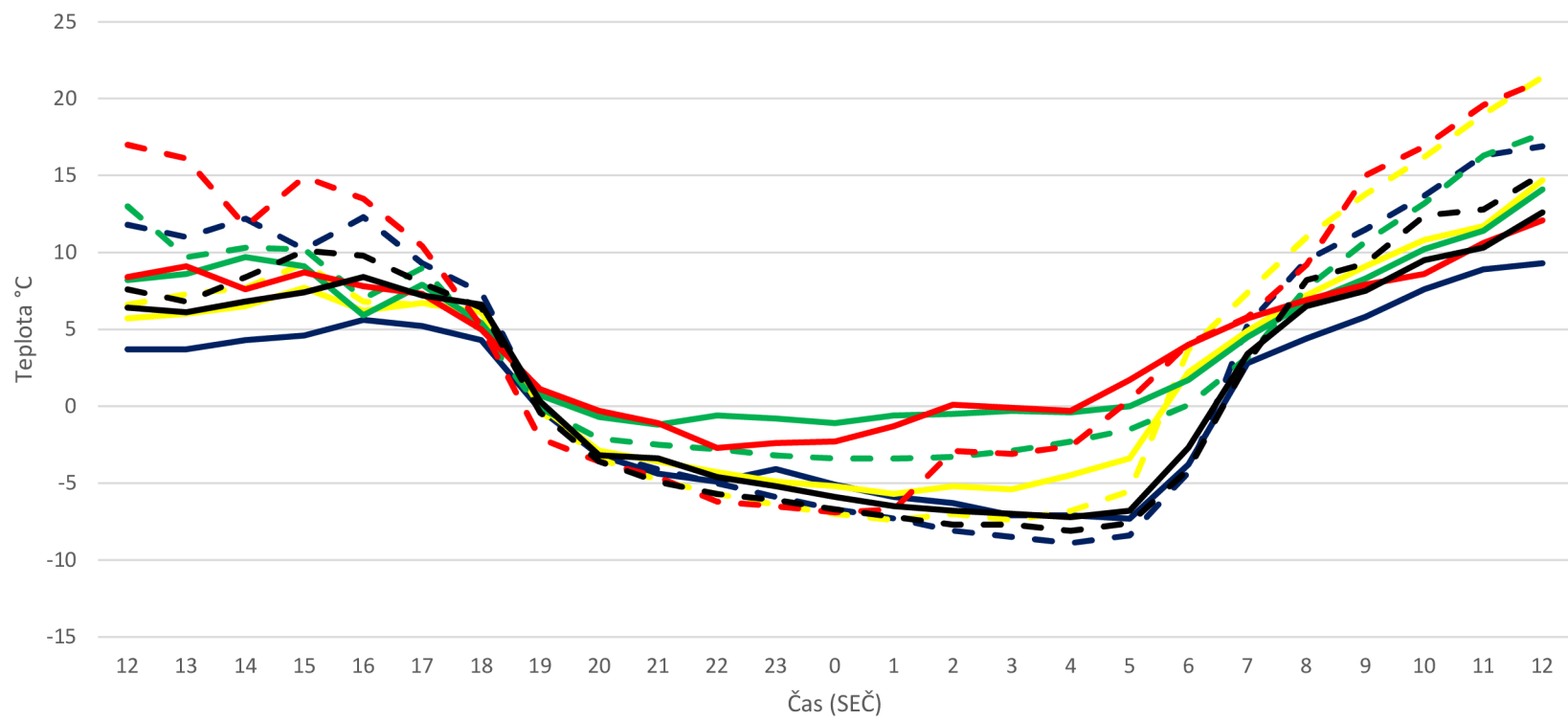
Tabulka 3 – Naměřené hodnoty 2011

20111 (květen až září)		počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota			
		výška	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Panelka (1)	údolí	41	25	33	303	167	219	18	12	13	12	6	11	11	7	9	863,3	508,4	666,4	691,3	409,5	568,9	11,2	-	-	-
Jelenka	údolí/svah	12	15	24	84	99	164	7	6	13	2	6	4	3	3	7	242,4	299,6	482,1	187,1	245,6	404,9	-9,5	10,4	12,4	
Jelení stráž	svah	3	3	6	45	45	50	1	0	3	1	1	1	1	2	2	-95,9	127,2	150,6	-72,4	109,2	-131	-4,6	-6,1	-7	
Promenádní	údolí/svah	4	12	19	43	75	119	0	7	8	2	2	8	2	3	3	121,8	200,4	349,5	-97,5	157,9	294,2	-6,1	-8,7	11,2	
Smědavská silnice (2)	údolí	19	22	29	127	165	196	8	8	15	7	6	5	4	8	9	396,2	535,5	611,7	330,5	463,1	515,7	11,1	-9,7	12,9	

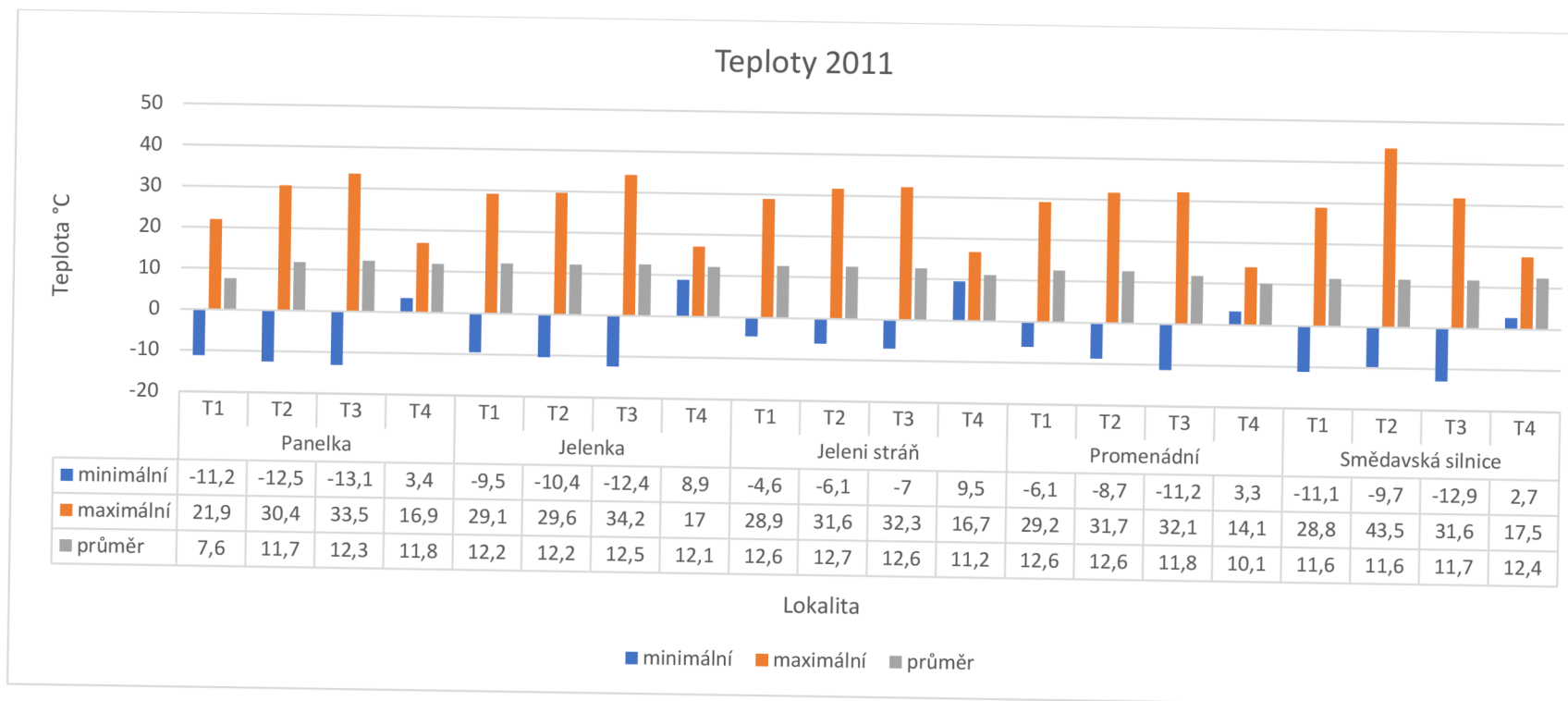
1) čidlo 200cm strom poškozeno, měří cca o 3 °C méně, než by mělo

2) od 14.5. opravené čidlo 100 cm, ale poškozený kabel a občasné výpadky dat

Mrazová epizoda 5. - 6. května 2011 vybrané stanice



Graf 5 – Mrazová epizoda 5. – 6. května 2011



Graf 6 – Teploty 2011

## 5.4. 2012

V tomto roce došlo k vytvoření dalších 5 lokalit a přesunutí čidel na lokalitě Panelka do standardních pozic.

V údolí bylo za vegetační období průměrně 27 mrazových nocí ve výšce 30 cm nad povrchem. Nově vytvořené lokality se nacházejí na hřebenech okolo údolí Jizerka. Část z těchto stanovišť dosahuje počtu mrazových nocí v řádu jednotek. Výjimkou jsou lokality Pytlácké kameny a Český vrch, kde je počet mrazových nocí zhruba poloviční oproti lokalitám v údolí. I v těchto lokalitách však převládají přízemní mrazy a ve výšce 200 cm téměř nedochází k poklesu teplot pod bod mrazu oproti ostatním lokalitám.

Zvýšený počet mrazových nocí se oproti jiným rokům vyskytl na lokalitách, jež se nacházejí na přelomu mezi svahem a údolím. Zde je průměr 24 nocí. Lokalita Jelení stráň vykazuje pouze 5 mrazových nocí, stejně jako hřebenové lokality Střední hřeben a Výzkumná plocha.

Největší a nejčastější mrazy se dle sumy hodinových záporných hodnot vyskytovali na lokalitě Lánský. Z celkového počtu 30 mrazových nocí ve výšce 30 cm dosáhlo na této lokalitě 10 nocí teplot nižších než  $-4,1$  °C. Oproti tomu se na lokalitách Jelení stráň, Výzkumná plocha a Hlídková nevyskytla ani jedna takto chladná noc.

Stanice Smědavská silnice, která se taktéž nachází v údolí, dosáhla vyššího celkového počtu mrazových nocí, ale nejnižší teplota většiny z nich se držela v intervalu od 0 do  $-2$  °C. Pod  $-4,1$  °C klesla teplota na této lokalitě pouze v 5 případech. Na lokalitě Střední hřeben byla dokonce nejnižší teplota pouze  $-1,7$  °C, a tak se všech 5 mrazových nocí nacházelo v intervalu od 0 do  $-2$  °C. Na lokalitě Kosodořevina byly nejdelší mrazové noci.

Dle poměru počet mrazových nocí a počtu mrazových hodin vychází, že jedna mrazová noc má délku trvání v průměru na 7 hodin. Hodnoty  $5,3$  °C dosáhla nejnižší teplota u čidla T4, jež se nachází 10 cm pod povrchem, a to na lokalitách Smědavská silnice a Promenádní.

Graf č. 7 znázorňuje pokles teplot na vybraných lokalitách. Je zde názorně ukázán rozdíl mezi lokalitou na svahu a lokalitami v údolí. Mezi jednotlivými lokalitami v údolí nebo na jeho hraně nejsou výrazné rozdíly a všechna čidla zaznamenala pokles pod bod mrazu.

Graf č. 8 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Z důvodu množství dat jsou hodnoty v tabulce zaokrouhleny. Nejnižší teploty byly zaznamenány na lokalitě Smědavská silnice. Nejvyšší teploty u čidla T1 a T2 se vyskytovaly u lokality Kosodřevina. U čidla T3 byla zaznamenána nejvyšší teplota na lokalitě Celní cesta.

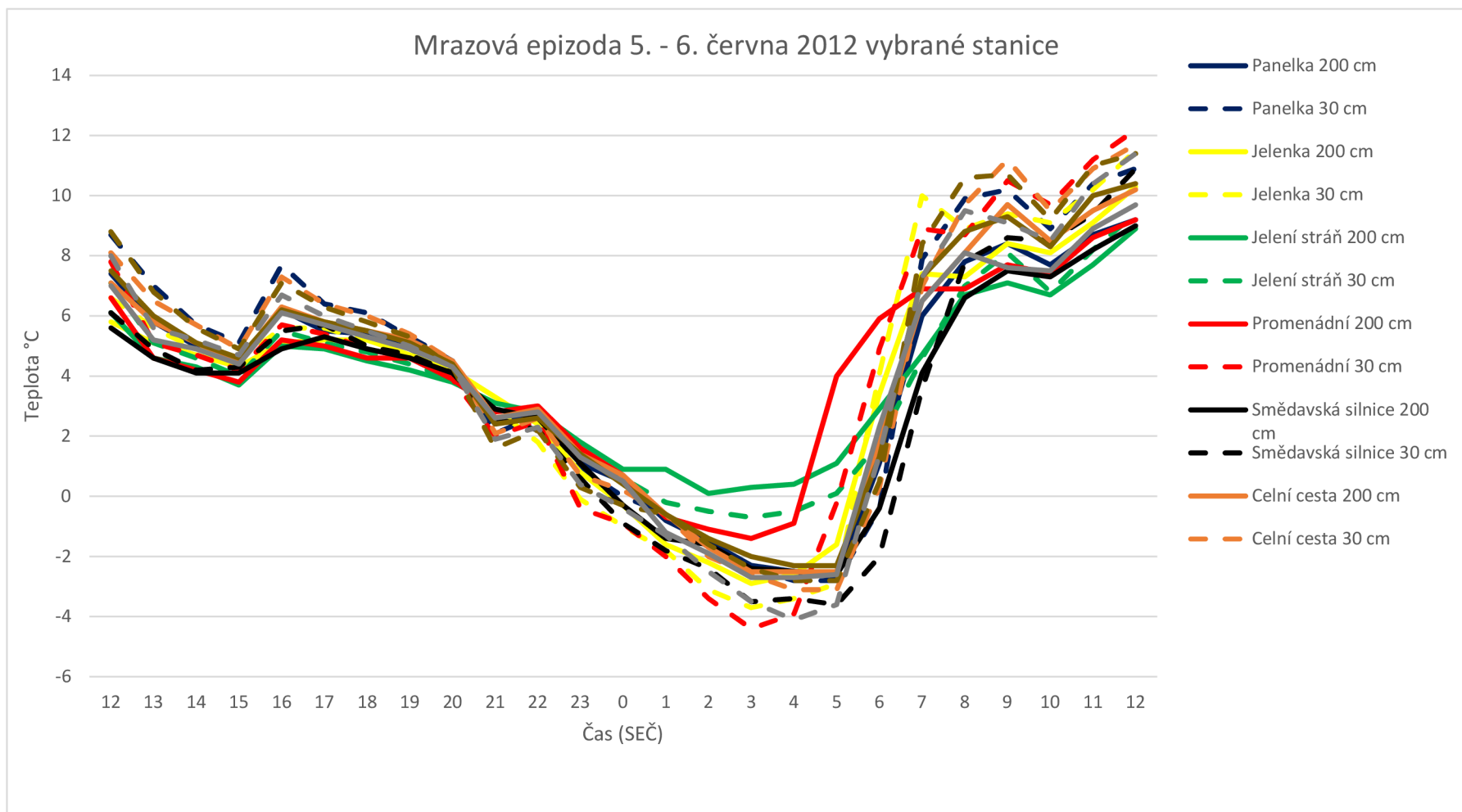
Tabulka 4 – Naměřené hodnoty 2012

2012 (květen až září)		počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota		
		výška	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2
Panelka (1)	údolí	20	19	23	91	95	127	12	10	11	7	8	9	1	1	3	-158,9	-166,9	-269,7	-92,1	-89,5	185,1	-6,3	-6,4	-7,3
Jelenka	údolí/svah	8	13	22	44	57	110	5	9	14	2	3	6	1	1	2	-89	-116,7	-219	-62,9	-85,4	152,1	-6,1	-6,9	-7,8
Jelení stráň	svah	3	4	5	16	22	26	3	3	4	0	1	1	0	0	0	-13,2	-34,7	-36,6	0	-25,8	-24,6	-1,4	-3,7	-3,5
Promenádní	údolí/svah	4	10	26	17	39	117	3	8	18	1	1	5	0	1	3	-27,3	-71,7	-237,3	-17,9	-48	164,4	-3	-6,2	-8,7
Smědavská silnice	údolí	20	25	34	97	128	166	14	16	20	4	7	9	2	2	5	-186,2	-254,7	-377,6	-121	172,4	-290	-7,4	-8,6	-8,8
Celní cesta (2)	údolí	17	20	21	90	107	130	10	11	9	6	6	9	1	3	3	-163,4	-217,9	-302,2	102,2	-154	236,4	-6	-6,5	-7,2
Kosodřevina (2)	údolí	20	23	25	121	141	173	10	11	9	9	10	11	1	2	5	-214	-281,9	-411	127,8	191,1	-319	-6,6	-7	-7,7
Lánský (1)	údolí	18	21	30	85	121	172	11	9	11	6	9	9	1	3	10	-163,2	-273,4	-495,2	107,9	-203	421,7	-5,9	-6,8	-8,9
Střední hřeben (3)	hřeben	2	3	5	5	11	16	2	3	5	0	0	0	0	0	0	-5,3	-9,3	-17,1	0	0	0	-1,4	-1,6	-1,7
Výzkumná plocha (3)	hřeben	0	2	5	0	6	22	0	2	2	0	0	3	0	0	0	0	-4,4	-35,6	0	0	-22,4	-0,2	-1,5	-3
Hlídková (3)	hřeben	0	2	9	0	9	36	0	2	5	0	0	3	0	0	1	0	-7,2	-61,9	0	0	-38,1	0,6	-1,5	-4,3
Pytlácké kameny (3)	hřeben	1	3	13	1	14	58	1	3	7	0	0	5	0	0	1	-0,3	-14,9	-119,6	0	0	-83,1	-0,3	-1,8	-5,4
Český vrch (3)	hřeben	2	5	15	5	20	69	2	4	10	0	1	3	0	0	2	-5	-19,5	-142,9	0	-4,4	102,6	-1,6	-2,3	-5,8

1) měření od 30.5.

2) měření od 29.5.

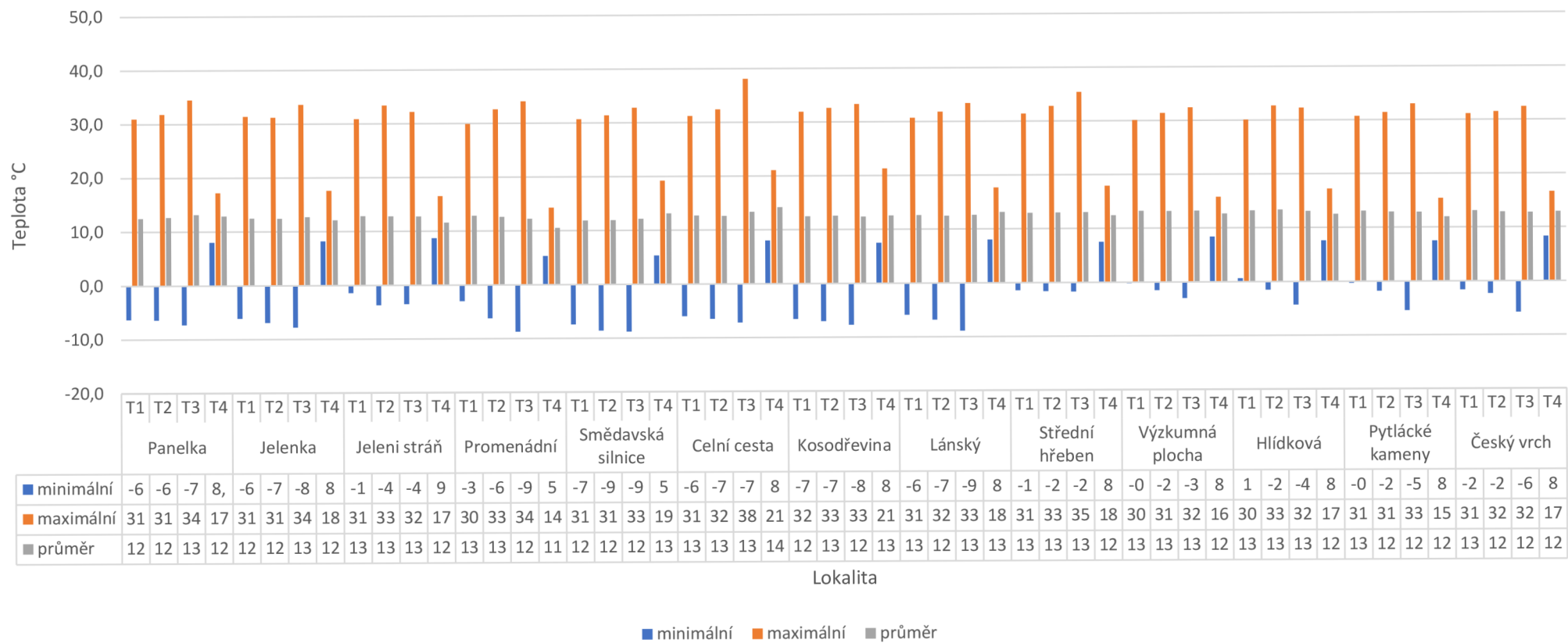
3) měření od 31.5.



Graf 7 – Mrazová epizoda 5. – 6. června 2012



## Teploty 2012



Graf 8 – Teploty 2012

## 5.5. 2013

V tomto roce bylo v údolí průměrně 31 mrazových nocí ve výšce 30 cm nad povrchem. Naopak na hraně mezi svahem a údolím je průměr pouze 15 nocí. Lokality na hřebenech dosahují ještě nižšího průměru, a to 12 nocí. Nejnižší počet mrazových nocí se vyskytuje na lokalitě Jelení stráň, jež se nachází na svahu. Za celé vegetační období zde bylo pouze 5 mrazových nocí ve výšce 30 cm. Oproti předchozímu roku se průměrné počty zvýšily.

Většina těchto nocí se však nachází v intervalu s nejnižší teplotou do  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Na lokalitě Lánský bylo naměřeno celkem 41 mrazových nocí, což je nejvyšší počet nocí, který byl za zkoumané roky dosažen. Zároveň na této lokalitě docházelo k nejsilnějším mrazům, jak dokazují sumy hodinových záporných hodnot. Společně s lokalitou Kosodřevina se zde nejčastěji vyskytovali noci, během nichž teplota klesla pod  $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zároveň zde velké množství nocí dosáhlo teplot v intervalu od  $-2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Naopak na lokalitách Střední hřeben a Výzkumná plocha došlo k poklesu teplot pod hladinu  $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  vůbec nedošlo.

Nejmenší mráz hlásí lokalita Jelení stráň, jež se nachází na svahu a všechny mrazové noci zde proběhly v intervalu od 0 do  $-2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Zároveň tato lokalita má průměrně nejkratší mrazové noci, jelikož za 5 nocí se zde vyskytlo pouze 15 mrazových hodin, a tudíž zde vycházejí 3 mrazové hodiny na 1 mrazovou noc. V průměru nejdelší mrazové epizody se vyskytovali na lokalitách Kosodřevina a Lánský, kde se průměr blíží k 6 hodinám. Čidlo T4, které se nachází pod povrchem, zaznamenalo nejnižší teplotu na lokalitě Střední hřeben, a to v hodnotě  $2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Graf č. 9 znázorňuje vývoj teplot na vybraných lokalitách. Z grafu je patrné, že lokalita Výzkumná plocha, jež se nachází na hřebeni, a Jelení stráň, která je na svahu nezaznamenávají tak výrazný pokles teplot a zůstávají nad hranicí  $5^{\circ}\text{C}$ . Lokalita Jelenka se nachází na hraně mezi údolím a svahem a díky této poloze teploty neklesají pod bod mrazu. Ostatní stanice se nacházejí v údolí a teploty se zde vyvíjejí obdobně a dosahují přibližně stejných hodnot.

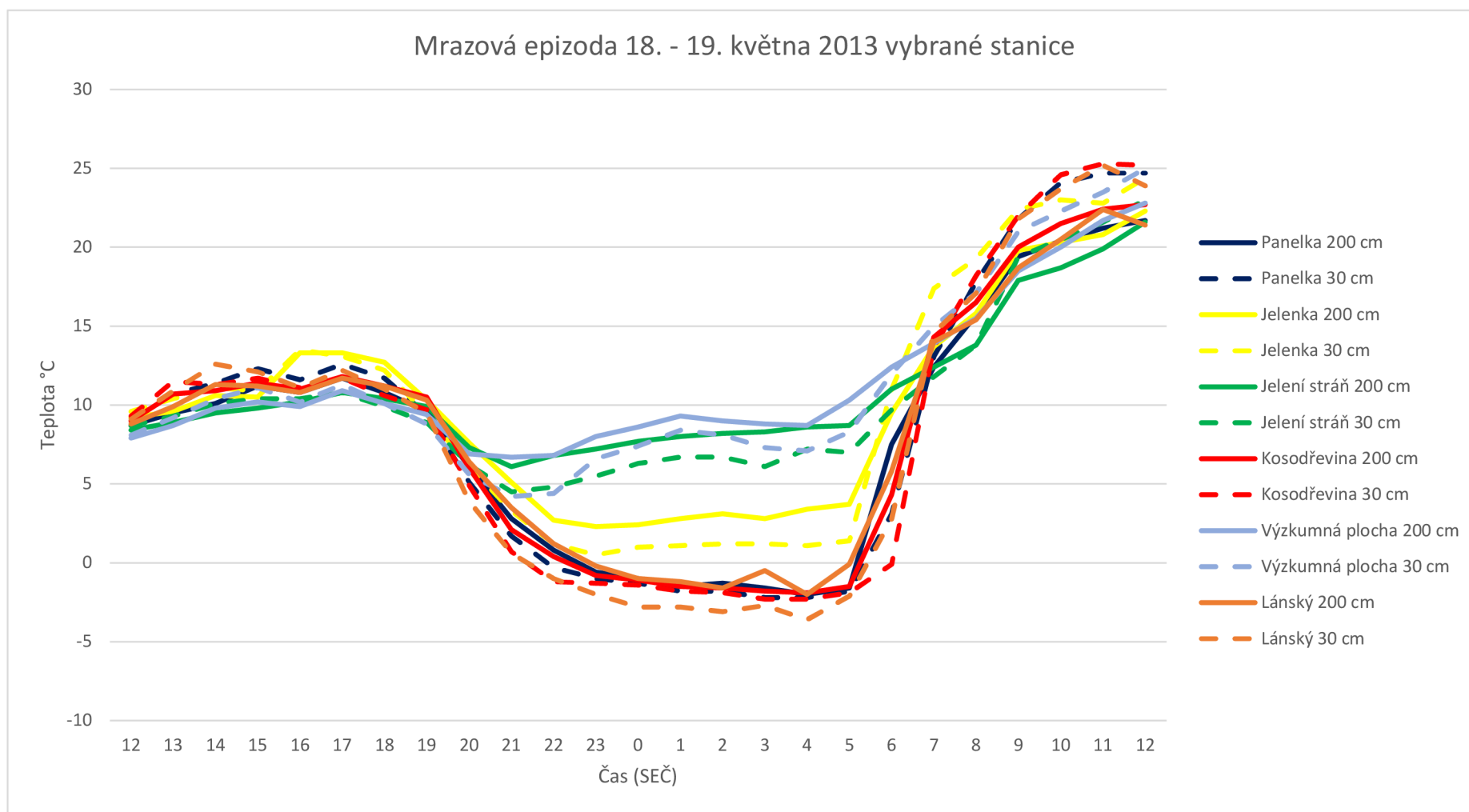
Graf č. 10 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Z důvodu množství dat jsou hodnoty v tabulce zaokrouhleny. Nejvyšší maximální teploty jsou na lokalitě Kosodřevina. Nejnižších minimálních hodnot dosahovaly teploty na lokalitě Lánský. Nejnižší teplotu pod povrchem však zaznamenalo čidlo na lokalitě Střední hřeben.

Tabulka 5 – Naměřené hodnoty 2013

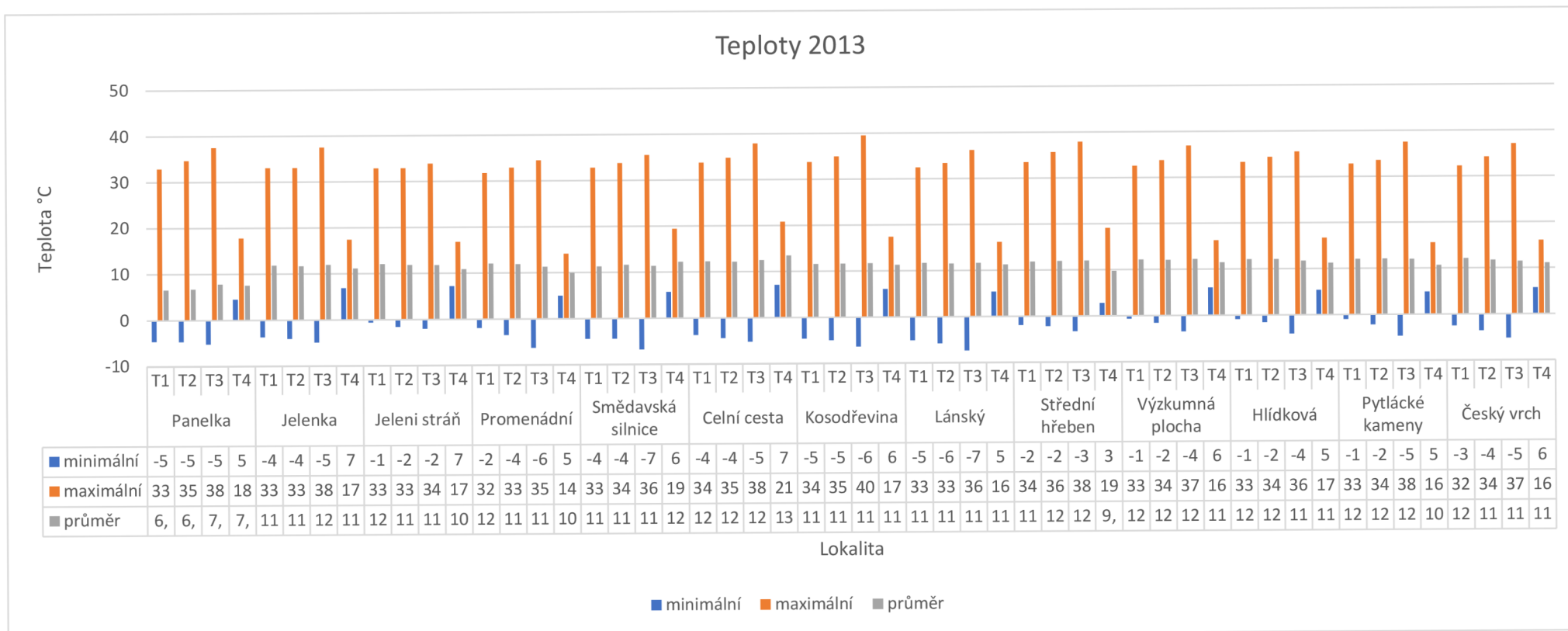
2013 (květen až září)		počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota		
výška		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Panelka	údolí	17	18	27	83	91	146	13	12	17	3	5	7	1	1	3	-	-	-	-55,8	-68,8	-141,7	-4,6	-4,7	-5,2
Jelenka	údolí/svah	5	5	13	32	31	68	3	2	8	2	2	3	0	1	2	-51,4	-54,6	120,4	-28,6	-29,2	-81,6	-3,7	-4,1	-4,9
Jelení stráň	svah	3	4	5	3	9	15	3	4	5	0	0	0	0	0	0	-1,4	-6,2	-11,9	0	0	0	-0,6	-1,6	-2
Promenádní	údolí/svah	4	8	17	12	29	90	4	6	8	0	2	5	0	0	4	-11,1	-41,4	188,3	0	-14,1	-137,4	-1,9	-3,5	-6,3
Smědavská silnice	údolí	12	15	24	67	79	121	6	8	17	5	6	2	1	1	5	121,9	142,1	278,7	-84,7	-101,7	-210,8	-4,4	-4,4	-6,8
Celní cesta	údolí	17	21	26	68	88	121	13	15	16	3	4	6	1	2	4	-84,4	130,2	215,1	-33,8	-60,6	-131,3	-3,7	-4,4	-5,2
Kosodřevina	údolí	21	26	35	102	135	201	16	17	17	2	6	13	3	3	5	151,4	219,2	403,3	-69	-121,5	-258,5	-4,6	-5	-6,4
Lánský	údolí	15	26	41	68	109	243	11	18	20	3	6	15	1	2	6	114,5	194,8	528,4	-65,3	-119,8	-372,1	-5,1	-5,8	-7,4
Střední hřeben	hřeben	6	6	7	16	28	46	6	4	4	0	2	3	0	0	0	-14,6	-26	-55,9	0	-8,8	-15,1	-1,9	-2,2	-3,3
Výzkumná plocha	hřeben	2	5	10	4	11	34	2	5	6	0	0	4	0	0	0	-1,7	-9,7	-37,8	0	0	-16,6	-0,7	-1,6	-3,5
Hlídková	hřeben	2	6	14	4	13	63	2	6	8	0	0	5	0	0	1	-2,2	-9,8	-82,2	0	0	-40,2	-0,9	-1,6	-4,1
Pytlácké kameny (1)	hřeben	2	5	12	4	16	63	2	4	6	0	1	4	0	0	2	-2,4	-17	-96,1	0	-2,2	-56	-1	-2,2	-4,7
Český vrch (2)	hřeben	3	5	16	12	25	73	2	3	11	1	2	3	0	0	2	-12,9	-32,9	126,5	-2,5	-11,1	-75,2	-2,5	-3,6	-5,2

1) od 1.5. do 14.5. poškozena čidla 100 a 30 cm, nenaměřeny žádné hodnoty

2) od 1.5. do 14.5. poškozeno čidlo 200 cm, nenaměřeny žádné hodnoty



Graf 9 – Mrazová epizoda 18. – 19.května 2013



Graf 10 – Teploty 2013

## 5.6. 2014

V tomto roce byly meteostanice umístěny na další dvě lokality. Lokality v údolích mají průměrně 31 mrazových nocí ve výšce 30 cm nad povrchem. Hřebenové lokality mají průměrně 12 mrazových nocí. Lokality na hraně mezi svahem a údolím mají průměrně 16 mrazových nocí a lokality nacházející se na svahu mají průměrně pouze 3 noci, během nichž teplota klesla pod bod mrazu.

Většina zaznamenaných nocí se nacházela v intervalu od 0 do  $-2$  °C. Lokality Kosodřevina a Lánský zaznamenaly taktéž vysoký počet nocí v intervalu od  $-2,1$  do  $-4$  °C. Nejvíce se mrazy vyskytovaly na lokalitách Lánský a Kosodřevina. Stanoviště shodně zaznamenala nejnižší teplotu  $-9,5$  °C. Obě lokality taktéž měly stejné množství mrazových nocí. Lokalita Lánský však zaznamenala vyšší počet mrazových nocí v intervalu  $-2,1$  až  $-4$  °C a mrazových nocí, jejichž teplota klesla pod hranici  $-4,1$  °C. Teplota u čidla T4, které se nachází 10 cm pod povrchem, poklesla nejnižší na lokalitě Střední hřeben na teplotu  $2,8$  °C.

Nejnižší počet mrazových nocí zaznamenala stanice Lasičí cesta, kde se vyskytla pouze jedna mrazová noc, jež byla zaznamenána všemi třemi čidly. Teplota zde klesla nejnižší k  $-1,7$  °C. Zároveň je zde vidět, že teplota pod bodem mrazu vydržela ve výšce 200 cm 6 hodin a ve výšce 30 cm dokonce 8 hodin. Naopak v průměru nejkratší mrazové noci se objevují na lokalitě Promenádní, kdy na 1 mrazovou epizodu vychází v průměru 4 mrazové hodiny. Na této lokalitě však bylo poškozeno čidlo a získaná data nejsou úplná. Druhou lokalitou s nejkratšími mrazovými epizodami je stanoviště Pytlácké kameny, kde průměr po zaokrouhlení vychází na 5 hodin.

Graf č. 11 znázorňuje vývoj teplot na vybraných stanicích. V tomto případě je pokles teplot způsoben tzv. advekčním mrazem, který je způsoben přílivem chladného vzduchu ze severu. Dokladem toho, že se jedná o advekční mraz je pokles teploty již během dne po poledni a velmi nízká teplota během druhého dne. Během této epizody nedochází ke vzniku výrazných rozdílů mezi lokalitami.

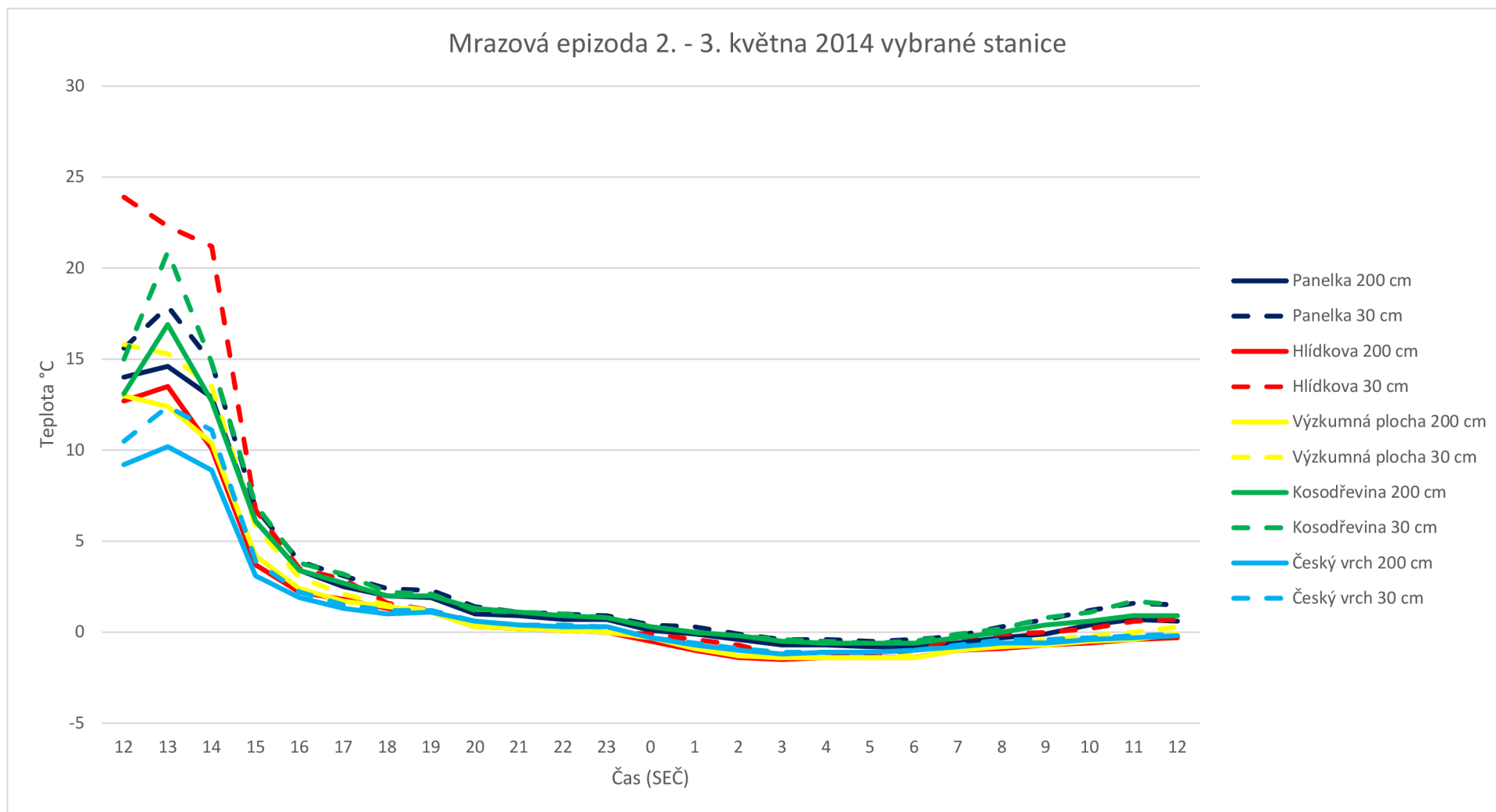
Graf č. 12 znázorňuje minimální, maximální a průměrné teploty pro všechna čidla na jednotlivých lokalitách během vegetačního období. Z důvodu množství dat jsou hodnoty v tabulce zaokrouhleny. Nejvyšší hodnoty byly zaznamenány na lokalitě Celní cesta. Nejnižší teploty klesly na lokalitě Kosodřevina. Jedinou výjimkou je čidlo T4 na lokalitě Střední hřeben.



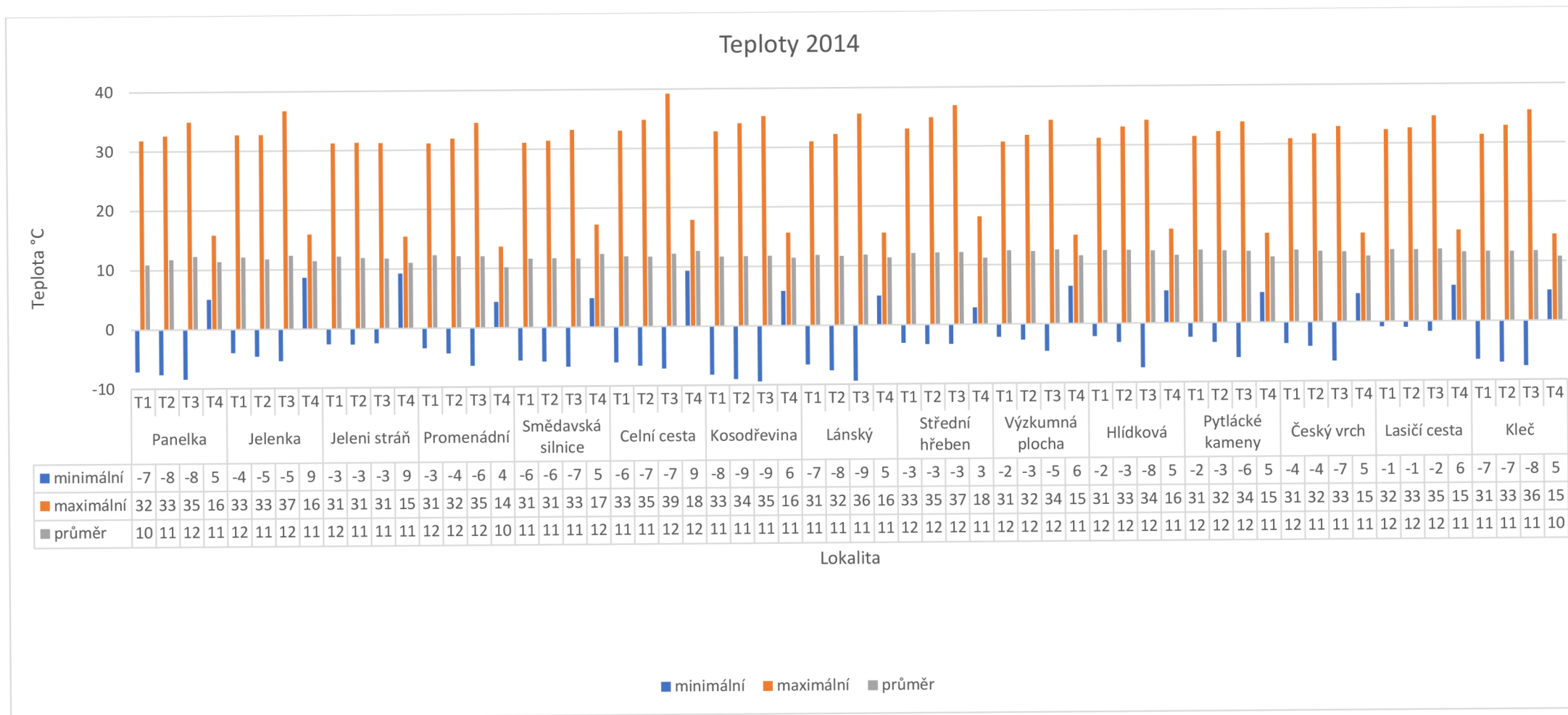
Tabulka 6 – Naměřené hodnoty 2014

2014 (květen až září)		počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota		
		T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
Panelka	údolí	29	23	26	144	125	152	20	16	15	5	4	8	4	3	3	-279,3	-247,7	-324,6	-178,2	-157,1	-210,8	-7,1	-7,6	-8,4
Jelenka	údolí/svah	8	8	14	51	59	76	4	4	9	4	0	1	0	4	4	-97,4	-123,9	-159,3	-76,6	-95,8	-120,7	-4	-4,6	-5,4
Jelení stráž	svah	4	5	5	31	41	44	3	4	4	1	1	1	0	0	0	-32,2	-42,6	-45,2	-4,9	-5,2	-6,9	-2,6	-2,7	-2,5
Promenádní (1)	údolí/svah	5	5	19	40	44	76	3	1	16	2	3	0	0	1	3	-56,9	-84,7	-151,4	-20,1	-60,3	-95,8	-3,4	-4,3	-6,4
Smědavská silnice	údolí	15	16	25	84	89	140	10	10	16	2	3	6	3	3	3	-174,7	-191,7	-283,2	-118,8	-134	-185	-5,6	-5,8	-6,7
Celní cesta	údolí	21	25	28	111	134	151	13	16	17	5	6	7	3	3	4	-212,2	-281,4	-330	-146,6	-189,1	-229,3	-6	-6,6	-7,1
Kosodřevina	údolí	26	30	34	138	162	196	18	21	17	5	6	13	3	3	4	-260,9	-333,1	-451	-159,3	-214,8	-334	-8,2	-9	-9,5
Lánský	údolí	22	25	34	101	143	201	15	12	10	4	10	16	3	3	8	-205,5	-321,8	-550,1	-142,9	-234,6	-461	-6,6	-7,6	-9,5
Střední hřeben	hřeben	5	5	5	42	43	43	3	3	3	2	2	2	0	0	0	-52,8	-61,2	-64,4	-16,2	-29,3	-31,9	-3,1	-3,3	-3,3
Výzkumná plocha	hřeben	3	4	8	33	38	49	2	3	5	1	1	2	0	0	1	-33	-51	-77,6	-2,2	-9,8	-41,1	-2,2	-2,7	-4,6
Hlídková (2)	hřeben	3	5	15	33	45	75	2	4	10	1	1	2	0	0	3	-35,8	-56,8	-152,7	-4,4	-7,9	-111,9	-2,2	-3,2	-7,5
Pytlácké kameny (2)	hřeben	5	5	17	42	49	78	3	2	12	2	3	1	0	0	4	-44,3	-74,5	-166,3	-8,8	-34,2	-126,4	-2,4	-3,3	-5,9
Český vrch	hřeben	5	5	17	42	48	85	2	1	12	3	2	1	0	2	4	-60	-89,5	-177,9	-26,6	-59,3	-126,8	-3,6	-4,1	-6,6
Lasičí cesta (3)	svah	1	1	1	6	7	8	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-3	-4,4	-8,9	0	0	0	-0,9	-1	-1,7
Kleč (3)	údolí	27	28	36	125	147	187	16	13	15	10	13	18	1	2	3	-230,6	-296	-406,9	-133,5	-202,8	-295,2	-6,5	-7	-7,6

- 1) poškození čidla 30 cm, data nevěrohodná, evidentně chybné hodnoty odstraněny
- 2) od 1.5. do 6.5. talíř ulomen, čidlo 30 cm na slunci
- 3) měření od 6.5.



Graf 11 – Mrazová epizoda 2. – 3. května 2014



Graf 12 – Teploty 2014

## 5.7. Meziroční porovnání

Když se spočítají průměrné hodnoty za celé sledované období, tak vynikne, že největší množství mrazových nocí se objevuje v údolních lokalitách Kleč, Lánský a Kosodřevina. Nejméně mrazových nocí bylo zaznamenáno na lokalitách Lasičí cesta a Jelení stráň, které se nacházejí na svahu.

Nejnižší průměrná teplota ve výšce 30 cm nad povrchem se vyskytla na lokalitě Lánský. Ve výšce 100 cm pak byla nejnižší teplota na lokalitě Smědavská silnice. Nejnižší teplotu ve výšce 200 cm pak měly lokality Kleč a Kosodřevina. Nejvyšší teploty pak jsou zaznamenány u lokality Lasičí cesta.

V průměru pak vychází v oblasti údolí 5 mrazových nocí, jejichž nejnižší teplota klesá pod  $-4,1$  °C. U svahových lokalit se v průměru takovéto noci vůbec nevyskytují. Nejčastěji mrzlo na stanovišti Lánský, jelikož má v průměru nejvíce mrazových hodin ve 30 cm nad povrchem.

V dalších dvou výškách nejčastěji mrzlo na lokalitě Kosodřevina. Dále nejvyšší sumy hodinových záporných teplot se nacházejí na lokalitě Lánský, a to jak v kategorii celkové, tak v kategorii teplot nižších než  $-2$  °C. Naopak nejnižší sumy se nacházejí na lokalitě Lasičí cesta, ale tato lokalita byl zprovozněna až v posledním roce zkoumaného období. Pokud by tedy tato lokalita nebyla započítána, tak nejnižší hodnoty vycházejí pro lokalitu Jelení stráň.

Měsíce červenec a srpen jsou na mrazové noci poměrně chudé. Velké množství nočních mrazů je zaznamenáno v květnu a září. Měsíc červen zaznamenává nižší počty než květen, ale i tak se zde vyskytuje poměrně značné množství mrazových nocí

Tabulka 7 – Průměrné hodnoty

Průměr	počet mrazových nocí			počet mrazových hodin			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu 0 až -2 °C			počet mrazových nocí s nejnižší teplotou v intervalu -2,1 až -4 °C			počet mrazových nocí s nižší teplotou než -4,1 °C			suma hodinových záporných teplot			suma hodinových teplot nižších než -2 °C			minimální teplota		
	výška	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2
Panelka údolí	20	19	26	112	101	143	13	12	14	5	6	8	3	2	3	-247,5	-211,2	-311,1	-173,2	-139,9	-218,7	-5,7	-6,5	-7,2
Jelenka údolí/svah	7	9	17	40	49	92	5	6	10	2	2	4	1	2	3	-84,8	-108,6	-194,0	-59,6	-78,0	-139,0	-4,4	-5,1	-6,3
Jelení stráň svah	3	3	5	19	23	29	2	2	4	0	1	1	0	0	0	-28,5	-42,1	-50,2	-15,5	-28,0	-32,5	-1,8	-2,8	-3,2
Promenádní Smědavská silnice údolí/svah	4	8	20	23	41	98	2	6	12	1	2	5	0	1	3	-43,9	-83,9	-213,5	-27,1	-57,0	-155,3	-3,1	-5,0	-7,5
Celní cesta údolí	16	21	28	88	127	152	10	11	17	4	6	6	2	4	5	-192,1	-301,9	-360,4	-137,6	-230,0	-270,8	-6,3	-7,1	-8,1
Kosodřevina údolí	18	22	25	90	110	134	12	14	14	5	5	7	2	3	4	-153,3	-209,8	-282,4	-94,2	-134,6	-199,0	-5,2	-5,8	-6,5
Lánský údolí	22	26	31	120	146	190	15	16	14	5	7	12	2	3	5	-208,8	-278,1	-421,8	-118,7	-175,8	-303,8	-6,5	-7,0	-7,9
Střední hřeben Výzkumná plocha hřeben	4	5	6	21	27	35	4	3	4	1	1	2	0	0	0	-24,2	-32,2	-45,8	-5,4	-12,7	-15,7	-2,1	-2,4	-2,8
Hlídková hřeben	2	4	13	12	22	58	1	4	8	0	0	3	0	0	2	-12,7	-24,6	-98,9	-1,5	-2,6	-63,4	-0,8	-2,1	-5,3
Pytlácké kameny hřeben	3	4	14	16	26	66	2	3	8	1	1	3	0	0	2	-15,7	-35,5	-127,3	-2,9	-12,1	-88,5	-1,2	-2,4	-5,3
Český vrch hřeben	3	5	16	20	31	76	2	3	11	1	2	2	0	1	3	-26,0	-47,3	-149,1	-9,7	-24,9	-101,5	-2,6	-3,3	-5,9
Lasičí cesta svah	1	1	1	6	7	8	1	1	1	0	0	0	0	0	0	-3,0	-4,4	-8,9	0,0	0,0	0,0	-0,9	-1,0	-1,7
Kleč údolí	27	28	36	125	147	187	16	13	15	10	13	18	1	2	3	-230,6	-296,0	-406,9	-133,5	-202,8	-295,2	-6,5	-7,0	-7,6

## 6. Diskuse

Během této práce byly zjišťovány počty mrazových nocí a intenzita mrazu (tj. délka trvání a hodnoty mrazových teplot) během vegetačního období. Z dat bylo zjištěno, že k většímu počtu nočních mrazů dochází z jara a na počátku podzimu. Tento jev je podle Čaška (2017) dán tím, že během letních měsíců se zemský povrch mnohem více prohřívá, neboť záření výše vystupujícího Slunce má vyšší intenzitu a zároveň je delší světlá část dne. Díky tomu dochází k ohřevu chladného vzduchu a ten pak během krátké noci nestačí ztratit takové množství tepla. Naopak v květnu a září se díky celkovému chladnějšímu podnebí vzduch prohřívá méně a za prodlužujících se nocí dochází k výraznějšímu ochlazení.

Nejvýrazněji se takovéto ochlazení projevuje v údolích a kotlinách. Zde dochází během dne k zahřívání povrchu, čímž dochází k ohřívání a stoupání vzduchu. Takovýto údolní vítr se nazývá anabatické proudění. Po západu slunce však dochází k proudění katabatickému, kdy vzduch se snižující se teplotou těžkne a klesá. Podle Vysoudila (2009) tento těžký vzduch po svazích sklouzává do údolí a vytlačuje teplejší vzduch vzhůru. Díky těmto prouděním vznikají mrazové kotliny a noční mráz.

Dle Plasse (2015) se radiační mrazy v mrazových kotlinách vyskytují během vegetačního období každých 2–8 dní. Vegetační období v této práci je určeno jako doba od 30.4. do 1.10., což představuje 155 dní. Během těchto dní došlo průměrně v údolí k 30 mrazovým nocím. V tomto případě by po přepočtu vycházel průměrný interval mezi jednotlivými mrazy na 5 dní. Tyto intervaly však nepředstavují reálné výskyty mrazů, protože během letních měsíců dochází k nočním mrazům jen výjimečně.

Svahové lokality jsou nejteplejší a teplotně nejstabilnější, jelikož chladný vzduch po svahu postupně odtéká do údolí a je nahrazován mírně teplejším vzduchem z vyšších lokalit. Hřebenové lokality jsou vystaveny silnějším a rychlejším větrům, které zde promíchávají a ochlazují vzduch (Balcar, 2017). Tato tvrzení potvrzují i naměřené hodnoty. Největší počty mrazových hodin se vyskytovaly na lokalitách v údolí. Hřebenová stanoviště zaznamenala nižší počty mrazových nocí než ty údolní, ale zároveň vyšší než lokality svahové.

Je to dáno tím, že díky plochému tvaru chladný vzduch odtéká velmi pomalu. Navíc se zde můžou vyskytovat mikrokotlinky, v nichž se hromadí studený vzduch. Díky tomu na hřebenových lokalitách začíná mrazová noc nepatrně dřív než v údolích, ale nedosahuje takové intenzity. Jako například během mrazové epizody z 1. na 2. června 2014 kdy na lokalitě Panelka, která se nachází v údolí, klesla teplota pod bod mrazu v 1:00 SEČ, ale na hřebenové lokalitě Český vrch byla mrazová teplota zaznamenána už v 0:00 SEČ. Avšak mrazy na této lokalitě byly pouze přízemní, trvaly 3 hodiny a nejnižší naměřená teplota byla - 1,4 °C. U lokality Panelka trvala mrazová epizoda 4 hodiny, mrazové teploty zaznamenala všechna nadzemní čidla a nejnižší naměřená teplota zde byla - 2,5 °C.

Mrazové hodnoty se nejvíce projevují u povrchu země a s narůstající vzdáleností se teplota zvyšuje. Proto počty mrazových nocí a hodin ve výšce 30 cm převyšují počty ve výšce 100 a 200 cm. Tento jev se projevuje na všech lokalitách bez rozdílu jejich umístění. Tyto výsledky se shodují s výsledky Němcová (2013). Stejně tak byli zjištěny obdobné výsledky u sumy mrazových teplot, které jsou nejvyšší u přízemních čidel v kotlinách. Tato hodnota ukazuje intenzitu mrazových nocí na jednotlivých lokalitách a z výsledků je patrné, že s narůstající vzdáleností od povrchu klesá. Pod povrchem však k promrzání během vegetačního období nedochází, jelikož trvání mrazů není dostatečně dlouhé a díky záření během dne je půda prohřátá.

Výsledky jsou v souladu s výzkumem Gallo et al. (2014), kteří taktéž zjistili, že největší rozdíly se nacházejí ve výšce 30 cm nad povrchem. Rozdíly v počtech mrazových epizod a teplotách jsou dány topografickým umístěním lokalit. Z uvedené studie dále vyplývá, že teploty od - 2 do - 5 °C do výšky 100 cm mohou způsobovat výrazné poškození na lesních dřevinách při pozdních mrazech. Tyto škody jsou v jarním období způsobené tím, že přes den jsou vysoké teploty, které umožňují zahájení vývinu a otvírání pupenů. Tyto pupeny pak po poklesu teplot pod hranici -2 °C odumírají, čímž dochází ke zpomalení či zastavení růstu. Teploty pod touto hranicí se však během vegetačního období vyskytly na téměř všech lokalitách každý rok, a to i ve vyšších výškách od povrchu.

Vegetace má však vliv na vznik mrazových nocí na lokalitě, kde se nachází. V současné době se jedná především o mladé výsadby, které nejsou příliš schopné zadržovat radiální záření. S přibývajícím věkem však bude docházet ke změnám radiální bilance. Díky tomu budou data získaná v budoucnosti rozdílná od dat současných v návaznosti na schopnost růstu a přežití dřevin.

Důležité bude zjistit, zda jsou výzkumné porosty životaschopné a odrůstají. Proto bych doporučil pokračovat v měření a nově naměřená data porovnávat s dřívějšími výzkumy. Na lokalitách s živými porosty dle porovnání vyhodnotit schopnost snížit vliv radiálního záření na množství mrazových nocí a jejich intenzitu.

Z tohoto důvodu na některých lokalitách probíhaly a probíhají další výzkumy. Například Skibková (2018) využívala lokalitu Panelka k výzkumu „Obnovy lesa na extrémních horských stanovištích s využitím břízy karpatské“. Dle jejich výsledků od roku 2009 do roku 2017 došlo k úmrtnosti zhruba 10,9 %. Nejvyšší úmrtnost byla v letech 2010, 2011 a 2012. Celkově během těchto tří let odumřelo 8,1 % vysázených sazenic. V tomto případě je poškození bříz způsobeno spíše nepříznivými půdními podmínkami a mechanickým poškozením sněhem v zimním období. Mortalita v hodnotě 10 % je vzhledem ke stanovištním podmínkám přijatelná. Mráz byl škodlivý spíše pro výsadbu jeřábu (Kuneš, 2014), protože raší dříve a je citlivější na mráz než bříza. Dle Macko (2021) v roce 2011 způsobily silné mrazy na této lokalitě i zhoršení přírůstu.

Krom vegetace mohou být výsledky do značné míry ovlivněny poškozením čidel. Čidla byla v průběhu měření vystavena zvěři a nepříznivým klimatickým vlivům (zejména tlak sněhu), což mělo v některých případech za následek jejich poškození či ulomení podpěr. V jiných případech došlo k poškození kabelů hlodavci. Lze označit za pozitivní, že za celou dobu trvání měření nebylo zaznamenáno poškození způsobené vandalstvím, ačkoliv lokalita Jizerka je v letních i zimních měsících vyhledávanou a hojně navštěvovanou turistickou oblastí.

Z těchto důvodů některá data neodpovídají hodnotám, které by byly naměřeny ve standardní výšce, v níž by se čidlo mělo nacházet. V některých případech je poškození tak značné, že došlo k naprosté ztrátě dat. Pokud by k takovému poškozením nedošlo byla by naměřená data přesnější.



## 7. Závěr

Cílem této práce bylo porovnat vybrané lokality v Jizerských horách v závislosti na terénní konfiguraci. Hlavními zkoumanými hodnotami byly extrémní jevy během vegetačního období.

Těmito extrémními jevy jsou myšleny mrazové noci ve vegetační sezóně (pro účely této práce se jedná o období květen až září). Jejich výskyt je vázán především na jarní měsíce a září. Během těchto nocí dochází k poklesu teplot pod bod mrazu.

U mrazových nocí byly vyhodnocovány minimální teploty ve výškách 30, 100, 120 a – 10 cm. Dle dosažených minimálních teplot byly noci rozdělovány do intervalů 0 až -2, -2,1 až -4 a -4,1 °C a méně. Zároveň byly zaznamenávány mrazové hodiny a jejich záporné hodnoty. Následně byla vytvořena suma hodinových záporných hodnot a suma hodinových záporných hodnot, které klesly pod -2 °C. Nejmrazivější vegetační období bylo během roku 2011.

V průběhu 6 let bylo vybráno 15 lokalit na kterých byla sbírána data. Lokality jsou rozmístěny v údolí, na přechodové hraně mezi údolím a svahem, na svahu a hřebeni Jizerky.

Ze zpracovaných dat bylo zjištěno, že nejvíce jsou na radiační mrazy náchylné lokality, které se nacházejí v údolí. Naopak nejméně mrazů bylo zaznamenáno na svahových lokalitách. Bylo zjištěno, že ve výšce 30 cm nad povrchem mají údolní lokality v průměru 30 mrazových nocí. Hřebenová lokalita Jelení stráž pak měla v průměru pouze 5 mrazových nocí a minimální teploty nedosahovaly takové intenzity.

Na jaře a v září byly většinou záporné hodnoty naměřeny na všech čidlech, ale v průběhu letních měsíců se jednalo pouze o přízemní mrazíky. Naopak během letních měsíců čidla v blízkosti země měřila nejvyšší teploty. V tomto případě nejvyšších hodnot dosahovaly lokality, jež se nacházely v údolí. Lokality v mrazové kotlině proto oproti svahovým a hřebenovým lokalitám mají kromě častějšího výskytu mrazů také vyšší denní teplotní amplitudu.

## 8. Zdroje

- 1) Vonička P.: Entomologický výzkum Jizerských hor a Frýdlantska v letech 2000-2007. Sborník Severočeského Muzea, Přírodní Vědy, Liberec, 26: 3–12, 2008. ISBN 978-80-87266-00-7
- 2) Vonička, P.; Višňák, R.: Základní charakteristika zkoumaného území Jizerských hor a Frýdlantska. Sborník Severočeského Muzea, Přírodní Vědy, Liberec, 26: 13–33, 2008, ISBN 978-80-87266-00-7
- 3) Slodičák, M.; Balcar, V.; Borůvka, L.; Fadrhonsová, V.; Jurásek, A.; Hadaš, P.; Kacálek, D.; Kantor, P.; Kulasová, A.; Kulhavý, J.; Leube, F.; Lomský, B.; Matějka, K.; Mauer, O.; Navrátil, P.; Nárovec, V.; Novák, J.; Ostrovský, J.; Palátová, E.; Podrázský, V.; Rychnovská, A.; Řičář, L.; Skorupski, M.; Smejkal, J.; Souček, J.; Stoklasa, M.; Šach, F.; Šrámek, V.; Vacek, S.: Lesnické hospodaření v Jizerských horách. Lesy ČR, Hradec Králové; VÚLHM, Jíloviště-Strnady, 232 s, 2009.
- 4) Štěpánková, J.; Vavrušková, J.; Hašler, P.; Mazalová, P.; Pouličková, P.: Diversity and ecology of desmids of peat bogs in the Jizerské hory Mts. *Biologia* 63/6: 895—900, Section Botany, 2009, DOI: 10.2478/s11756-008-0139-3
- 5) Lomský B.; Šrámek V.; Novotný R.: Changes in the air pollution load in the Jizera Mts.: effects on the health status and mineral nutrition of the young Norway spruce stands. *Eur J Forest Res*, 2012, 131:757—771 DOI 10.1007/s10342-011-0549-6
- 6) Křeček J.; Hořická Z.: Degradation and recovery of mountain watersheds: the Jizera Mountains. Czech Republic, *Unasylyva*, 2001, 52(207): 43-47
- 7) Správa CHKO Jizerské hory, AOPK ČR, (online) Praha, (cit. 2020-11-16) dostupné z: <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/zakladni-udaje-ochko/>
- 8) Správa CHKO Jizerské hory, AOPK ČR, (online) Praha, (cit. 2020-11-16) dostupné z: <https://jizerskehory.ochranaprirody.cz/res/archive/132/017480.pdf?seek=1377771257>

- 9) Stehr, N.; von Storch, H.: *Klima, Wetter, Mensch*, Verlag C.H.Beck, 1999, ISBN 3 406 44613 2
- 10) Vysoudil, M.: Klasifikace místních klimatických efektů. *geografický časopis / geographical journal* 61, 2009, 3, 229-241
- 11) Houghton, J.: *Global warming*. Institute Of Physics Publishing, *Reports on progress in physics* 68, 1343–1403, 2005
- 12) Peters, G.; Andrew, R.; Boden, T.; Canadell, J.; Ciais, P.; Le Quéré, C.; Marland, G.; Raupach, M.; Wilson, Ch.: The challenge to keep global warming below 2 °C. *Nature climate change*, advance online publication, 2012, [www.nature.com/natureclimatechange](http://www.nature.com/natureclimatechange)
- 13) Braniš, M.; Hůnová, I.: *Atmosféra a klima. Aktuální otázky znečištění ovzduší*. Univerzita Karlova v Praze, 2009, ISBN: 978-80-246-1598-1
- 14) Rencová, M.: *Extrémy v teplotních řadách*. Katedra matematiky, FSV ČVUT, ROBUST, 2004
- 15) Beniston, M.; Stephenson, D. B.; Christensen, O. B.: Future extreme events in European climate: an exploration of regional climate model projections. *Climatic change* 81, s. 71-95, 2007.
- 16) Polášek, J.: *Míry extremity v meteorologii*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Bakalářská práce, Praha, 2012.
- 17) Hatfield, J.; Prueger, J.: Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Elsevier, Weather and Climate Extremes* 10, 4-10, 2015.
- 18) Avila, F.; Pitman, A.; Donat, M.; Alexander, L.; Abramowitz, G.: Climate model simulated changes in temperature extremes due to land cover change. *Journal of geophysical research: Atmospheres, Climate and dynamics*, 2012.
- 19) Herb, W.; Janke, B.; Mohseni, O.; Stefan, H.: Ground surface temperature simulation for different land covers, *Journal of Hydrology* 356, 327–343, 2008.
- 20) Dang, H.; Gillett, N.P.; Weaver, A.J.; Zwiers, F.W.: Climate change detection over different land surface vegetation classes. *International Journal of Climatology* 27 (2), 211–220, 2007.
- 21) Knozová, G.; Rožnovský, J.: Vliv prostředí na dynamiku srážek a teploty vzduchu. *Monitorování přírodních procesů*, Lednice 12. – 13. 9. 2018

- ISBN 978-80-7509-570-1, 978-80-87361-86-3. MENDELU, VÚMOP, v.v.i., 2018.
- 22) Čermák, P.: Chřadnutí smrku v oblasti severní a střední Moravy: jak reaguje smrk na klimatické změny. Sborník přednášek odborného semináře: Klimatické změny v podmínkách ČR, VÚLHM, 2014.
- 23) Pollack, H.; Smerdon, J.; Van Keken, P.: Variable seasonal coupling between air and ground temperatures: A simple representation in terms of subsurface thermal diffusivity. *Geophysical research letters*, VOL. 32, L15405, doi:10.1029/2005GL023869, 2005.
- 24) Mann, M.; Schmidt, G.: Ground vs. surface air temperature trends: Implications for borehole surface temperature reconstructions. *Geophysical Research Letters*, VOL. 30, NO. 12, 1607, doi:10.1029/2003GL017170, 2003.
- 25) Geiger, R.; Aron, R.H.; Todhunter, P.: *Climate near the ground*. 6th ed. Rowman & Littlefield Publishers Inc., Oxford, United Kingdom, 2003.
- 26) Klabzuba, J.; Kožnarová, V.: Nová metoda studia radiační bilance v porostu, „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“. Mikulov 9. – 11.9.2008, ISBN 978-80-86690-55-1, 2008.
- 27) Marková, I.; Janouš, D.: Radiační bilance mladého horského smrkového porostu. XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference, Lednice na Moravě 2.-4. září 2002, ISBN 80-85813-99-8, s. 290-296, 2002
- 28) Vysoudil, M.: *Meteorologie a klimatologie*, Univerzita Palackého, Olomouc, ISBN 978-80-244-3892-4, 2013
- 29) Kopáček, J.; Bednář, J.: *Jak vzniká počasí*. Univerzita Karlova, Praha, Karolinum, ISBN 80-246-1002-7, 2005.
- 30) Langvall, O.; Nilsson, U.; Orlander, G.: Frost damage to planted Norway spruce seedlings: influence of site preparation and seedling type. *For. Ecol. Manage.* 141: 223–235. doi:10.1016/S0378-1127(00)00331-5., 2001.
- 31) Lindkvist, L.; Lindqvist, S.: *Agricultural and Forest Meteorology*. Göteborg University, Earth Science Centre, Department of Physical Geography, Guldhedsgatan SC, 413 81 Göteborg, Sweden, 139-153, 1997.
- 32) Dy, G.; Payette, S.: Frost hollows of the boreal forest as extreme

- environments for black spruce tree growth. NSERC Northern Research Chair, Université Laval, Québec, Canada, *Can. J. For. Res.* 37: 492–504, 2007, doi:10.1139/X06-235.
- 33) Gallo, J.; Kuneš, I.; Baláš, M.; Nováková, O.; Drury, M.L.: Occurrence of frost episodes and their dynamics in height gradient above the ground in the Jizerské hory Mts. *Journal of forest science*, 60, 2014 (1): 35–41.
- 34) Balcar, V.; Špulák, O.; Kacálek, D.; Kuneš, I.: Climatic conditions in the jizerka experimental plot II – Temperature, wind and radiation. *Zprávy Lesnického Výzkumu*, 57, 2012 (2): 160-172.
- 35) Skibková, L.: Obnova lesa na extrémních horských stanovištích s využitím břízy karpatské. Diplomová práce, FLD ČZU, 51 s, 2018.
- 36) Čašek, M.: Prudké mezidenní poklesy teploty vzduchu a jejich sezonalita. Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, Praha, 2017.
- 37) Vysoudil, M.: Klasifikace místních klimatických efektů. *Geografický časopis*, 8, 61, 229–241, 2009.
- 38) Macko, J.: Produkce biomasy břízy pýřité na horském stanovišti. Diplomová práce, FLD ČZU, 78 s, 2021.
- 39) Němcová, L.: Teplotní gradient přízemních vrstev vzduchu na vybraných lokalitách náhorní plošiny Jizerských hor, FLD ČZU, 33 s, 2013.
- 40) Plasse, C.; Payette, S.: Frost hollows of the boreal forest: a spatiotemporal perspective, *Journal of Ecology*, 2015, 103, 669–678.
- 41) Kuneš, I.; Baláš, M.; Zahradník, D.; Nováková, O.; Gallo, J.; Nárovcová, J.; Drury, M.: Role of planting stock size and fertilizing in initial growth performance of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) reforestation in a mountain frost hollow. *Forest Systems*, 2014, roč. 23, č. 2, s. 273-287. ISSN: 2171-5068.