

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ

Lesnická a dřevařská fakulta

Ústav ekologie lesa



Lesnická
a dřevařská
fakulta

Mendelova
univerzita
v Brně



Teplotní režim v zapojeném smrkovém porostu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2014/2015

Helena Skarková

ZADÁNÍ

Čestné prohlášení:

Prohlašuji, že jsem práci *Teplotní režim v zapojeném smrkovém porostu* zpracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b Zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne

.....

Helena Skarková

Děkuji především vedoucímu své práce Mgr. Marianu Pavelkovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu a trpělivost při konzultacích. Děkuji Mgr. Lence Krupkové za rady ohledně statistického zpracování dat. Dále chci poděkovat pracovníkům CzechGlobe a Českému hydrometeorologickému ústavu za poskytnutí dat, která byla použita v mé bakalářské práci. V neposlední řadě děkuji svému manželovi a rodině za připomínky i za psychickou podporu.

Data ze stanice Štítná nad Vláří byla získána od Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) na základě licenční smlouvy č. 57/05/14.

Helena Skarková

Teplotní režim v zapojeném smrkovém porostu

Temperature regime in the closed spruce stand

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá teplotním režimem v letech 2011 až 2013 ve třech typech ekosystémů. Jedná se o smrkový a luční porost experimentálního ekologického pracoviště Bílý Kříž a o bukový porost na ekosystémové stanici Štítná nad Vláří. Je provedeno porovnání teplotního režimu v porostu s teplotou měřenou na blízké meteorologické stanici. Pro vybrané jasné a zatažené dny jsou analyzovány denní chody teploty a vertikální rozložení teploty v těchto porostech. Na základě lineární regrese je pro každý studovaný ekosystém vytvořen minimálně jeden matematický model. Pomocí těchto modelů je možné spočítat chod teploty ve smrkovém a bukovém lese a na louce podle dat měřených v blízkých meteorologických stanicích.

Klíčová slova: EEP Bílý Kříž, ES Štítná nad Vláří, lineární regrese, teplota

Abstract:

The bachelor thesis deals with analysis of the temperature regime in three types of ecosystems in the years 2011–2013. They are the spruce stand and the grassland at the experimental ecological study site of Bílý Kříž and the beech stand at the ecosystem station of Štítná nad Vláří. The comparison of the temperature regime in the stands with the temperature measured in the nearby climatological station is performed. Daily temperature cycles and the vertical temperature profiles in these stands are analysed for chosen clear and cloudy days. At least one mathematical model based on the principle of linear regression is created for every mentioned ecosystem. With the help of these models it is possible to calculate the temperature in the spruce and beech forests and in the grassland according to data measured in the nearby climatological stations.

Keywords: EESS Bílý Kříž, ES Štítná nad Vláří, linear regression, temperature

Obsah

1. Úvod	7
2. Cíl práce	9
3. Současný stav řešené problematiky	10
3.1 Teplota	10
3.1.1 Základní charakteristika teploty	11
3.1.2 Teplotní chody	11
3.2 Vliv teploty na fyziologii rostlin	12
3.2.1 Význačné teploty	13
3.2.2 Působení nízkých teplot	14
3.2.3 Působení vysokých teplot	17
3.2.4 Fotosyntéza	18
3.2.5 Dýchání	20
4. Motivace	22
5. Metodika	23
5.1 Použitá data a popis ekosystémů	23
5.1.1 Bílý Kříž	24
5.1.2 Štítná nad Vlárí	28
5.2 Zpracování dat	29
5.2.1 Vertikální teplotní profil	29
5.2.2 Chody teplot	31
5.2.3 Teplotní model	31

6. Výsledky	34
6.1 Vertikální teplotní profil	34
6.1.1 Smrkový porost	34
6.1.2 Luční porost	35
6.1.3 Bukový porost	36
6.2 Chody teplot	37
6.2.1 Smrkový porost	37
6.2.2 Luční porost	40
6.2.3 Bukový porost	42
6.3 Teplotní model	45
6.3.1 Smrkový porost	45
6.3.2 Luční porost	46
6.3.3 Bukový porost	47
7. Diskuse	50
7.1 Vertikální teplotní profil	50
7.2 Chody teploty	51
7.3 Teplotní model	52
8. Závěr	54
9. Summary	55
Literatura	57
Přílohy	61

ÚVOD

Tato bakalářská práce se zabývá teplotním režimem v různých typech ekosystémů – smrkového a bukového lesa a louky. Suchomel a kol. 2014 definují ekosystém jako „funkční soustavu živých a neživých složek zahrnující všechny organismy na určitém území (biocenóza) v jejich vzájemných vztazích a ve vztazích s fyzikálními a geochemickými činiteli prostředí (ekotop)“.

Lesy z hlediska prostorové struktury patří mezi nejsložitější a nejrozmanitější typy ekosystémů s obvyklým vertikálním členěním na patro stromové (nejdůležitější z hlediska primární produkce), keřové, bylinné a mechové. K roku 2013 zaujímají lesy v ČR přibližně 2 664 000 ha, což odpovídá 33,8 % rozlohy území (CENIA 2015). Luční ekosystémy jsou tvořeny vytrvalým bylinným porostem, ve kterém zpravidla převládají trávy. Dřeviny jsou zastoupeny v zanedbatelné míře nebo úplně chybí. V České republice zaujímají k roku 2013 louky a pastviny (trvalé travní porosty) rozlohu přibližně 994 500 ha, což odpovídá 12,6 % rozlohy České republiky (CENIA 2015).

K nejzávažnějším environmentálním problémům současnosti patří klimatické změny, které se projevují i změnou teplotních režimů. Dopad změn může být pro ekosystémy, zejména lesní, zásadní. Pokud změny budou probíhat velice rychle, může se stát, že lesní dřeviny, rostoucí na jednom stanovišti, nebudou schopné se nově vzniklé situaci přizpůsobit. Projevilo by se to zhoršeným zdravotním stavem, sníženou schopností přirozené obnovy a v krajním případě i odumíráním dřevin (Škvarenina a kol. 2013).

Předpokládá se posunutí lesních vegetačních stupňů do vyšších poloh. Znamenalo by to, že se v nižších polohách vytvoří méně příznivé podmínky pro vysoký les, což zřejmě povede k rozšíření xerothermní křovinové vegetace a vzniku lesostepních až stepních formací, a tím ke snížení celkové produkce biomasy v těchto polohách. Listnaté dřeviny (zejména duby, javory a buky) by se rozšířily do vyšších nadmořských výšek a zároveň

by došlo k výraznému snížení zastoupení smrku v nižších a středních polohách. Horní hranice lesa by se posunula do vyšších poloh, což by ovšem v těchto polohách výrazně zvýšilo potenciální produkci (Škvarenina a kol. 2013).

Očekává se, že s nárůstem průměrných ročních teplot dojde ke změně výparného režimu rostlin a jejich vyšším nárokům na vodu. Může dojít ke změnám v trvání jednotlivých fenologických fází a v jejich posunu do jiného období (dřívější nastoupení jarních fenofází a opožděné nastoupení podzimních), což může narušit další vývin rostlin (Merklová, Bednářová 2005). Takto by došlo k prodloužení vegetačního období dřevin na úkor období klidu, což by mohlo vyvolat stres, zhoršit reprodukční schopnost a snížit odolnost vůči škůdcům (Škvarenina a kol. 2013). Případné zvýšení teplotních výkyvů v zimě může narušit proces otužování rostlin, což by vedlo k většímu riziku poškození vlivem nízkých teplot. Vyšší průměrná teplota v zimě by mohla narušit proces jaroizace. Rovněž by mohlo dojít k narušení rozkladných procesů ve vrstvě povrchového humusu, což může mít pro dřeviny negativní následky (Kamlerová 2002).

Navíc i zdánlivě malé změny teplot se mohou projevit například změnou rozšíření škůdců a patogenů. Očekává se, že nárůst teploty přímo ovlivní agresivitu a infekčnost patogenů, zejména *Armillaria* spp., *Nectria* spp., resp. *Ophiostoma*. Postižení by se dotklo zejména smrčín, bučin a dubin (Škvarenina a kol. 2013). Co se týká škůdců, klimatické změny se nejvíce dotknou hmyzu. Zvýšení teploty přímo ovlivňuje aktivitu a vývoj podkorního hmyzu. Může dojít ke zkrácení trvání jejich vývojových stádií a k nárůstu počtu generací za rok, čímž se vysoce zvýší jejich reprodukční schopnost. Vyšší teploty mohou způsobit rozšiřování areálů domácích druhů a rychlejší šíření druhů invazních. Navíc by k nárůstu biotických škodlivých činitelů přispívalo oslabení dřevin vlivem výše zmiňovaných faktorů i změny struktury biotopů a kompetičních vztahů (Škvarenina a kol. 2013).

Les ovlivňuje klimatické poměry nad porostem a může působit jako homeostatický faktor důležitý pro stabilitu celého klimatického systému (Matejka a kol. 2007). Dojde-li vlivem nepřiměřeným teplot k jeho narušení, bude to mít dopad na široké okolí. Ze všech těchto důvodů je studování teplotního režimu v lesních, ale i jiných ekosystémech velice aktuálním a důležitým tématem.

CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je analyzovat chod teploty vzduchu naměřené během let 2011 až 2013 v různých typech ekosystémů – na louce, ve smrkovém lese a v bukovém lese. Srovnáním s blízkými meteorologickými stanicemi je vytvořen matematický model popisující teplotní režim v těchto vybraných ekosystémech. Získaný matematický model bude možné použít v obdobných typech ekosystémů, ve kterých se teplota neměří přímo, ale jsou k dispozici měření z blízkých stanic.

SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Základní informace o tom, jak teplota ovlivňuje vegetaci a naopak jak vegetace vytváří své klima, lze nalézt v různých vysokoškolských skriptech, a to zabývajících se bioklimatologií – např. Žalud (2010), nebo ekologií lesních ekosystémů – Ulbrichová (2005) či Suchomel a kol. (2014). Podrobnější informace lze dohledat v odborné literatuře věnující se výše zmiňované tématice – např. Monteith (1975), Larcher (1988), Atwell a kol. (1999), Arya (2001), Chapin a kol. (2002) či Perry a kol. (2008).

Působení teploty na fyziologii rostlin, informace o fotosyntéze a dalších pochodech rostlin jsou uvedeny v Procházkovi a kol. (1998), Šetlíkovi a kol. (2004) či v Pavlové (2005). Stresové reakce rostlin jsou dále popsány např. v Čermákovi a kol. (2014).

Obsáhlým zdrojem informací o vztahu vegetace–klima jsou příspěvky z konferencí ve sbornících, které vyšly pod vedením editorů Rožnovského a Litschmanna. Vertikálním teplotním rozvrstvením v lese se zabývají např. Kamlerová (2002), Hurtalová a kol. (2003), Střelcová a kol. (2003), Kamlerová (2004) nebo Hurtalová a kol. (2008). Matějka a kol. (2007) studují teplotní poměry nad smrkovým lesem. Srovnání teplotního režimu ovlivněného vegetací a na volné ploše popisují Merková, Bednářová (2005) nebo Čaboun (2008).

3.1 Teplota

Teplota patří spolu se světlem k nejdůležitějším vnějším faktorům, které ovlivňují růst a vývoj rostliny, a je limitujícím pro výskyt druhů v jednotlivých lokalitách. Teplota je určována jak radiačním režimem, tak tepelnými vlastnostmi prostředí, které mají vliv

na pohlcování, vyzařování, akumulaci a vedení tepla. V lesním porostu ovlivňuje teplotu druhové složení a hustota porostu, dále i jeho věk a struktura (Ulbrichová 2005).

3.1.1 Základní charakteristika teploty

Teplota (T) je jednou ze sedmi základních veličin SI. Je to termodynamický stav tělesa vyjadřující míru střední kinetické energie částic:

$$\langle E \rangle = \frac{3}{2}kT, \quad (3.1)$$

kde k je Boltzmannova konstanta ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$). Její jednotkou je kelvin (K).

Obecně se v Evropě používá Celsiova stupnice, která má z praktických důvodů počátek posunut do vyšších teplot, respektive jeho počátek udává teplotu mrznutí/tání vody, na rozdíl od absolutní nuly (0 K), která udává spodní limitu termodynamické teploty. Celsiova teplota (T_C) je definována vztahem:

$$T_C = T - 273,15, \quad (3.2)$$

který vyjadřuje posun počátku oproti termodynamické teplotě. Platí, že Celsiův stupeň je stejně velký jako kelvin a vyjadřuje stý díl mezi bodem tuhnutí a bodem varu za normálního tlaku 1013,25 hPa (Žalud 2010).

3.1.2 Teplotní chody

Teplota se v čase i s místem mění. Rozlišují se denní chod teplot, tedy teplotní změny během jednoho dne, a roční chod teplot, teplotní změny během jednoho roku.

Česká republika spadá do mírného klimatického pásu. Maximální hodnoty teploty vzduchu, popřípadě půdy, bývají v červenci a srpnu, a minimum teploty v lednu a únoru. V ročním chodu teploty se mohou vyskytovat relativně pravidelné odchylky od celkového rázu počasí, tzv. singularity. Bývá to např. výrazné ochlazení v první polovině května, oteplení koncem září (babí léto) či oteplení v období Vánoc (Vysoudil 2004; Kopáček, Bednář 2005).

Denní chod teploty vzduchu je charakterizován minimem teploty při východu Slunce a maximem kolem 14.–15. hodiny (Kopáček, Bednář 2005). V České republice hraje

v denním chodu teploty největší roli výška nad povrchem, tvar reliéfu, roční období, charakter počasí a přítomnost porostu. S přibývajícím výškou měření nad povrchem se velikost amplitudy teplot snižuje. Nad konvexními tvary, jako jsou kopce, je amplituda menší než nad konkávními tvary, jako jsou údolí. Na jaře bývá, kvůli relativně vysokému příkonu radiace během dne a nízké zásobě tepelné energie v půdě, denní amplituda nejvyšší, v zimě nejnižší. Je-li jasno a rychlost větru je nízká, jsou amplitudy mnohem vyšší než při silné oblačnosti. A konečně teplotní výkyvy snižuje i přítomný vegetační pokryv (Kopáček, Bednář 2005). Teplotní poměry na stanovišti jsou dále ovlivněny nadmořskou výškou, expozicí svahu, orientací horských pásem a dalšími faktory (Pavlová 2005).

3.2 Vliv teploty na fyziologii rostlin

Organismy i celá společenstva jsou vázány na určité rozpětí teplot, ve kterém mohou vegetovat a reprodukovat se. Rostliny jsou poikilotermní organismy, nemají tedy vnitřní regulaci teploty, teplota organismu má tendenci se přibližovat teplotě prostředí. Rostliny dělíme na eurytermní s širokým rozsahem teplot, při kterých mohou růst, a stenotermní, s úzkou teplotní valencí (Larcher 1988). Podle adaptace na teplotu se rostliny rozdělují na termofyty (teplobytné rostliny), psychrofyty (chladnobytné rostliny) a kryofyty (rostliny žijící ve sněhu).

Teplota působí na rostliny v zásadě dvojnásobem – kvantitativně, při kterém dochází k nárůstu biomasy, a kvalitativně, při které rostlina přechází z jedné fenologické fáze do druhé (Žalud 2010). Teplota má zásadní význam pro intenzitu základních životních reakcí a projevů rostlin jako je asimilace, transpirace a respirace. Tepelný režim ovlivňuje nástup dalších vývojových fází, dormanci semen, klíčení a tvorbu květů (Procházka a kol. 1998). Průměrná roční teplota a rozpětí teplot mají zásadní vliv na rozšíření vegetace a vznik vegetačních pásem na Zemi.

3.2.1 Význačné teploty

Význačnými teplotami, důležitými pro existenci rostlin i celých ekosystémů, jsou kardinální teplotní body – jedná se o teplotní minimum, teplotní optimum a teplotní maximum (Procházka a kol. 1998).

Teplotní optimum je rozsah teplot, v kterém je růst a vývoj při daném fyziologickém stavu největší. Závislost rychlosti růstu se v rozmezí teplot 5–35 °C řídí tzv. van't Hoffovým zákonem. Ten nám říká, že při zvýšení teploty o 10 °C se růstová rychlost zvýší 2–3× (Procházka a kol. 1998).

Teplotní maximum neboli maximální denní teplota udává odolnost proti přehřátí. Při dosažení maximální teploty ustává růst rostlin, při překročení teplotního maxima dochází k poškození organismu (Procházka a kol. 1998). Teplotní minimum pro začátek růstu, neboli minimální biologický teplotní práh či biologická nula, je průměrná denní teplota, při které asimilace převyšuje disimilaci, tedy proces fotosyntézy převyšuje dýchání. Aby rostlina mohla v pořádku růst, je třeba, aby nastoupily teploty trvale vyšší než teplotní minimum. I krátkodobý návrat nižších teplot může způsobit poškození rostlin – chladem či mrazem (Žalud 2010).

Přiblíží-li se teplota k teplotnímu maximu či minimu, rostlina na stres reaguje zrychlením metabolismu a zvýšenou respirací. Při překročení těchto teplot se životní pochody výrazně zpomalí a protoplazma se ocitne ve stavu anabiózy, rychlost fotosyntézy se výrazně sníží a v konečném důsledku jsou narušeny biologické membrány – dochází k trvalému poškození rostliny a jejímu následnému úmrtí (Larcher 1988). Poškození či zničení rostlin způsobené nepřiměřenou teplotou se hodnotí pomocí KT_{50} (kritické teploty 50 %), při které dochází k poškození 50 % rostlin v porostu, či LT_{50} (letální teploty 50 %), kdy je zničeno 50 % rostlin (Žalud 2010).

Kardinální body teploty nejsou konstanty, ale mění se se stářím rostliny. Teplotní optimum je různé nejen pro každý druh, ale i pro jednotlivé orgány téže rostliny. Teplotní optimum pro růst kořene bývá nižší než pro růst prýtu (Procházka a kol. 1998). Liší se i citlivost rostlinných orgánů k nízkým a vysokým teplotám. Semena a dormantní orgány jsou vůči extrémním teplotám výrazně odolnější než klíčící rostliny či listy (Pavlová 2005). Nadzemní části rostlin bývají méně citlivé na chlad a na horko

než kořenový systém a kořenový krček, tedy kromě reprodukčních orgánů, které jsou na chlad obzvlášť citlivé (Larcher 1988).

V souvislosti s teplotními požadavky různých druhů rostlin se používá např. pojem aktivní teplota, což je průměrná denní teplota vyšší než biologická nula, dále efektivní teplota vyjadřující rozdíl mezi aktivní teplotou a biologickou nulou. Dále se používají sumy aktivních teplot či sumy efektivních teplot (ty se používají jako kritéria pro růst a vývoj převážně polních plodin) a součty průměrných denních teplot vegetačního období, neboli vegetační termické konstanty (Žalud 2010).

3.2.2 Působení nízkých teplot

Při působení nízkých teplot rozlišujeme, zda je teplota nad či pod bodem mrazu. Nízká teplota nad 0°C způsobuje poškození chladem, je-li teplota pod 0°C , rostliny jsou poškozeny mrazem. Poškození chladem se týká především subtropických a tropických rostlin, pro většinu našich rostlin je významnější poškození mrazem (zimní holomráz, časný a pozdní mráz).

V našich podmínkách, ve kterých dochází ke střídání ročních období, je pro řadu rostlin důležité, aby byl průběh jejich fyziologických funkcí sladěn s ročními klimatickými cykly. Nízké teploty jsou pro mnoho druhů přímo existenčně nutné, ovlivňují načasování tvorby květů, zrušení dormance semen a pupenů, vývoj hlíz a cibulí atd. Většinou nestačí pouhé přizpůsobení se aktuálním podmínkám, některé procesy trvají dlouhou dobu a musí započít ještě před nástupem kritického faktoru. Týká se to například načasování doby kvetení na období s nejlepším rozložením vodních srážek, průběhem teplot a slunečního záření. Vyvinuly se adaptační reakce, které zabraňují rostlinám přechodu do fertálního stádia na podzim a iniciují tvorbu květů v optimálním období – na jaře a v létě. Tyto adaptace reagují na změnu délky dne, jedná se o fotoperiodickou indukci kvetení (fotoperiodizmus), nebo na sumu nízkých teplot, v tom případě se jedná se o jarovizaci (Procházka a kol. 1998).

Jarovizace může být fakultativní (nízké teploty nástup kvetení pouze urychlují – často u jednoletek), nebo obligatorní (nízké teploty jsou pro kvetení nezbytné – obvykle u dvouletek), přičemž v obou případech je nezbytné několikátýdenní působení nízkých teplot. Termín dejarovizace pak popisuje případ, při kterém vysoké teploty, hlavně na počátku jarovizace, mohou jarovizaci zpomalit či přímo zastavit. Jarovizace se vyskytuje u rostlin v oblastech, kde průměrná teplota nejchladnějšího měsíce nepřesáhne 10 °C. U dřevin se jarovizace vyskytuje jen ojediněle, u některých druhů listnatých stromů však nízké teploty (0–10 °C) působí podobně, neboť ruší zimní dormanci květních a vegetativních pupenů (Procházka a kol. 1998).

Citlivost k pravidelnému dennímu kolísání teplot vyjadřuje pojem termoperiodismus. Střídáním denních a nočních teplot dochází ke stimulaci růstových či vývojových procesů – klíčení, tvorbě nových pletiv a růstu prýtů (Larcher 1988).

Chlad

Nízké teploty výrazně ovlivňují metabolismus rostliny – snižují rychlost fotosyntézy, transport asimilátů apod. (Pavlová 2005). Dochází u nich ke změně fyzikálně-chemických vlastností membrán, při které lipidová vrstva přejde z optimální polotekuté konzistence do stavu gelu. Membrány se stanou pro ionty volně propustné, což vede k zastavení osmotických procesů až k odumření buňky. Z organel jsou na chlad nejcitlivější chloroplasty (Procházka a kol. 1998).

Citlivé na chlad jsou zejména květní orgány v raném stadiu vývoje. Poškození rostlin se dále projeví zpomalením růstu rostlin a vadnutím. Na listech vznikají nekrotické léze, listy mění barvu a usychají. U plodů se přeruší proces zrání, plody měknou a hnědnou, objevují se léze (Čermák a kol. 2015).

Rostliny se dokáží bránit poškození chladem díky tzv. aklimatizaci na chlad, při které dochází k hromadění osmoticky aktivních látek, k tvorbě stresových proteinů (*cold-induced proteins*) a ke změnám chemického složení lipidové vrstvy membrán, ve které se zvyšuje zastoupení nenasycených mastných kyselin (Procházka a kol. 1998).

Mráz

Poškození rostlin mrazem se projevuje tvorbou ledových krystalků mechanicky narušujících buněčné struktury a zároveň silnou dehydratací buněk, což způsobuje jejich odumření. Voda v mezibuněčných prostorech a v xylému (dřevním vodivém pletivu sloužící k transportu vody a v ní rozpuštěných anorganických látek) začíná mrznout při teplotách -1 až -3 °C (podle obsahu osmoticky aktivních látek). Pokud však nejsou přítomna vhodná krystalizační jádra, zůstává voda v tekutém podchlazeném stavu až do -38 °C (Procházka a kol. 1998; Pavlová 2005).

Odolnost vůči mrazu spočívá ve schopnosti zabránit tvorbě ledových krystalků uvnitř buněk (tedy v symplastu) a dlouhodobě tolerovat přítomnost ledu v buněčných stěnách a v xylému (v apoplastu). Snížení bodu tuhnutí roztoků je možné dosáhnout přítomností osmoticky aktivních látek jako cukrů či aminokyselin. Další možností je udržovat vodu v tekutém stavu i pod bodem tuhnutí, k čemuž je nutné odstranit všechny látky, které by mohly sloužit jako krystalizační jádra. Důležitou roli hrají protimrazové proteiny (*antifreeze proteins*), které mají schopnost obalit vznikající krystalek ledu, tím dojde k zamezení přístupu vody ke krystalku a ke zpomalení jeho nárůstu (Procházka a kol. 1998; Pavlová 2005).

K vytvoření zimní odolnosti je nutné, aby došlo k postupnému poklesu teplot. Při tom dochází k utlumení buněčných funkcí a řízenému procesu dehydratace. Zatímco u bylin stačí k aklimatizaci několik dnů s teplotami blízko nule, u dřevin je odolnost vůči mrazu poměrně složitý proces. K přípravám na zimní období u nich dochází již koncem léta a jejich odolnost se plynule zvyšuje až do nástupu zimních mrazů. Z toho vyplývá, že mrazuvzdornost má silně sezónní charakter. Rostliny, které jsou v zimě vůči mrazu odolné, což je většina našich dřevin, těžce snáší letní snížení teplot pod bod mrazu. Sezónnost mrazuvzdornosti u rostlin je jeden z důvodů, proč je mráz ve vegetačním období nebezpečnější než mimo vegetační období (Procházka a kol. 1998).

Časné mrazy se vyskytují před koncem vegetačního období a největší škody způsobují, zejména pokud byl teplý a vlhký podzim. Poškozují zejména mladé výhony, které ještě nezdřevnatěly, a způsobují předčasný opad listů. Pozdní mrazy se vyskytují hlavně v květnu a červnu za jasných bezvětřných nocí. Poškozují rozvíjející se pupeny, výhonky

a květy, ty vadnou, hnědnou, černají, až úplně odumřou a odpadnou (Čermák 2013).

Zimní mrazy způsobují odumírání větví a výhonů, poškození pletiv kůry a lýka. Prudké teplotní výkyvy, nejčastěji na osluněné jižní či jihozápadní straně kmene, vyvolávají napětí v pletivech kmene, které mohou vést k vzniku mrazových trhlin či mrazových kýl. Při opakovaném popraskání může dojít k infikování dřevokaznými houbami. Mrazové trhliny se týkají hlavně buku, habru a jedle. Méně často může dojít ke vzniku mrazových kýl, které postihují především stromy s širokými dřeňovými paprsky (kromě buku, habru a jedle i např. dub, topol či jilm). Mrazová kýla vzniká při náhlém ochlazení prudkým smrštěním běle. Je to roztržení kmene často až ke dřeni, které zarůstá novým letokruhem, a postupně se tak podél trhliny vytváří hojivé pletivo v podobě lišty (Čermák 2013; Čermák a kol. 2015)).

Při dlouhodobě výrazně nízkých teplotách může dojít k promrznutí korun, což se u listnatých stromů projeví omezenou schopností rašení nových větví či větší náchylností na uschnutí během léta. U buku se může vytvářet tmavé mrazové jádro. Při holomrazech může rozdílná teplota ve dne a v noci způsobit povytahování sazenic – v noci zmrzlá půda nabývá na objemu, terén se zdvihá a během dne roztátá půda znovu klesá, přičemž sazenice zůstávají povytažené. Velkým problémem může být i tzv. fyziologické sucho. Vyšší teploty v brzkém jaře způsobí vyšší transpiraci rostliny, ale jelikož je voda v půdě ještě v pevném stavu, nastává u rostliny vodní deficit. Konečně je třeba zmínit i další faktor s mrazem související – sněh. Kompaktní sněhová pokrývka může vést u rostlin k nedostatku kyslíku a k hromadění toxických látek, u dřevin může váha sněhu způsobit zlomení větví (Čermák 2013).

Obecně platí, že na jižních slunečných svazích bývá poškození mrazem častější než na severních svazích – nejvíce se tam projevuje rozdíl teplot mezi dnem a nocí, zároveň tam dřeviny raší dříve a častěji se s mrazem setkávají. Mrazem trpí více rostliny v mrazových kotlinách, terénních sníženinách, do kterých chladný vzduch stéká.

3.2.3 Působení vysokých teplot

Stupeň poškození vysokými teplotami je dán součinem teploty a doby jejího působení. Znamená to, že čím delší dobu vysoká teplota působí, tím škodlivější účinek vyvolá.

U rostlin přizpůsobených mírnému klimatu se kritické teploty pohybují většinou v rozmezí 40–50 °C. Teploty v ČR ale zpravidla nejsou tak vysoké, místo poškození často rostlinám vyvolávají jen stavy stresu, což se může projevit zpomalením růstu či omezením tvorby některých orgánů (Žalud 2010; Čermák a kol. 2015).

Při přehřátí rostlin lipidová vrstva membrán přechází do pozmeněného, lamelárně-kapalného stavu, ve kterém nemůže plnit svoje základní funkce. Postupně může dojít až k denaturaci proteinů. Vysoké teploty rovněž vyvolávají rozpad cytoskeletu, což se projeví zastavením proudění cytoplazmy (Procházka a kol. 1998).

Při působení vyšších teplot se rychle tvoří stresové proteiny (*heat-shock proteins*), které podporují aklimatizaci. Tyto proteiny patří k evolučně nejstarším, neboť se vytváří jak u rostlin a živočichů, tak i u hub a bakterií. Zvýšení odolnosti vůči vysokým teplotám podporuje vyšší podíl nasycených mastných kyselin ku nenasyceným a vyšší podíl sterolů v lipidové vrstvě (Procházka a kol. 1998).

Při dlouhodobě působících extrémně vysokých teplotách může docházet k odumírání listových pletiv. Nejčastější poškození stromů vlivem vysokých teplot je však korní spála. Objevuje se při náhlém zahřátí na jižní a jihozápadní straně kmene, většinou starších stromů a stromů s hladkou kůrou. Dojde k popraskání kůry a následně k jejímu opadu, obnažené dřevo praská a může být postiženo hnilobami. Nejčastěji bývá korní spálou postižen buk, smrk, javor, habr či jedle. Vysoké teploty jsou nebezpečné i pro mladé stromky – u semenáčků a sazenic může docházet kvůli přehřátí půdního povrchu k poškození kořenového krčku a následnému odumírání semenáčků (Žalud 2010; Čermák 2013).

3.2.4 Fotosyntéza

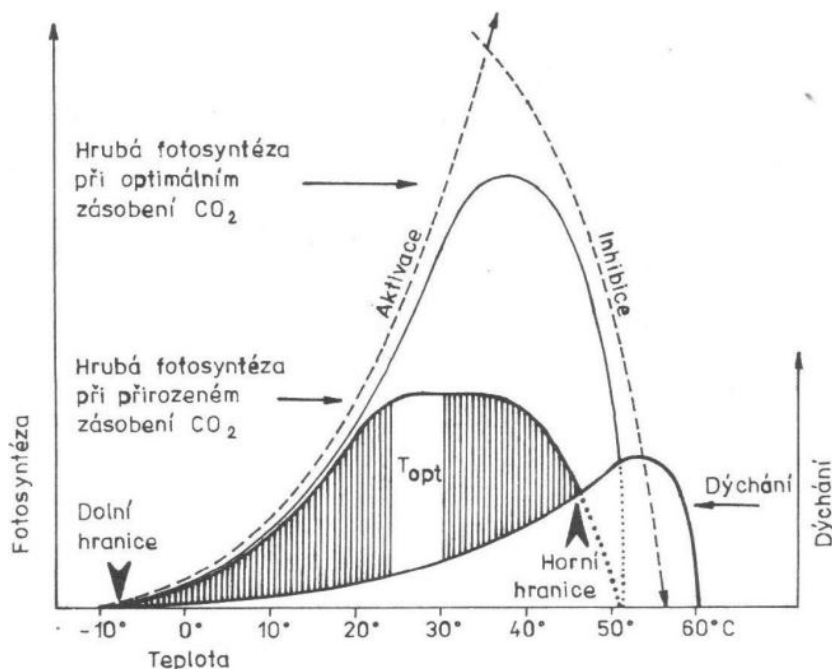
Drtivá většina vyšších zelených rostlin se řadí mezi fotoautotrofní organismy. Znamená to, že rostliny získávají energii ze záření, a to pomocí fotosyntézy. Z energeticky chudých anorganických látek vznikají organické látky, z kterých čerpá energii celá biosféra. Tvorba energeticky bohaté molekuly glukózy je navíc provázána produkcí kyslíku, nezbytného pro život většiny organismů.

Prvním stabilním produktem v procesu zabudování uhlíku do molekuly glukózy může být 3-fosfoglycerát, což je molekula se třemi atomy uhlíku, proto se těmto rostlinám říká rostliny C3 a soubor reakcí fixujících CO₂ se označuje jako Calvinův cyklus. Další variantou je vznik čtyřuhlíkatého oxalacetátu u rostlin C4, tento cyklus se nazývá Hatch-Slackův. U tučnolistých rostlin je primárním produktem rovněž oxalacetát, fixace CO₂ je ale u nich označována jako metabolismus CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*) (Procházka a kol. 1998).

Rostliny C3 jsou adaptovány na mírné klima. Teplotní optimum pro fotosyntézu u nich leží mezi 15 a 25 °C, teplotní minimum kolem 0 °C, i když u některých druhů probíhá fotosyntéza až do -10 °C. Jejich maximální rychlost růstu je mezi 0,5–2 g sušiny na 1 dm² za den (Procházka a kol. 1998). Rostlinám C4 obecně vyhovuje spíše sucho, vysoká intenzita slunečního záření a nízká vzdušná vlhkost, při těchto podmínkách dosahují nejvyšší rychlosti růstu, a to až 4–5 g sušiny na 1 dm² za den. Optimum teplot pro fyotosyntézu u nich leží v rozmezí 25 až 40 °C. Jejich fotosyntéza je energeticky náročnější než u rostlin C3 (Procházka a kol. 1998). Rostliny CAM jsou výborně adaptovány na suché prostředí, vysokou intenzitu slunečního záření a veliký rozdíl mezi denními a nočními teplotami. Teplotní optimum pro fotosyntetické procesy je pro ně až kolem 40 °C, jejich maximální rychlost je pouze mezi 0,012-0,020 g sušiny 1 dm² za den (Procházka a kol. 1998).

Rychlost fotosyntézy je ovlivňována celou řadou faktorů, od stáří a fyziologického stavu rostliny, přes anatomickou stavbu listů a obsah chlorofylu po teplotu, koncentraci CO₂ a množství světla. Pokud předpokládáme konstantní ozářenost a koncentraci CO₂, rychlost fotosyntézy závisí na teplotě tímto způsobem (Obr. 1): se zvyšující se teplotou roste i rychlost fotosyntézy, a to až do kritické hodnoty teploty, při které rychlost fotosyntézy dosahuje svého maxima. Při ještě vyšších teplotách se začne rychlost fotosyntézy snižovat. Nejvyšší teplota, při které je oxid uhličitý uvolněný dýcháním ještě znovu asimilován, se nazývá kompenzační bod. Při dalším zvyšování teplot převáží nad fotosyntézou respirace a CO₂ z rostliny uniká (Larcher 1988). Pokud teplota bude ještě vyšší, projeví se brzdící účinek způsobený poškozením membrán a denaturací bílkovin (Šetlík a kol. 2004).

U C3 rostlin, na rozdíl od C4 rostlin, dosahuje křivka maxima za nižších teplot, při kterých ještě nedochází k poškození rostlin. U C4 rostlin je fotorespirace potlačena, a proto pokles rychlosti fotosyntézy nastane, až když dojde k poškození fotosyntetického aparátu. Pokud fotosyntéza probíhá při nízké ozářenosti, křivka nemá část se vzestupnou tendencí a rychlost fotosyntézy se zvyšující se teplotou pouze klesá (Šetlík a kol. 2004).



Obr. 1: Znázornění teplotní závislosti fotosyntézy a respirace.

3.2.5 Dýchání

Dýchání je soubor procesů, jimiž rostliny zajišťují využití asimilátů pro pokrytí svých potřeb. Při tom se redukuje kyslík na vodu a uvolňuje CO_2 . Při totožné biochemii dýchání lze rozlišit jeho dvě složky, a to udržovací a růstové dýchání. Udržovací dýchání souvisí s udržováním základních funkcí a struktur, kdy rostlina neroste. Je úměrné hmotnosti sušiny rostliny a denně se jím spotřebuje 1–3 % hmotnosti sušiny rostliny. Při růstovém dýchání dochází k přeměně asimilátů na nejrůznější struktury rostliny a za jeden den se jím rozloží asi 25 % všech asimilátů vytvořených v průběhu denní

fotoperiody (Procházka a kol. 1998). Teplotní minimum respirace je kolem 0 °C, teplotní maximum nad 50 °C a teplotní optimum v rozmezí 25–30 °C (Larcher 1988) až 30–40 °C (Procházka a kol. 1998).

Respirace je méně citlivá na růst teploty než fotosyntéza. Teplotní závislost rychlosti dýchání R_D bývá vyjadřována pomocí charakteristiky Q_{10} , která určuje změnu rychlosti dýchání při změně teploty o 10 °C. Se stoupající teplotou se dýchání zvyšuje exponenciálně. V rozsahu teplot zhruba od 10 °C do 25 °C se rychlost dýchání při zvýšení teploty o 10 °C zdvojnásobuje ($Q_{10} = 2$) (Procházka a kol. 1998; Agren, Andersson 2012). Při vyšších teplotách dýchání převyší fotosyntézu a dochází ke spotřebování asimilátů. Při teplotách mezi 50 a 60 °C dochází k poškození enzymů a membránových struktur a dýchání ustává (Larcher 1988).

MOTIVACE

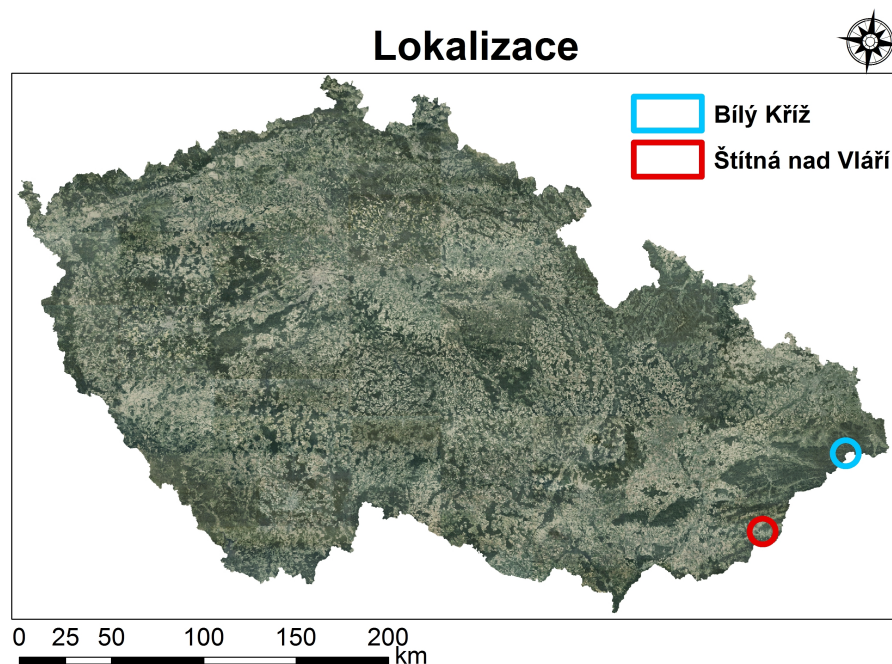
Teplota ovlivňuje prakticky všechny biologické procesy v ekosystému. V současné době dochází ke změnám klimatu, což se projevuje i změnou teplotního režimu. Dopad na ekosystémy proto může být zásadní. Teplota se však standardně v porostu neměří, dostupná jsou většinou pouze data z meteorologických stanic nacházejících se na volných plochách.

Tato bakalářská práce se zabývá studiem a popisem rozdílů mezi teplotou měřenou na meteorologických stanicích a v různých typech ekosystémů. Pomocí vytvořených modelů lze spočítat teplotu ve studovaných ekosystémech, a tak přispět k přesnějšímu odhadu výskytu škůdců i odhadu nárůstu biomasy. Je možný i přesah do problematiky vývoje vodního provozu rostlin, který je do značné míry teplotou ovlivněn.

METODIKA

5.1 Použitá data a popis ekosystémů

Pro tuto práci byla použita data z let 2011, 2012 a 2013, která byla získána v několika rozdílných ekosystémech. Jedná se o horský smrkový les experimentálního ekologického pracoviště (EEP) Bílý Kříž, horský luční porost na stejném pracovišti a dále o bukový les výzkumného pracoviště Štítná nad Vláří.



Obr. 2: Lokalizace EEP Bílého Kříže a Štítné nad Vláří. Mapa byla vytvořena v programu ArcGIS (Esri, USA).

Tato pracoviště patří do celosvětové sítě ekosystémových stanic (ES) a monitorovacích bodů zaměřených na sledování, kvantifikaci a vyhodnocování toku energie a

látek v různých typech ekosystémů. Primární úlohou ES je měření výměny skleníkových plynů (CO_2 , H_2O , CH_4 , N_2O) mezi ekosystémem a atmosférou. Její součástí je měřicí věž nesoucí systém sledování porostního mikroklimatu: měří se dopadající, odražené a prostupující globální, dlouhovlnné a fotosynteticky aktivní radiace, dále výškový gradient teploty a vlhkosti vzduchu, hloubkový gradient půdy, rychlost a směr proudění vzduchu, úhrn srážek a koncentrace CO_2 (CzeCOS 2014).

ES jsou součástí národní vědecko-výzkumné infrastruktury pro sledování uhlíku v ČR CzeCOS i součástí evropské infrastruktury projektu ICOS (Integrated Carbon Observation System) začleněného do mezinárodní výzkumné infrastruktury ESFRI (European Strategy Forum on Research Infrastructures). Zřizovatelem a provozovatelem těchto výzkumných pracovišť je CzechGlobe — Centrum výzkumu globální změny Akademie věd ČR, v. v. i. (CzeCOS 2014).

Teplota v lese a na louce na Bílém Kříži byla porovnáвана s teplotou měřenou na stanici na stejném pracovišti. Teplota v bukovém porostu byla porovnáвана s teplotou měřenou na stanici patřící Českému hydrometeorologickému ústavu (ČHMÚ). Následující informace o EEP Bílý Kříž a ES Štítná nad Vláří jsou čerpány z Markové a kol. (2011) a Markové a kol. (2013).

5.1.1 Bílý Kříž

Experimentální ekologické pracoviště Bílý Kříž se nachází v nejvýchodnější části České republiky v CHKO Beskydy. Patří do katastrálního území Staré Hamry v okrese Frýdek-Místek. Jeho poloha je určena souřadnicemi $49^{\circ}30'$ s. š. a $18^{\circ}32'$ v. d. Nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 850–908 m. Geologické podloží je tvořeno flyšovými vrstvami s převahou pískovců, půdním typem je typický humusoželezitý podzol s mor-moderovou formou humusu. Jedná se o mírně chladnou, vlhkou a srážkově bohatou oblast v 5. lesním vegetačním stupni, dle Quitta (1971) zařazenou do oblasti CH 4. EEP Bílý Kříž vzniklo v roce 1986 v rámci projektu „Komplexní výzkum vlivu imisí na lesy a lesní hospodářství Beskyd“. EEP Bílý Kříž je součástí celosvětové měřicí sítě FLUXNET.

Data pro tuto práci byla v rámci EEP Bílý Kříž sbírána na třech stanovištích – v lesním porostu, lučním porostu a na klimatologické stanici.

Smrkový porost

Lesní porost byl založen v roce 1981 řadovou výsadbou čtyřletých sazenic smrku ztepilého (*Picea abies* [L.] Karst.) ve sponu 2×1 m a orientací řad ve směru sever-jih. Tento porost je určen lesním typem 5S1 a cílovým hospodářským souborem HS 551. V roce 2011 byla hustota porostu 1 488 stromů na hektar, střední výška 14,6 m, průměrná výčetní tloušťka 16,9 cm a celková nadzemní biomasa 114,41 t/ha. Porost byl vysázen na JJV svahu o průměrném sklonu $12,5^\circ$. Půdním typem je modální podzol či modální kryptozol s mělovou nebo typickou morovou formou povrchového humusu. Půda je středně hluboká až mělká, hlinitopísčité až písčitohlinitá s poměrně nízkým obsahem živin a s vyšším obsahem skeletu ve spodních vrstvách. Výzkum v této horské smrčtině byl zahájen v roce 1994.



Obr. 3: Smrkový porost na EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D.

Vertikální rozložení teploty vzduchu v korunové vrstvě porostu a nad ní je měřeno pomocí čidel EMS 33. Čidla jsou umístěna ve výškách 2 m, 7,7 m, 11 m, 12,6 m, 13,5 m, 14,3 m, 14,8 m, 15,4 m, 16,5 m, 18,7 m, 23,1 m a 30,8 m. Uvedené charakteristiky jsou měřeny ve 30s intervalech, ze kterých jsou ukládány průměrné 10minutové hodnoty.



Obr. 4: Čidla EMS 33 na meteorologické věži ve smrkovém porostu EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D. (upraveno).

Pro analýzu denního, měsíčního a ročního chodu teplot a pro vytvoření matematického modelu bylo užito dat naměřených ve výšce 2 m v intervalu 30 minut. Pro analyzování vertikálního rozložení teplot v porostu bylo využito měření čidel v celém výškovém rozsahu.

Luční porost

Louka na EEP Bílý Kříž je sečena jednou za vegetační sezónu. Tvoří ji společenstvo *Nardus-Callunetea* s dominantními rostlinami *Festuca rubra* agg., *Veronica officinalis* a *Hieracium laevigatum*. Nachází se na svahu se sklonem mezi 7,5–9,5 ° a expozicí na JV až VJV. Půdotvorným substrátem jsou jílovce, půdním typem je kambický pseudoglej s moderovou formou povrchového humusu (drnová subforma).



Obr. 5: Luční porost na EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D.

Výzkum v tomto horském lučním porostu byl zahájen v roce 2003. Teplota vzduchu je měřena pomocí čidel EMS 33 ve výškách 0,5 m, 1 m, 2 m, 2,7 m, 3,3 m, 4 m a 5 m. Záznam a výpočet dat probíhá stejným způsobem jako v předchozím případě.

Pro analýzu denního, měsíčního a ročního chodu teplot a pro vytvoření matematického modelu bylo užito dat naměřených ve výšce 2 m v intervalu 30 minut. Pro analyzování vertikálního rozložení teplot v porostu bylo využito měření čidel v celém výškovém rozsahu.

Klimatologická stanice

Klimatologická stanice se nachází ve výšce 894 m n. m. Nacházejí se zde meteorologická budka a automatická stanice. Uvnitř meteorologické budky jsou čidla pro měření teploty vzduchu. Ta je měřena během celého roku v intervalu 30 s ve výšce 2 m nad zemí pomocí čidla EMS 33, do paměti jsou ukládány průměrné 10minutové hodnoty.

Pro srovnání teplotního chodu s lesním a lučním ekosystémem a pro vytvoření modelu byly použity hodnoty teploty měřené v intervalu 30 minut.

5.1.2 Štítná nad Vlárí

Horská bučina je výzkumnou plochou ekosystémové stanice Štítná nad Vlárí, která se nachází 4 km jižně od centra obce Štítná nad Vlárí v povodí Zelenského potoka, v 1. zóně CHKO Bílé Karpaty. Spadá do stejnojmenného katastrálního území ve zlínském okrese. Její poloha je určena souřadnicemi 49°02' s. š. a 17°58' v. d. Pracoviště leží v nadmořské výšce 550 m, geologické podloží je tvořeno terciárními alpínskými zvrásněnými horninami, jako jsou pískovce či břidlice, půdním typem je kambizem. Podle Quitta (1971) se jedná o oblast mírně teplou, MT 5. ES Štítná nad Vlárí patří do 4. vegetačního stupně. Výzkumné pracoviště bylo spuštěno roku 2009.

Bukový porost

Bukový porost náleží do PLO 38 a do lesního typu 4S7. Dominantní dřevinou je buk lesní (*Fagus sylvatica* L.) s vtroušeným modřínem (*Larix decidua*). V roce 2011 byl věk porostu 108 let, zakmenění 10 (plný zápoj), hustota porostu 283 stromů na hektar, střední výška 32,2 m, výčetní tloušťka 35,5 cm a celková nadzemní biomasa 303 tun na hektar.

Teplota vzduchu je měřena pomocí čidel EMS 33 ve výšce 2 m, 12 m, 22 m, 28 m, 30 m, 33 m, 38 m a 44 m. Měření probíhá každých 30 s a z těchto záznamů jsou ukládány do paměti 10minutové průměrné hodnoty.

Pro popsání denního, měsíčního a ročního chodu teplot a pro vytvoření modelů bylo užito dat naměřených ve výšce 2 m v kroku 30 minut. Pro analyzování vertikálního rozložení teplot v porostu bylo využito měření čidel v celém výškovém rozsahu.

Meteorologická stanice

Meteorologická stanice Štítná nad Vlárí – Popov (ID B1STIT01) patří Českému hydrometeorologickému ústavu. Jedná se o automatizovanou klimatologickou stanici I. typu (AKS1) umístěnou v nadmořské výšce 315 m n. m. Měření teploty se provádí pomocí automatických přístrojů s intervalem záznamu 10 minut (ČHMÚ 2015).

Pro porovnání teplotního chodu v bukovém porostu a pro vytvoření matematických modelů byly použity hodnoty teploty naměřené v intervalu 30 minut.



Obr. 6: Meteorologická věž v bukovém porostu na ES Štítná nad Vlárí. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D.

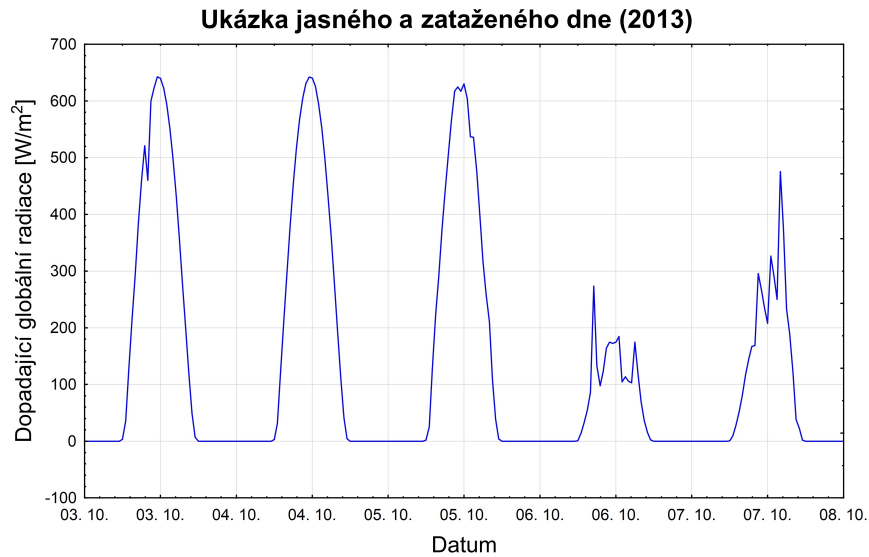
5.2 Zpracování dat

Data byla zpracována v následujících programech: Excel (Microsoft, USA) pro všestrannou práci s daty a lineární regresi a Statistica (StatSoft, USA) pro vytváření grafů.

5.2.1 Vertikální teplotní profil

Pro všechny tři ekosystémy bylo popsáno vertikální rozložení teploty měřené ve 12:00 SEČ. Z každého ročního období byl vybrán jeden jasný a jeden zatažený den. Rozlišení dnů jasných a zatažených bylo prováděno vizuálně (Obr. 7). V jasných dnech má křivka dopadající globální radiace tvar Gaussovy křivky s maximem kolem poledne,

v zatažených dnech má křivka nepravidelný tvar a dosahuje zpravidla nižších hodnot (Janouš, Marková 2003; Žalud 2010).



Obr. 7: Ukázka globální (krátkovlnné) radiace dopadající na korunovou vrstvu smrkového porostu na EEP Bílý Kříž. 4. 10. byl považován za jasný den, 6. 10. za den zatažený.

Dny byly zvoleny tak, aby mezi nimi nebyl příliš dlouhý časový úsek, zhruba do jednoho týdne (Tab. 1). Tím se minimalizoval vliv dalších faktorů, které by mohly ovlivnit vertikální rozložení teploty vzduchu.

Tab. 1: Vybrané jasné a zatažené dny na EEP Bílý Kříž a na pracovišti Štítná nad Vlárí.

		Jaro	Léto	Podzim	Zima
Bílý Kříž	Zataženo	9. 4. 2013	30. 6. 2013	6. 10. 2013	15. 12. 2013
	Jasno	15. 4. 2013	2. 7. 2013	4. 10. 2013	13. 12. 2013
Štítná nad Vlárí	Zataženo	5. 4. 2013	20. 8. 2013	6. 10. 2013	19. 12. 2012
	Jasno	8. 4. 2013	16. 8. 2013	4. 10. 2013	21. 12. 2012

5.2.2 Chody teplot

Pro všechny tři ekosystémy bylo provedeno znázornění denního chodu teploty měřeného ve 2 m v intervalu 30 min. K tomu byl vybrán vždy jeden jasný a jeden zatažený den v každém z ročních období. Pro všechny lokality se jedná o stejné dny, jako v případě zpracování vertikálního teplotního rozvrstvení (Tab. 1).

V každém studovaném ekosystému byl popsán jeden měsíční chod teploty vzduchu (v intervalu 30 min). Dále byly vytvořeny grafy znázorňující roční chod teploty vzduchu v intervalu 30 min a roční chod průměrných denních teplot, a to ve všech třech studovaných ekosystémech v porovnání s chodem teploty na blízké stanici.

5.2.3 Teplotní model

Pro každý studovaný ekosystém bylo cílem vytvořit model, který popíše chod teploty v ekosystému na základě jiných parametrů. Nejprve byl vytvořen model na základě teploty z blízké stanice, dopadající globální radiace a dne v roce. Tento model se však ukázal jako složitý a nespolehlivý, a proto se od něho ustoupilo.

Pro každý ekosystém byl následně vytvořen model, který pomocí teploty naměřené na blízké stanici vypočítává teplotu v daném ekosystému. Jelikož se předpokládala lineární závislost mezi oběma teplotami, byl model vytvořen na principu lineární regrese. Ta představuje aproximaci daných hodnot přímkou na principu metody nejmenších čtverců, tedy aby součet druhých mocnin odchylek jednotlivých bodů od přímky byl co nejmenší.

Postupovalo se tak, že se z každého roku vybralo náhodným výběrem 80 % hodnot, které posloužily pro tvorbu modelu (dále „modelová data“), a zbylých 20 % sloužilo k otestování modelu („testovací data“). Náhodný výběr byl proveden pomocí funkce „generátor náhodných čísel“ v programu Excel.

Teplota v lese či na louce může mít oproti teplotě na stanici určité „zpoždění“. To je dáno především záchytem sluneční radiace, popřípadě dlouhovlnné radiace vyzařované z povrchu půdy, vegetačním krytem a jeho tepelnou kapacitou, což v konečném důsledku přispívá ke vzniku mikroklimatu v porostu. Proto byla pro všechny ekosystémy v každém

roce provedena lineární regrese několikrát – vždy pro posuny teploty v ekosystému o 0,5 hod, 1 hod, 1,5 hod a -0,5 hod oproti teplotě na stanici. Jako nejlepší byla považována regrese, jejíž koeficient determinace R^2 , neboli hodnota spolehlivosti, byl nejvyšší. Posun -0,5 hod byl uvažován kvůli zhodnocení významnosti změny R^2 při kladných posunech, neboť tento posun nemá reálné opodstatnění.

Následně byla pro každý rok vytvořena lineární regrese závislosti teploty v lese či na louce vztažená k teplotě na stanici. Pro Bílý Kříž má regresní rovnice tvar

$$y = a + b \cdot x, \quad (5.1)$$

přičemž y je teplota v lese či na louce, x je teplota měřená na blízké stanici, a a a b jsou hledané koeficienty (a je absolutní člen a b regresní).

V bukovém porostu se v průběhu roku výrazně mění index listové plochy LAI (*leaf area index*), který vyjadřuje pokryvnost listoví – plochu asimilačního aparátu na jednotku plochy půdy (Monteith 1975). Z tohoto důvodu bylo zohledňováno zvlášť letní období (červen–září), ve kterém je listová plocha plně vyvinuta, a zimní období (prosinec–březen), kdy je listová plocha rovná nebo blízká nule.

Pro každé období byly vytvořeny dva typy modelů. První (dále „model č. 1“ pro zimní období a „model č. 3“ pro letní období) má tvar regresní rovnice stejný jako v případě smrkového porostu (rovnice 5.1). Protože se tento typ modelu lišil od naměřených dat různým způsobem pro dny a pro noci, byl vytvořen druhý typ modelu (dále „model č. 2“ pro zimní období a „model č. 4“ pro letní období) s přidaným binárním parametrem P . Tento parametr má hodnotu 1 pro denní dobu a -1 pro noc. Rozlišení dne a noci bylo určeno pomocí času východu a západu Slunce dostupné přímo pro Štítnou nad Vláří (<http://sunrisesunset.info/vychod-zapad-slunce>). Regresní rovnice v tomto případě má tvar:

$$y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2, \quad (5.2)$$

přičemž y je teplota v lese, x_1 je teplota měřená na stanici, x_2 je teplota na stanici vynásobená parametrem P , a je absolutní člen a a b a c jsou regresní koeficienty.

Takto byly vypočítány dílčí modely pro jednotlivé roky. Výsledný model byl vytvořen zprůměrováním parametrů z jednotlivých dílčích modelů, tedy

$$a = \frac{a_{2011} + a_{2012} + a_{2013}}{3}, \quad (5.3)$$

$$b = \frac{b_{2011} + b_{2012} + b_{2013}}{3}, \quad (5.4)$$

$$c = \frac{c_{2011} + c_{2012} + c_{2013}}{3}. \quad (5.5)$$

Výsledný model byl aplikován na testovací data:

$$y = a + b \cdot x, \quad (5.6)$$

$$y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2, \quad (5.7)$$

přičemž y je v tomto případě výsledná modelová teplota.

Kvalita modelu byla posouzena za pomoci rozdělení reziduí mezi teplotou modelovanou a skutečně naměřenou v lese/na louce. Je-li model kvalitní, rezidua mají normální rozdělení. Zároveň by tyto histogramy měly mít podobné rozdělení pro testovací a modelová data. Z těchto důvodů byly pro každý rok i pro data dohromady ze tří let vytvořeny histogramy reziduí (Obr. 22 až Obr. 27 – procenta nad jednotlivými sloupci udávají zaokrouhlený procentuální podíl hodnot v tomto rozmezí).

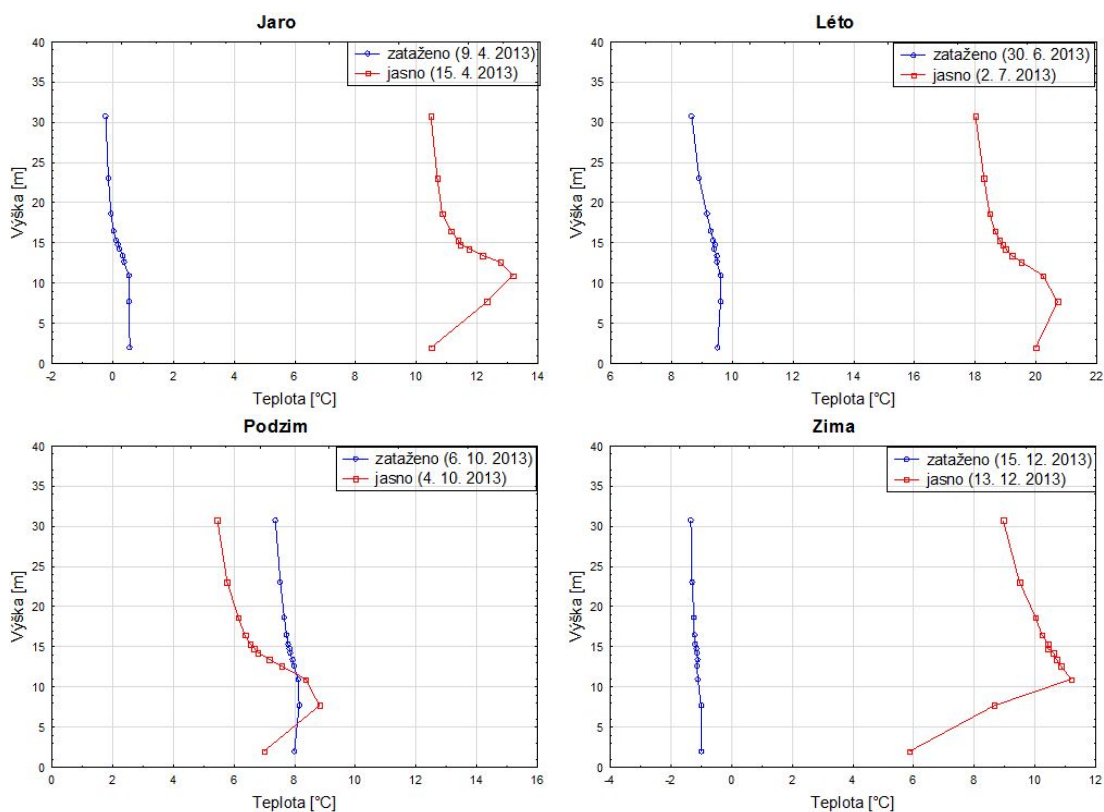
Dále byla vytvořena lineární regrese závislosti modelové teploty na teplotě naměřené. Tím se zjistil koeficient determinace R^2 , který udává, jako část rozptylu závislé proměnné (zde naměřené teploty) je vysvětlena regresním modelem – čím je vyšší, tím je model kvalitnější. Toto bylo určeno pro modelová data i pro testovací data. Jsou-li oba koeficienty determinace navzájem velice blízké, model funguje dobře i na jiných datech, než z kterých byl vytvořen.

VÝSLEDKY

6.1 Vertikální teplotní profil

6.1.1 Smrkový porost

Vertikální rozložení teploty ve smrkovém porostu vykazuje značné rozdíly zvláště mezi jasnými a zataženými dny (Obr. 8).

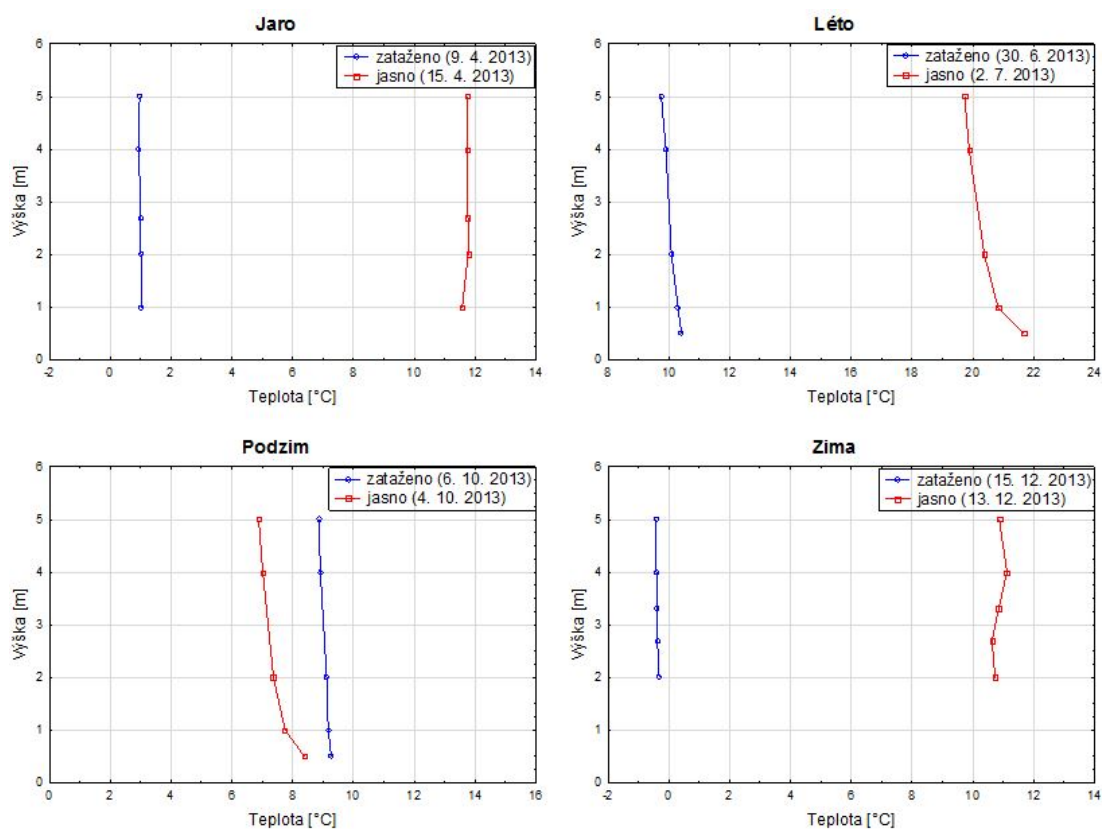


Obr. 8: Vertikální teplotní rozložení ve smrkovém lese v roce 2013 rozdělené podle ročního období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka ve dnech zatažených.

Porovnáním teplot ve vybraných dnech měřených v různých výškách nad zemí bylo zjištěno, že rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou naměřenou v jeden okamžik v různých výškách je v jasných dnech průměrně $4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$, oproti $0,7 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ve dnech zatažených. Co se týká vlivu ročního období, pak největší rozdíl mezi teplotami byl zaznamenán v zimě a nejmenší na jaře.

6.1.2 Luční porost

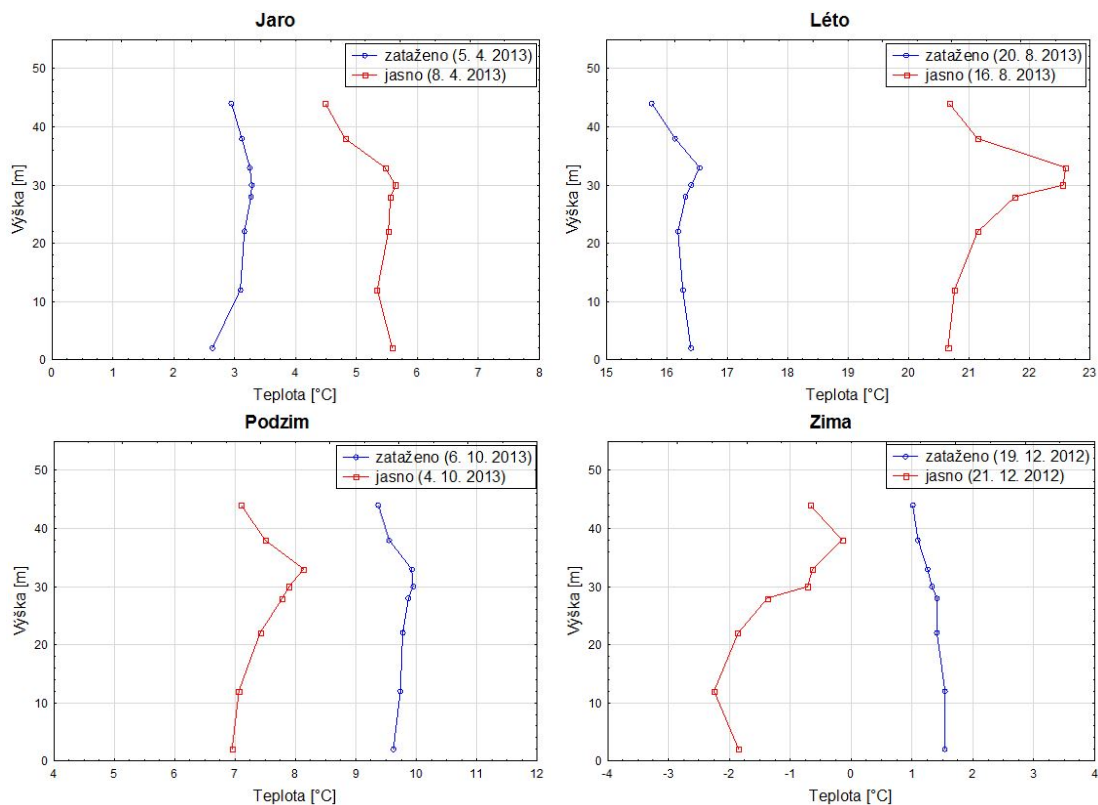
Z porovnání vertikálního rozložení teploty na louce opět vyplývá, že v jasných dnech je rozdíl mezi minimální a maximální teplotou naměřenou ve 12:00 SEČ větší než ve dnech zatažených (Obr. 9). V průběhu roku se teplota měřila v různých výškách, proto nelze s jistotou říct, ve kterém ročním období byly amplitudy největší.



Obr. 9: Vertikální teplotní rozložení na louce v roce 2013 podle ročních období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka v zatažených.

6.1.3 Bukový porost

Vertikální rozložení teploty v bukovém porostu se opět lišilo pro jasné a zatažené dny (Obr. 10). Rozdíl mezi teplotami naměřenými ve stejném okamžiku v různých výškách byl ve vybraných jasných dnech průměrně $1,6 \pm 0,4$ °C, zatímco ve dnech zatažených pouze $0,6 \pm 0,1$ °C. Rozdíl mezi teplotami byl v těchto dnech nejvyšší v létě a nejnižší na podzim.

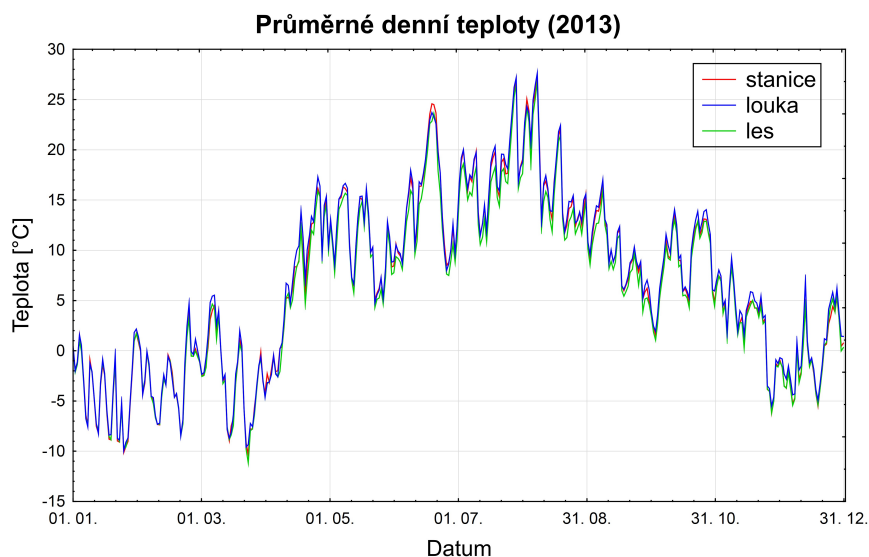


Obr. 10: Vertikální teplotní rozložení v bukovém lese v letech 2012 a 2013 podle ročních období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka v zatažených.

6.2 Chody teplot

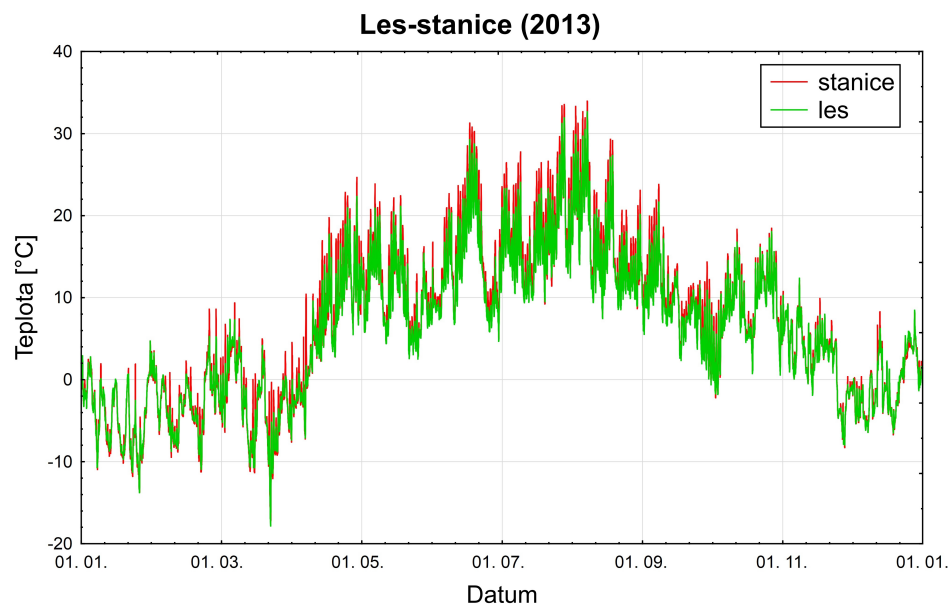
6.2.1 Smrkový porost

Roční chod teploty na třech sledovaných místech, na stanici, louce a v lese, vykazuje podobnou dynamiku (Obr. 11). V zimním období, (leden, únor a částečně i březen) byly průměrné denní teploty na všech třech místech prakticky totožné. Průměrná denní teplota byla nejnižší u lesa, a to zejména od jara až do podzimu. Podobná situace je při znázornění chodu teploty v 30min intervalu (nižší teplota v lese od jara do podzimu). Z Obr. 12 lze usoudit, že teplotní výkyvy v lese jsou nižší než na stanici.

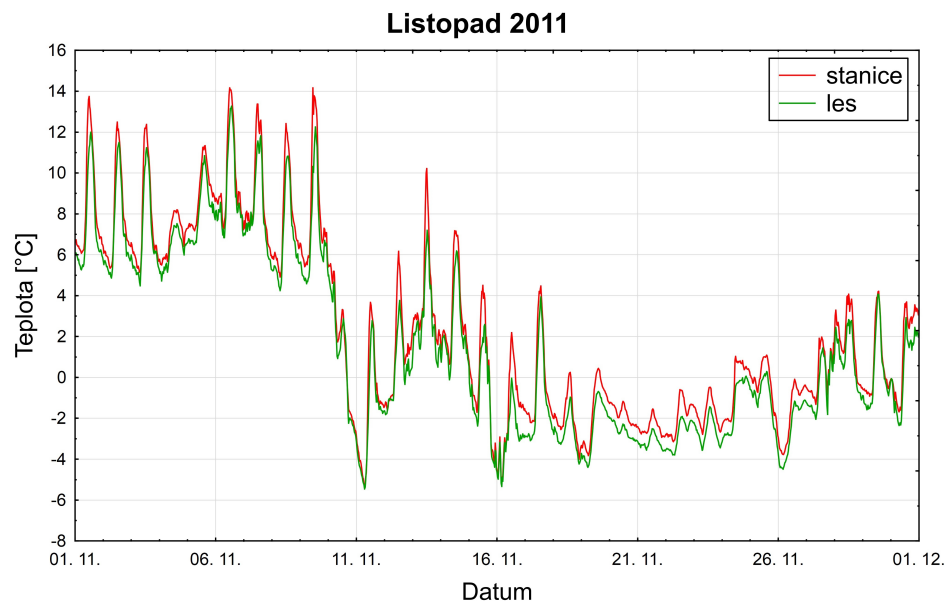


Obr. 11: Roční chod průměrné denní teploty na louce, v lese a na stanici v roce 2013.

Na ukázce měsíčního chodu teplot (Obr. 13) je vidět, že teplotní výkyvy způsobené střídáním dne a noci nejsou během měsíce stejné. Při analyzování měsíčního chodu teploty byla potvrzena souvislost teplotních výkyvů a dopadající globální radiace. Z chodu globální radiace lze usoudit, jestli bylo jasno nebo zataženo, a právě v období mezi 18. a 26. listopadem, kdy převládaly zatažené dny (křivka dopadající globální radiace se pro tyto dny podobala dnu 6. 10. z Obr. 7), jsou teplotní výkyvy nižší než ve dnech, kdy bylo převážně jasné počasí (1.–17. 11., kromě 4. 11.).



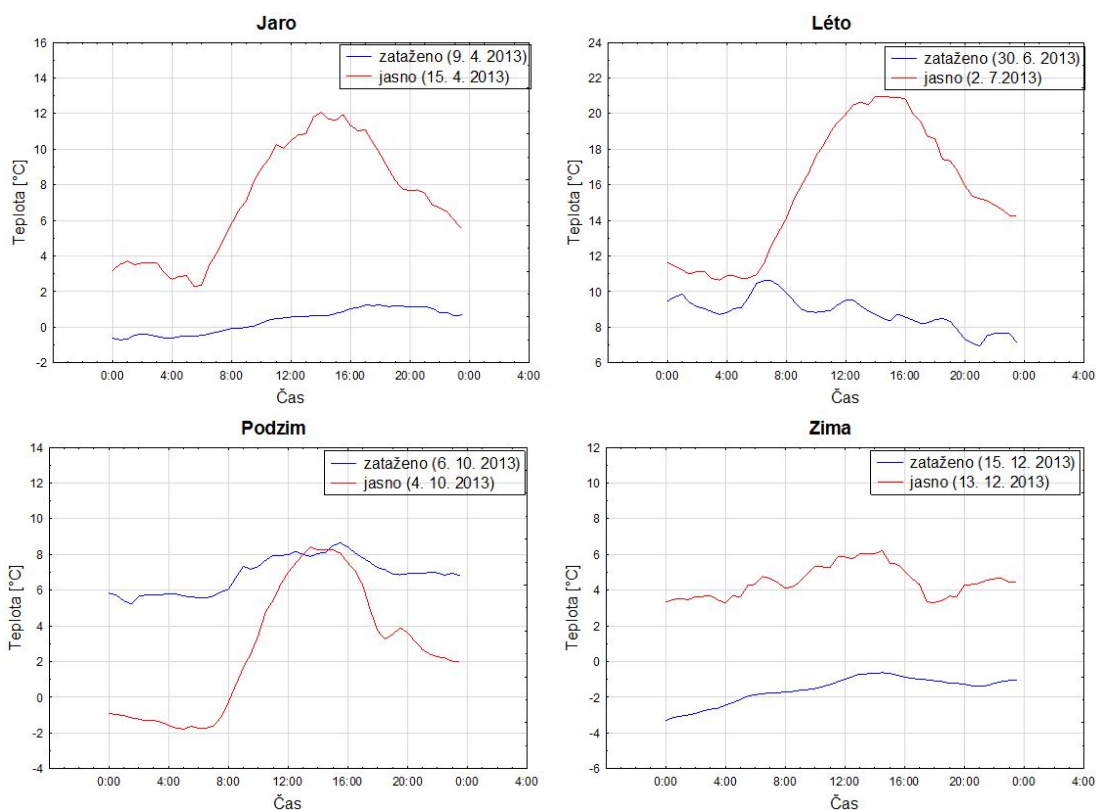
Obr. 12: Roční chod teploty měřené v 30min intervalu v lese a na stanici v roce 2013.



Obr. 13: Ukázka měsíčního chodu teploty měřené ve 30min intervalu ve smrkovém lese a na stanici v listopadu 2011.

Denní chody teplot vykazují výrazné rozdíly mezi jasnými a zataženými dny (Obr. 14). V těchto vybraných dnech byl rozdíl mezi denní maximální a minimální teplotou větší u dnů jasných (průměrně 8 ± 3 °C) oproti dnům zataženým, ve kterých průměrná denní amplituda byla pouze $2,9 \pm 0,7$ °C. Při porovnání ročních období byla výrazně nejmenší denní amplituda v zimě, nejvyšší denní amplituda teploty byla v létě.

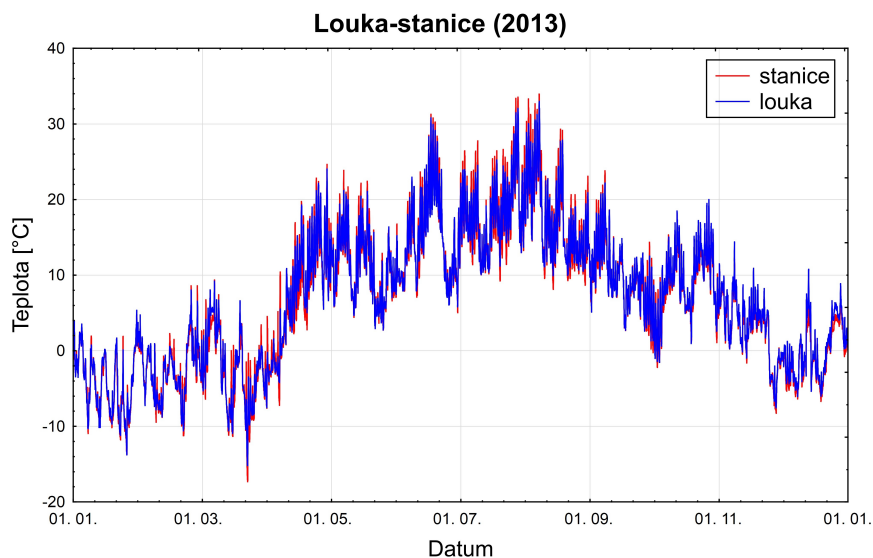
V jasných dnech byla nejvyšší teplota naměřená mezi 13:30 a 14:30 SEČ a nejnižší mezi 3:30 (v létě) a 5:30 SEČ (na jaře). V zatažených dnech byly časy výskytu nejvyšší a nejnižší naměřené teploty pro každý den značně rozdílné.



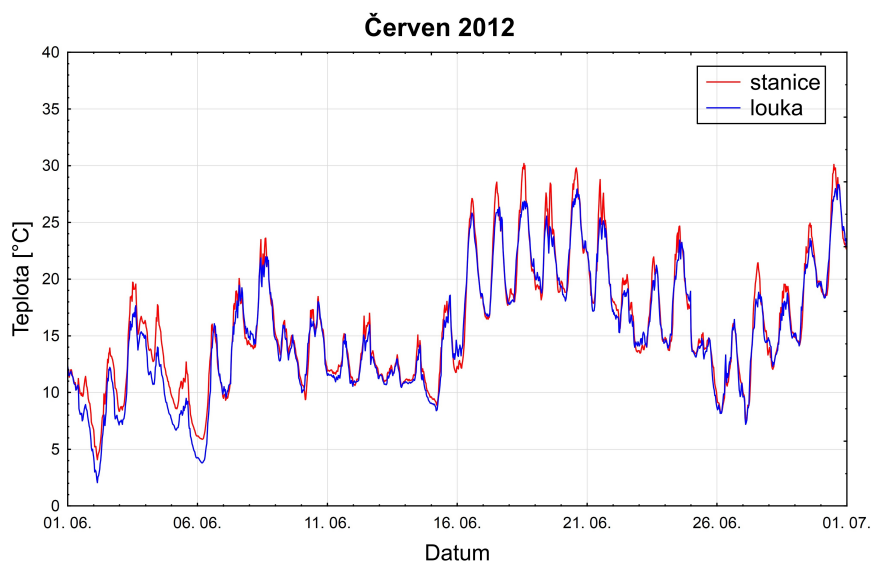
Obr. 14: Denní chod teploty měřené v intervalu 30 min ve 2 m výšky ve smrkovém porostu v různých ročních obdobích roku 2013. Modrá křivka znázorňuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.

6.2.2 Luční porost

Stejně jako v případě smrkového porostu je patrné, že teplotní výkyvy na louce jsou nižší než na stanici (Obr. 15, Obr. 16).



Obr. 15: Roční chod teploty měřené v 30min intervalu na louce a na stanici v roce 2013.

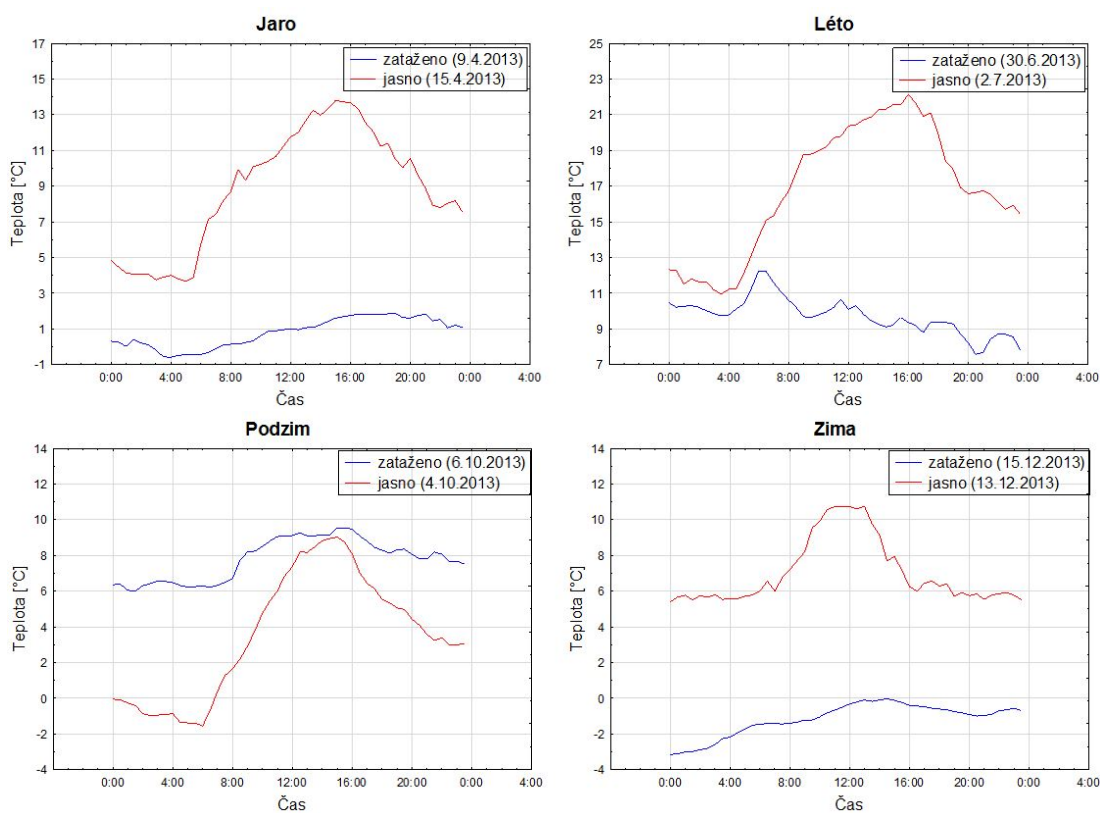


Obr. 16: Ukázka měsíčního chodu teploty měřené v 30min intervalu na louce a na stanici v červnu 2012.

Z chodu dopadající globální radiace bylo zjištěno, že ve dnech 9.–16. 6. bylo převážně zataženo, stejně tak 1. 6., 5. 6. a 25. 6. V tyto dny je denní amplituda teploty nižší než v ostatních dnech. Naopak mezi dny 15. a 21. 6. převládalo jasné počasí, což se projevilo většími rozdíly mezi minimální a maximální teplotou (Obr. 16).

V ukázkách denních chodů teploty na louce se opět projevil výrazný rozdíl mezi jasnými a zataženými dny (Obr. 17). V jasných dnech byla denní amplituda průměrně $9 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ oproti dnům zataženým, ve kterých amplituda dosahovala hodnoty pouze $3,4 \pm 0,8 \text{ }^\circ\text{C}$. Nejmenší denní amplituda byla zjištěna v zimě, nejvyšší v létě.

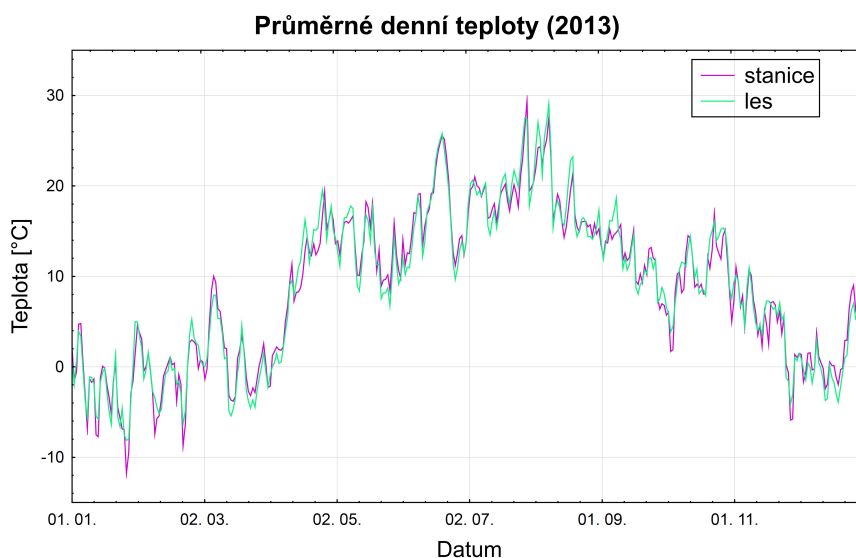
V těchto čtyřech vybraných jasných dnech byla maximální hodnota mezi 13:00 a 16:00 SEČ, nejnižší mezi 0:00 (v zimě) a 6:00 SEČ (na podzim). V zatažených dnech byly časy výskytu nejvyšší a nejnižší naměřené teploty pro každý den značně rozdílné.



Obr. 17: Denní chod teploty měřené v 30min intervalu na louce ve 2 m výšky v různých ročních obdobích roku 2013. Modrá křivka vyjadřuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.

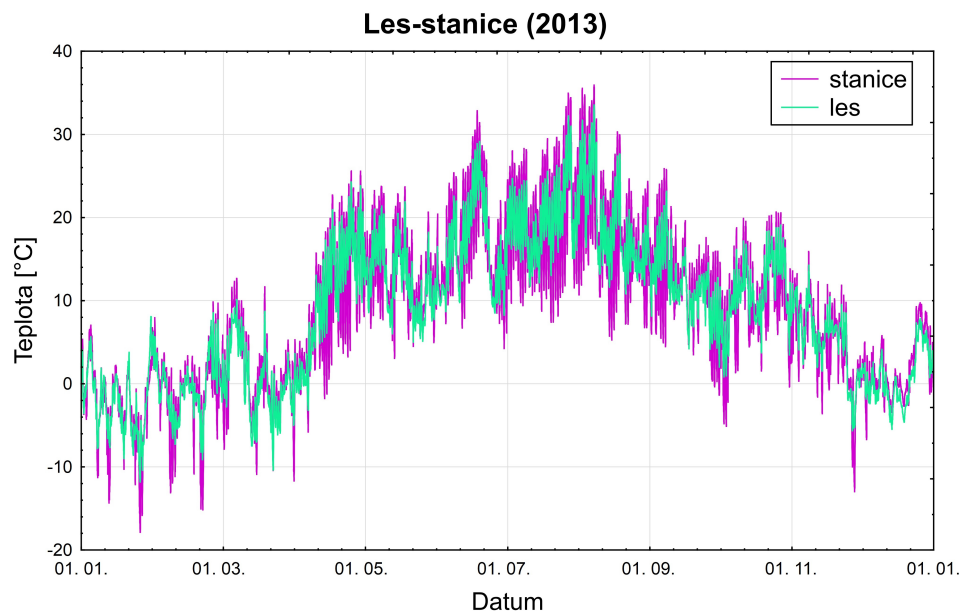
6.2.3 Bukový porost

Z Obr. 18 vyplývá, že chod průměrných denních teplot v bukovém lese se a na stanici se navzájem liší více než v případě smrkového porostu, louky a blízké stanice. Na Obr. 19 a Obr. 20 je vidět velmi výrazný rozdíl mezi chodem teploty v lese a na stanici (30min interval). Lesní porost vykazuje v porovnání se stanicí mnohem nižší výkyvy teploty, což je patrné zejména v létě.

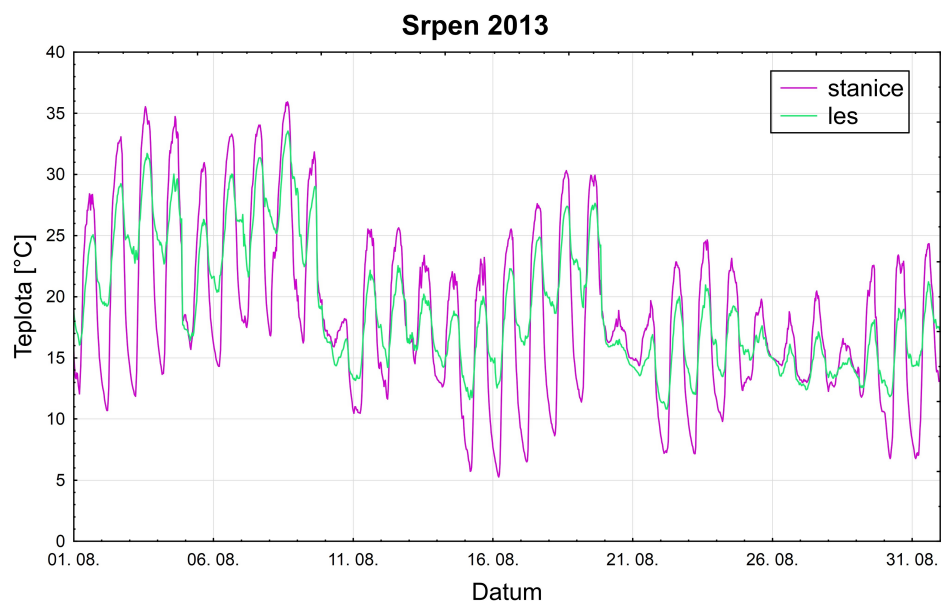


Obr. 18: Roční chod průměrné denní teploty v bukovém lese a na stanici v roce 2013.

Opět se potvrdila souvislost přítomnosti jasného či zataženého počasí s teplotními výkyvy. Dny 10. 8., 20. 8. a 25.–28. 8. byly podle chodu dopadající globální radiace určeny jako dny zatažené, v těchto dnech byly nižší teplotní výkyvy než ve zbývajících dnech, kdy převládalo jasné počasí (Obr. 20).



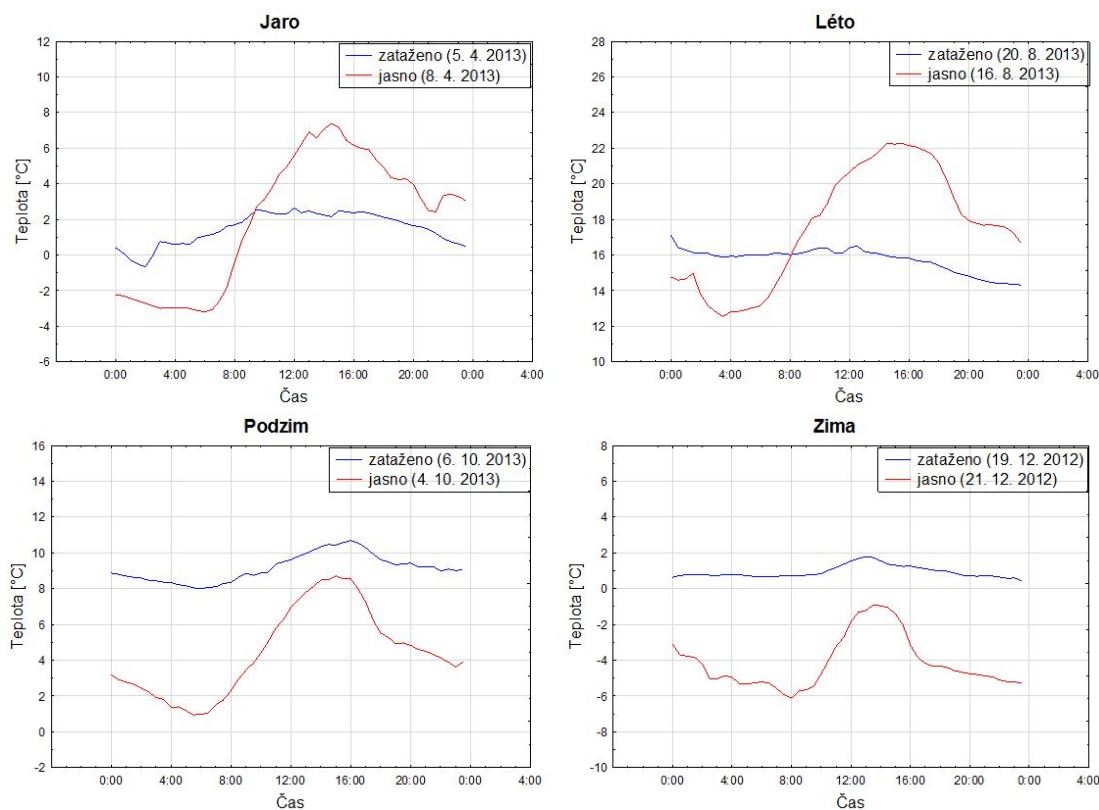
Obr. 19: Roční chod teploty měřené v 30min intervalu v bukovém lese a na stanici v roce 2013.



Obr. 20: Ukázka měsíčního chodu teploty měřené v 30min intervalu v bukovém lese a na stanici v srpnu 2013.

Z porovnání denního chodu teploty vzduchu v osmi vybraných dnech (Obr. 21) vyplývá, že v jasných dnech dosahovala denní amplituda mnohem vyšších hodnot (průměrně $8 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) než ve dnech zatažených (pouze $2,5 \pm 0,7 \text{ }^\circ\text{C}$). Nejvyšší denní amplituda byla na jaře a nejnižší v zimě.

V těchto jasných dnech byla denní teplota nejvyšší mezi 13:30 a 15:00, nejnižší mezi 3:30 (v létě) a 8:00 (v zimě).



Obr. 21: Denní chod teploty měřené v bukovém prostu v 30min intervalu ve 2 m výšce v různých ročních obdobích roku 2012 a 2013. Modrá křivka vyjadřuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.

6.3 Teplotní model

6.3.1 Smrkový porost

Nejvyšší koeficient determinace R^2 závislosti teploty v lese a na stanici byl ve všech třech letech pro modelová data, ve kterých se neuvažoval časový posun chodu teploty v lese oproti stanici (Tab. 2).

Tab. 2: Koeficient determinace závislosti teploty v lese a na stanici pro jednotlivé posuny času.

	2011	2012	2013
Bez posunu	0,9878	0,9928	0,9920
Posun 0,5 hod	0,9864	0,9916	0,9901
Posun 1,0 hod	0,9796	0,9865	0,9846
Posun 1,5 hod	0,9687	0,9784	0,9761
Posun -0,5 hod	0,9793	0,9871	0,9868

Pro každý rok byly sestrojeny modely, z jejichž parametrů byl vytvořen výsledný model (Tab. 3).

Tab. 3: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ se směrodatnými odchylkami.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	$-0,69 \pm 0,01$	$-0,840 \pm 0,008$	$-0,135 \pm 0,008$	$-0,6 \pm 0,3$
b	$0,9223 \pm 0,0009$	$0,9519 \pm 0,0007$	$0,9456 \pm 0,0007$	$0,94 \pm 0,01$

Výsledný model tedy vypadá následovně:

$$T_{\text{les}} = (-0,6 \pm 0,3) + (0,94 \pm 0,01) \cdot T_{\text{stanice}}. \quad (6.1)$$

Tento model byl aplikován na modelová a testovací data, byly vytvořeny histogramy reziduí (Obr. 22) a grafy chodů modelované a reálné teploty (Obr. 28 až Obr. 30). Koeficient determinace pro modelová data byl 0,9896 a pro testovací data 0,9895.

6.3.2 Luční porost

Pro luční porost časový posun chodu teploty oproti stanici také nebyl zjištěn (nejvyšší koeficient determinace byl pro data bez posunu – Tab. 4).

Tab. 4: Koeficient determinace závislosti teploty na louce a na stanici pro jednotlivé časové posuny.

	2011	2012	2013
Bez posunu	0,9863	0,9855	0,9888
Posun 0,5 hod	0,9808	0,9822	0,9848
Posun 1,0 hod	0,9710	0,9756	0,9777
Posun 1,5 hod	0,9579	0,9666	0,9681
Posun -0,5 hod	0,9828	0,9829	0,9867

Z parametrů lineární regrese sestrojené pro jednotlivé roky byl vypočten výsledný model (Tab. 5).

Tab. 5: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ se směrodatnými odchylkami.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	$-1,41 \pm 0,01$	$-0,70 \pm 0,01$	$0,46 \pm 0,01$	$-0,6 \pm 0,8$
b	$0,958 \pm 0,001$	$1,003 \pm 0,001$	$0,9814 \pm 0,0009$	$0,98 \pm 0,02$

Výsledný model tedy vypadá následovně:

$$T_{\text{louka}} = (-0,6 \pm 0,8) + (0,98 \pm 0,02) \cdot T_{\text{stanice}}. \quad (6.2)$$

Opět byly sestrojeny histogramy reziduí (Obr. 23) a grafy srovnávající roční chod modelované teploty a teploty na louce naměřené (Obr. 31 až 33). Koeficient determinace pro modelová data byl 0,9783 a pro testovací data 0,9776.

6.3.3 Bukový porost

Zimní období

Pro zimní období (prosinec–březen) nebyl časový posun chodu teploty oproti stanici zjištěn ani v jednom modelu (koeficient determinace byl u obou modelů a pro každý rok nejvyšší pro data bez posunu – Tab. 6).

Tab. 6: Koeficienty determinace pro oba modely popisující zimní období (modely č. 1 a č. 2).

	Model č. 1			Model č. 2		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Bez posunu	0,7818	0,8311	0,8314	0,7828	0,8296	0,8328
Posun 0,5 hod	0,7801	0,8293	0,8267	0,7809	0,8271	0,8275
Posun 1,0 hod	0,7682	0,8198	0,8136	0,7687	0,8166	0,8139
Posun 1,5 hod	0,7480	0,8040	0,7938	0,7481	0,7999	0,7938
Posun -0,5 hod	0,7683	0,8226	0,8243	0,7691	0,8213	0,8260

Pro každý rok byly vytvořeny dva modely – model č. 1 a model č. 2. Modely se navzájem lišily tím, že u modelu č. 2 je navíc parametr P , rozlišující, jestli byl v daném okamžiku den nebo noc. Výsledné modely č. 1 a č. 2 byly vytvořeny zprůměrováním parametrů z modelů z jednotlivých let (Tab. 7, Tab. 8). Ve třech případech vyšel absolutní člen jako nevýznamný – jejich „p-hodnota“ byla několikanásobně větší než nastavená hladina testu alfa (0,05). Lineární regrese byla proto provedena znovu bez tohoto členu – v Tab. 7 a 8 je u tohoto parametru uvedena hodnota 0.

Tab. 7: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ – model č. 1 se směrodatnými odchylkami.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	0	0	$-0,38 \pm 0,02$	$-0,1 \pm 0,2$
b	$0,772 \pm 0,006$	$0,790 \pm 0,005$	$0,760 \pm 0,005$	$0,77 \pm 0,01$

Tab. 8: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2$ – model č. 2 se směrodatnými odchylkami.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	0	$-0,10 \pm 0,04$	$-0,41 \pm 0,02$	$-0,2 \pm 0,2$
b	$0,772 \pm 0,006$	$0,795 \pm 0,005$	$0,768 \pm 0,005$	$0,78 \pm 0,01$
c	$0,027 \pm 0,006$	$0,044 \pm 0,005$	$0,033 \pm 0,005$	$0,035 \pm 0,007$

Model č. 1 má následující tvar:

$$T_{\text{les}} = (-0,1 \pm 0,2) + (0,77 \pm 0,01) \cdot T_{\text{stanice}}, \quad (6.3)$$

a model č. 2:

$$T_{\text{les}} = (-0,2 \pm 0,2) + (0,78 \pm 0,01) \cdot T_{\text{stanice}} + (0,035 \pm 0,007) \cdot (T_{\text{stanice}} \cdot P). \quad (6.4)$$

Pro oba modely byly vytvořeny histogramy reziduí (Obr. 24 a Obr. 25). Oba modely byly porovnány s teplotou naměřenou v lese (Obr. 34 až 37). Pro model č. 1 byl koeficient determinace pro modelová data 0,8140 a pro testovací data 0,8037. Pro model č. 2 byl koeficient determinace 0,8158 pro modelová data a 0,8042 pro testovací data.

Letní období

Pro letní období (červen–září) byly opět vytvořeny dva výsledné modely – model č. 3 a model č. 4 (s parametrem P). U modelu č. 3 byla větší lineární korelace s uvažováním posunu 30 min (R^2 bylo vyšší než v ostatních případech), proto bylo s tímto posuvem dále pracováno. U modelu č. 4 se časový posuv neprojevil (Tab. 9).

Výsledné modely byly opět vytvořeny zprůměrováním parametrů z dílčích modelů pro jednotlivé roky (Tab. 10 a Tab. 11). Model č. 3 má následující tvar:

$$T_{\text{les}} = (5,6 \pm 0,6) + (0,67 \pm 0,04) \cdot T_{\text{stanice}}, \quad (6.5)$$

a model č. 4:

$$T_{\text{les}} = (4,0 \pm 0,7) + (0,79 \pm 0,06) \cdot T_{\text{stanice}} - (0,08 \pm 0,01) \cdot (T_{\text{stanice}} \cdot P). \quad (6.6)$$

Tab. 9: Koeficienty determinace pro modely č. 3 a č. 4 popisující letní období.

	Model č. 3			Model č. 4		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Bez posunu	0,7194	0,7265	0,7577	0,7594	0,7781	0,8031
Posun 0,5 hod	0,7313	0,7404	0,7694	0,7590	0,7769	0,8028
Posun 1,0 hod	0,7201	0,7352	0,7647	0,7382	0,7600	0,7886
Posun 1,5 hod	0,6914	0,7147	0,7459	0,7022	0,7308	0,7627
Posun -0,5 hod	0,6802	0,6889	0,7266	0,7363	0,7592	0,7869

Tab. 10: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ – model č. 3.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	$6,2 \pm 0,1$	$5,7 \pm 0,1$	$4,8 \pm 0,1$	$5,6 \pm 0,6$
b	$0,616 \pm 0,005$	$0,681 \pm 0,006$	$0,715 \pm 0,006$	$0,67 \pm 0,04$

Tab. 11: Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2$ – model č. 4.

	2011	2012	2013	Výsledný model
a	$5,0 \pm 0,1$	$3,9 \pm 0,1$	$3,2 \pm 0,1$	$4,0 \pm 0,7$
b	$0,714 \pm 0,006$	$0,812 \pm 0,007$	$0,846 \pm 0,007$	$0,79 \pm 0,06$
c	$-0,061 \pm 0,002$	$-0,081 \pm 0,002$	$-0,090 \pm 0,003$	$-0,08 \pm 0,01$

Pro porovnání obou modelů byly vytvořeny histogramy (model č. 3 – Obr. 26 a model č. 4 – Obr. 27) a oba modely byly porovnány s teplotou naměřenou v bukovém lese (Obr. 38 až Obr. 40). Pro model č. 3 byl koeficient determinace pro modelová data 0,7479 a pro testovací data 0,6522. Pro model č. 4 byl koeficient determinace 0,7813 pro modelová data a 0,7841 pro testovací data.

DISKUSE

7.1 Vertikální teplotní profil

Teplotní poměry v lese jsou ovlivněny různou mírou záchyty slunečního záření korunovou vrstvou porostu a přeměnou tohoto záření na teplo. Z vertikálního rozložení teploty ve smrkovém lese i bukovém lese je patrné, že v jasné dny teplota do určité výšky porostu stoupá a nad ní klesá. Pro smrkový les je tato výška mezi 7,7 m a 11 m a pro bukový les mezi 30 m a 38 m. Toto zjištění se shoduje s umístěním tzv. aktivního povrchu ve vrchní části korun (výška smrkového porostu je zhruba 14,5 m a výška bukového porostu zhruba 33 m), ve kterém dochází k přeměně sluneční radiace na tepelnou energii (Larcher 1988). Potvrdilo se, že nejvyšších hodnot teploty se dosahuje v horních partiích korunové vrstvy (Chapin a kol. 2002; Střelcová a kol. 2003; Kamlerová 2004).

Ve vybraných jasných dnech byl oproti dnům zataženým několikanásobně větší rozdíl mezi teplotou naměřenou ve 12:00 v různé výšce porostu (ve smrkovém lese až $6\times$ a v bukovém $2,7\times$). Je to z toho důvodu, že dopadající globální radiace není zeslabována oblačností, a tak dochází k intenzivnímu zahřívání aktivního povrchu a okolního vzduchu. Zatímco v zatažených dnech je aktivní vrstva méně výrazná a vertikální profil je blízký izotermě, což potvrzují např. Střelcová a kol. (2003).

Rozdílné teplotní rozvrstvení ve smrkovém a bukovém porostu je dáno různou mírou zadržení záření asimilačním aparátem způsobený různým albedem, rozdílným vertikálním a horizontálním zapojením porostu, odlišnou stavbou korun danou druhem i věkem, množstvím zadrženého sněhu v koruně a dalšími faktory (Střelcová a kol. 2003; Kamlerová 2004). V lučném porostu byly malé rozdíly mezi minimální a maximální teplotou měřené v různé výšce nad zemí. Přesto se dá říct, že v jasných dnech byla amplituda teplot také větší než ve dnech zatažených.

7.2 Chody teploty

Vegetace zásadně ovlivňuje teplotní poměry na lokalitě. Rozdíl teploty měřené ve stejném okamžiku ve stejné oblasti v lese a na volné ploše může být až několik stupňů. Je to dáno schopností rostlin transpirovat i změnou fyzikálních vlastností povrchu – odrazivosti a tvaru povrchu. Les působí jako tepelný stabilizátor. V zásadě platí, že čím hustší porost, tím nižší výkyvy teplot uvnitř porostu, a to jak denních, tak ročních. Na teplotní režim má vliv i druhové složení, věk a struktura porostu (Larcher 1988; Arya 2001; Ulbrichová 2005; Čaboun 2008).

Z ukázek měsíčního a ročního chodu teploty v lesním a lučním porostu a na stanici je patrné, že chod teploty na stanici vykazuje vyšší amplitudu než v lesním a lučním porostu. Nejvýraznější je to v letním období u bukového porostu, u kterého se i chod průměrných denních teplot odlišuje od stanice více, než je tomu v případě smrkového lesa a louky. U smrkového lesa byla od jara do podzimu (roku 2013) oproti stanici nižší průměrná denní teplota.

Z denního chodu teplot ve všech studovaných lokalitách vyplývá, že ve všech vybraných jasných dnech je mnohem vyšší denní amplituda teplot než ve dnech zatažených – ve smrkovém lese je to zhruba $2,9\times$, v bukovém lese $3,3\times$ a na louce $2,7\times$. Ve vybraných jasných dnech měla křivka denního chodu tvar podobný sinusoidě, nejnižší teplota byla v druhé polovině noci (většinou těsně před východem Slunce) a nejvyšší teplota v rozmezí několika hodin těsně po poledni, což je ve shodě s tvrzením, které zmiňuje např. Arya (2001). V zatažených dnech byla nejmenší a nejvyšší teplota v různou denní dobu, křivka byla nevýrazná a měla nepravidelný tvar. Rozdíl v denním chodu teploty mezi jasnými a zataženými dny vysvětlují např. Vysoudil (2004) či Kopáček, Bednář (2005) tím, že při jasném počasí je vyšší příkon globální radiace (insolace) a zároveň i intenzivnější noční vyzařování, povrch se tedy během dne více otepluje a v noci více ochlazuje. V zatažených dnech teplotu ovlivňují pohybující se vzduchové hmoty a změny oblačnosti více než radiace, proto nejvyšší a nejnižší teplota může nastat relativně nezávisle na denní době.

V těchto třech typech ekosystémů byla shodně zjištěna nejmenší denní amplituda teplot v zimě, což potvrzují Kopáček, Bednář (2005). Je to tím, že příkon globální radiace v zimě je nízký, takže během dne nedojde k výraznějšímu zahřátí povrchu. Zároveň půda obsahuje tepelnou energii naakumulovanou v předchozím období a jejím postupným uvolňováním zmírňuje noční poklesy teplot.

Dále bylo z těchto vybraných dnů zjištěno, že denní amplituda na louce je vyšší než v obou lesních porostech, což potvrzuje fakt, že v lese jsou obecně menší teplotní výkyvy než na volné ploše.

7.3 Teplotní model

Původním záměrem bylo nalézt závislost teploty v porostu na teplotě z blízké stanice, radiaci a popřípadě ještě dnu v roce. Od tohoto modelu se upustilo, neboť se ukázal jako příliš komplikovaný a nespolehlivý. Do modelů sestrojených v této práci již proto radiace nebyla zahrnuta. Jelikož ve smrkovém a lučním porostu vycházela velmi těsná závislost teploty na teplotě na stanici, nebylo třeba pro tyto ekosystémy hledat další vysvětlující parametry. U bukového porostu se v průběhu roku mění olistění, proto bylo rozlišeno letní a zimní období, navíc byl do modelu přidán parametr den/noc.

Pro smrkový les, luční porost a bukový les v zimním období nebyl zjištěn časový posun chodu teploty oproti stanici. To znamená, že buď neexistuje, nebo že je výrazně menší než časové rozlišení použitých datových souborů, které bylo 30 min.

Z histogramů reziduí i z chodu teplot ve smrkovém lese bylo zjištěno, že sestrojený model poměrně dobře odpovídá naměřené teplotě. Z histogramů pro luční porost je patrné, že model pro rok 2011 nadhodnocuje a pro rok 2013 podhodnocuje, což je vidět i na grafech srovnávající roční chod teploty modelované s naměřenou. Použitím dat ze tří let dohromady vychází rozdělení téměř normální, což potvrzuje fakt, že model aplikovaný na větší soubor dat funguje lépe (přesněji) než na malý vzorek.

Model pro smrkový les vysvětluje téměř 99 % z variability teploty ($R^2 = 0,99$) a model pro luční porost vysvětluje téměř 98 % z variability teploty ($R^2 = 0,98$). Pro smrkový porost se koeficienty determinace modelových a testovacích dat liší pouze na

čtvrtém desetinném místě, pro luční porost na třetím desetinném místě. Z podobnosti těchto koeficientů determinace lze usoudit, že oba modely se budou chovat podobně i na jiných datech, než na těch, ze kterých byl vytvořen model.

Modely č. 1 a č. 2, vytvořené pro bukový porost v zimním období, si jsou velice podobné, a to jak z histogramů reziduí, tak při porovnání chodů teploty. Je to dáno tím, že parametr c v modelu č. 2 (Tab. 8) je velmi malý a jen málo ovlivňuje chování modelu, proto i koeficienty determinace vyšly u obou modelů téměř stejné. Při srovnání modelových a testovacích dat se u obou modelů determinační koeficienty liší na druhém desetinném místě. Z nepatrně vyššího determinačního koeficientu u testovacích dat lze říci, že lepší je model č. 2. Tímto modelem je vysvětleno více než 80 % z variability teploty ($R^2 = 0,80$).

Modely č. 3 a č. 4 (pro letní období) už jsou navzájem více odlišné. Lze konstatovat, že model č. 4 je lepší než model č. 3, protože má mnohem vyšší determinační koeficient u testovacích dat a také tato hodnota je velice blízká hodnotě R^2 modelových dat (odlišnost až na třetím desetinném místě). Model č. 4 vysvětluje více než 78 % z variability teploty ($R^2 = 0,78$).

Ukázalo se, že modely pro bukový porost zahrnující parametr P (den/noc) jsou přesnější než modely bez tohoto parametru. Přesto tyto modely (č. 2 a č. 4) mají větší dynamiku, než by měly mít, a data v noci výrazně podhodnocují. Možným řešením by bylo nahradit hodnotu parametru P pro noc (-1) za 0.

Důvodů, proč se modelová data liší od dat naměřených, je více. Předně by bylo lepší použít data z více let, neboť pro statistickou analýzu je vhodné použít co největší soubor dat. Dále by bylo možné zahrnout více faktorů, např. dlouhovlnnou radiaci. Radiace se ovšem běžně na meteorologických stanicích neměří, proto by model postrádal možnost uplatnění. U modelů zahrnující binární parametr by bylo lepší v ranních a večerních hodinách vyhladit skok mezi -1 a 1 – (případně 0 a 1) použitím plynulého přechodu mezi těmito hodnotami.

ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá teplotním režimem ve smrkovém a lučním porostu na experimentálním ekologickém pracovišti Bílý Kříž a v bukovém porostu výzkumného pracoviště Štítná nad Vláří. V práci bylo analyzováno vertikální rozložení teploty a denní chody teploty v těchto porostech. Obojí bylo provedeno pro typické dny jasno/zataženo v každém ročním období. Bylo zjištěno, že v jasných dnech je denní i vertikální amplituda teploty vzduchu v porostu větší než ve dnech zatažených a také že nejmenší denní amplituda teploty v porostu je v zimě. Obojí odpovídá výsledkům jiných studií.

Dále byl popsán vybraný měsíční chod teploty z hlediska radiace a bylo provedeno porovnání ročního chodu teploty v porostu s chodem na blízké stanici. Bylo zjištěno, že ve všech třech studovaných ekosystémech byly teplotní výkyvy nižší než v blízkých stanicích. Nejnižší denní výkyvy teploty byly v bukovém lese, a to v letním období.

Následně byly vytvořeny modely popisující teplotní režim ve všech třech typech ekosystémů s využitím dat z blízkých meteorologických stanic. Pro smrkový a luční porost byly sestrojeny modely popisující teplotní režim v průběhu celého roku. Pro bukový porost byly vytvořeny dokonce čtyři modely – dva pro zimní období a dva pro letní. V každém z období byl vytvořen jeden typ modelu s parametrem P , který zohledňuje, jestli byl v danou chvíli den nebo noc, a druhý typ modelu bez tohoto parametru.

Modely pro smrkový a luční porost relativně dobře odpovídají naměřeným datům. Pro bukový porost jsou oba modely popisující zimní období téměř rovnocenné, nepatrně lepší je model s parametrem rozlišující den a noc (model č. 2). Pro letní období je rozdíl v modelech větší, opět byl lepší (tentokrát výrazně) model s parametrem den/noc (model č. 4). Vypočtené modely se mohou použít na zpřesnění informací o teplotním režimu v lesním a lučním porostu, což může poskytnout lepší odhad výskytu patogenních organismů a škodlivého hmyzu v porostu i lepší odhad nárůstu biomasy atd.

SUMMARY

This bachelor thesis deals with the temperature regime in the spruce stand and the grassland at the experimental ecological study site of Bílý Kříž and in the beech stand at the ecosystem station of Štítná nad Vláří. In this thesis the vertical temperature profile and daily temperature cycles in these stands were analysed. Both were performed for typical clear and cloudy days in every season. It was found that the daily and vertical amplitude of temperature on clear days was higher than on cloudy days, and the lowest daily amplitude of temperature was in winter. Both correspond to the results of another projects.

Next the selected monthly temperature cycle was described from the point of view of a radiation and the comparison of the annual temperature cycle in a stand with the temperature cycle of a nearby climatological station was performed. It was found that the ranges of temperature were lower in the studied ecosystems than in close climatological stations. The lowest diurnal ranges of temperature were in the beech forest in summer.

Subsequently the mathematical models describing a temperature regime in all three types of ecosystems using data from nearby climatological stations were created. The models for the spruce stand and the grassland describing a temperature regime during the whole year were constructed. Even four models were created for the beech stand – two for the winter term and two for the summer term. In each season one type of model with the parameter P , which takes into account the daytime or nighttime, was created. The second type of model is without this parameter.

The models for the spruce stand and grassland correspond to the measured data relatively well. For the beech stand both models describing the winter term are almost equivalent, the model with the parameter distinguishing daytime and nighttime is fracti-

onally better (model No. 2). For the summer term the difference between the models is bigger, the model with the parameter day/night was (markedly) better (model No. 4). The calculated models would be used for improvement of information about a temperature regime in the forest stand and the grassland, which can provide a better estimate of an abundance of pathogenic organisms and harmful insects in stands, and a better estimate of biomass increase etc.

Literatura

AGREN, G., ANDERSSON, F., 2012. *Terrestrial ecosystem ecology: principles and applications*. Cambridge University Press, Cambridge, 345 s.

ARYA, P. S., 2001. *Introduction to micrometeorology*, 2nd ed. Academic Press, San Diego, International geophysics series, vol. 79, 420 s.

ATWELL, B. J., KRIEDEMANN, P. E., TURNBULL C. G., 1999. *Plants in action: adaptation in nature, performance in cultivation*. Macmillan Education Australia, South Yarra, 664 s.

CENIA. *ISSaR* [online]. Citováno dne 10. 2. 2015. Dostupné na: <http://issar.cenia.cz/issar/page.php?id=1676>

CHAPIN, F. S., MATSON, P. A., MOONEY, H. A., 2002. *Principles of terrestrial ecosystem ecology*. Springer, New York, 436 s.

CZECOS/ICOS. *Národní infrastruktura sledování uhlíku* [online]. Citováno dne 25. 8. 2014. Dostupné na: <http://www.czechos.cz>

ČABOUN, V., 2008. *Vplyv vegetácie na znižovanie teploty povrchov a ovzdušia pri extrémnych letných horúčavách*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9.—11. 9. 2008

ČERMÁK, P., 2013. *Působení abiotických a antropogenních stresorů (prezentace k předmětu Ochrana dřevinné vegetace)*. Mendelova univerzita, Brno.

ČERMÁK, P. A KOL.. *Atlas poškození dřevin* [online]. Citováno dne 6. 4. 2015. Dostupné na: <http://atlasposkozeni.mendelu.cz/>

ČHMÚ. *Meteorologické stanice ČHMÚ* [online]. Citováno dne 28. 4. 2015. Dostupné na: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html

- HURTALOVÁ, T. A KOL., 2003. *Vplyv smrekového porastu na prúdenie a vertikálne zvrstvenie teploty a vlhkosti vzduchu*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Mikroklima porostů“, Brno 26. 3. 2003, s. 66–79
- HURTALOVÁ, T. A KOL., 2008. *Bioklimatické aspekty prenosových javov v systéme smrekový porast–atmosféra*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9.–11. 9. 2008
- JANOUSH, D., MARKOVÁ, I., 2003. *Radiační režim smrkového porostu lokality Bílý Kříž, Moravskoslezské Beskydy*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Mikroklima porostů“, Brno 26. 3. 2003, s. 80–93
- KAMLEROVÁ, K., 2002. *Teplotní poměry vrstvy vzduchu ovlivněné smrkovým porostem*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „XIV. Česko-slovenská bioklimatologická konference“, Lednice na Moravě 2.–4. 9. 2002, s. 154–160
- KAMLEROVÁ, K., 2004. *Vliv extrémních poklesů teploty vzduchu na teplotní poměry smrkového porostu*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Extrémy počasí a podnebí“, Brno 11. 3. 2004
- KOPÁČEK, J., BEDNÁŘ, J., 2005. *Jak vzniká počasí*, vyd. 1. Karolinum, Praha, 226 s.
- LARCHER, W., 1988. *Fyziologická ekologie rostlin*, překlad Václav Bauer, vyd. 1. Academia, Praha, 361 s.
- MARKOVÁ, I. A KOL., 2011. *Ročenka meteorologických měření 2009. Experimentální ekologické pracoviště Bílý Kříž (Moravskoslezské Beskydy)*. Nebe, s.r.o., České Budějovice, 93 s.
- MARKOVÁ, I., PAVELKA, M., JANOUSH, D., 2013. *Ročenka meteorologických měření 2011. Experimentální ekologické pracoviště Bílý Kříž (Moravskoslezské Beskydy). Ekosystémová stanice Štítná nad Vláří (Bílé Karpaty)*. Keloc Pc, s.r.o., Brno, 125 s.
- MATEJKA, F. A KOL., 2007. *Mikroklimatické účinky smrekového pralesa*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Klima lesa“, Křtiny 11.—12. 4. 2007

- MERKLOVÁ, L., BEDNÁŘOVÁ, E., 2005. *Vliv mikroklimatu stanoviště na nástup a průběh jarních fenologických fází u smrku ztepilého a buku lesního*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Bioklimatologie současnosti a budoucnosti“, Křtiny 12.–14. 9. 2005
- MONTEITH, J. L (ED.), 1975. *Vegetation and the atmosphere, Volume 1: Principles*. Academic Press, London-New York-San Francisco, 278 s.
- PAVLOVÁ, L., 2005. *Fyziologie rostlin*, vyd. 1. Karolinum, Praha, 253 s.
- PERRY, D. A., OREN, R., HART, S. C (EDS.), 2008. *Forest ecosystems*, 2nd ed. Johns Hopkins University Press, Baltimore, xiv, 606 s.
- PROCHÁZKA, S. A KOL., 1998. *Fyziologie rostlin*, vyd. 1. Academia, Praha, 484 s.
- STŘELCOVÁ, K. A KOL., 2003. *Štúdium mikroklimy a bioklimy horských lesných porastov I. vertikálna variabilita*. In Rožnovský, J., Litschmann, T. (eds.): „Mikroklima porostů“, Brno 26. 3. 2003, s. 58–68
- SUCHOMEL, J. A KOL., 2014. *Ekologie lesních ekosystémů (skripta)* [online]. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 166 s. Citováno dne 8. 3. 2015. Dostupné na: https://akela.mendelu.cz/xcepl/inobio/skripta/Skripta_Ekologie_lesnich_ekosystemu.pdf
- ŠETLÍK, I., SEIDLOVÁ, F., ŠANTRŮČEK, J., 2004. *Fyziologie rostlin (skripta)* [online]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice, 335 s. Citováno dne 5. 2. 2015. Dostupné na: <http://web.natur.cuni.cz/biochem/kucera/rostliny/is/fyzros.html>
- ŠKVARENINA, J. A KOL., 2013. *Globálne zmeny klímy a lesné ekosystémy* [online]. Technická univerzita vo Zvolene, Zvolen, 123 s. Dostupné na: http://www.tuzvo.sk/files/3_3/katedry_lf/kpp/gkz_skvarenina-et-al-online.pdf
- QUITT, E., 1971. *Klimatické oblasti Československa*. Studia geographica 16, Brno, GgÚ ČSAV, 73 s.

ULBRICHOVÁ, I., 2005. *Ekologie lesa (skripta)* [online]. Česká zemědělská univerzita v Praze. Citováno dne 24. 9. 2014. Dostupné na: http://fle.czu.cz/ulbrichova/Skripta_EKOL/prehledtemat.htm

VYSOUDIL, M., 2004. *Meteorologie a klimatologie*, 1. vyd. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 281 s.

ŽALUD, Z., 2010. *Bioklimatologie (doprovodné texty k přednáškám)*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 135 s.

PŘÍLOHY

Seznam zkratk

AKS1 = automatizovaná klimatologická stanice I. typu

AV ČR = Akademie věd České republiky

CAM = Crassulacean Acid Metabolism

CENIA = Czech Environmental Information Agency (česká informační agentura životního prostředí)

ČHMÚ = Český hydrometeorologický ústav

EEP = experimentální ekologické pracoviště

EESS = experimental ecological study site

EMS = Environmental Measuring Systems

ES = ekosystémová stanice

ESFRI = European Strategy Forum on Research Infrastructures

HS = hospodářský soubor

CHKO = chráněná krajinná oblast

ICOS = Integrated Carbon Observation System

ISSAR = Informační systém statistiky a reportingu

LAI = leaf area index (index listové plochy)

PLO = přírodní lesní oblast

SEČ = středoevropský čas

Seznam obrázků

1	Znázornění teplotní závislosti fotosyntézy a respirace.	20
2	Lokalizace EEP Bílého Kříže a Štítné nad Vlárí. Mapa byla vytvořena v programu ArcGIS (Esri, USA).	23
3	Smrkový porost na EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D.	25
4	Čidla EMS 33 na meteorologické věži ve smrkovém porostu EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D. (upraveno).	26
5	Luční porost na EEP Bílý Kříž. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D. . . .	27
6	Meteorologická věž v bukovém porostu na ES Štítná nad Vlárí. Foto: Mgr. Marian Pavelka, Ph.D.	29
7	Ukázka globální (krátkovlnné) radiace dopadající na korunovou vrstvu smrkového porostu na EEP Bílý Kříž. 4. 10. byl považován za jasný den, 6. 10. za den zatažený.	30
8	Vertikální teplotní rozložení ve smrkovém lese v roce 2013 rozdělené podle ročního období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka ve dnech zatažených.	34
9	Vertikální teplotní rozložení na louce v roce 2013 podle ročních období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka v zatažených.	35
10	Vertikální teplotní rozložení v bukovém lese v letech 2012 a 2013 podle ročních období. Červená křivka vyjadřuje teplotní rozložení v jasných dnech, modrá křivka v zatažených.	36
11	Roční chod průměrné denní teploty na louce, v lese a na stanici v roce 2013.	37

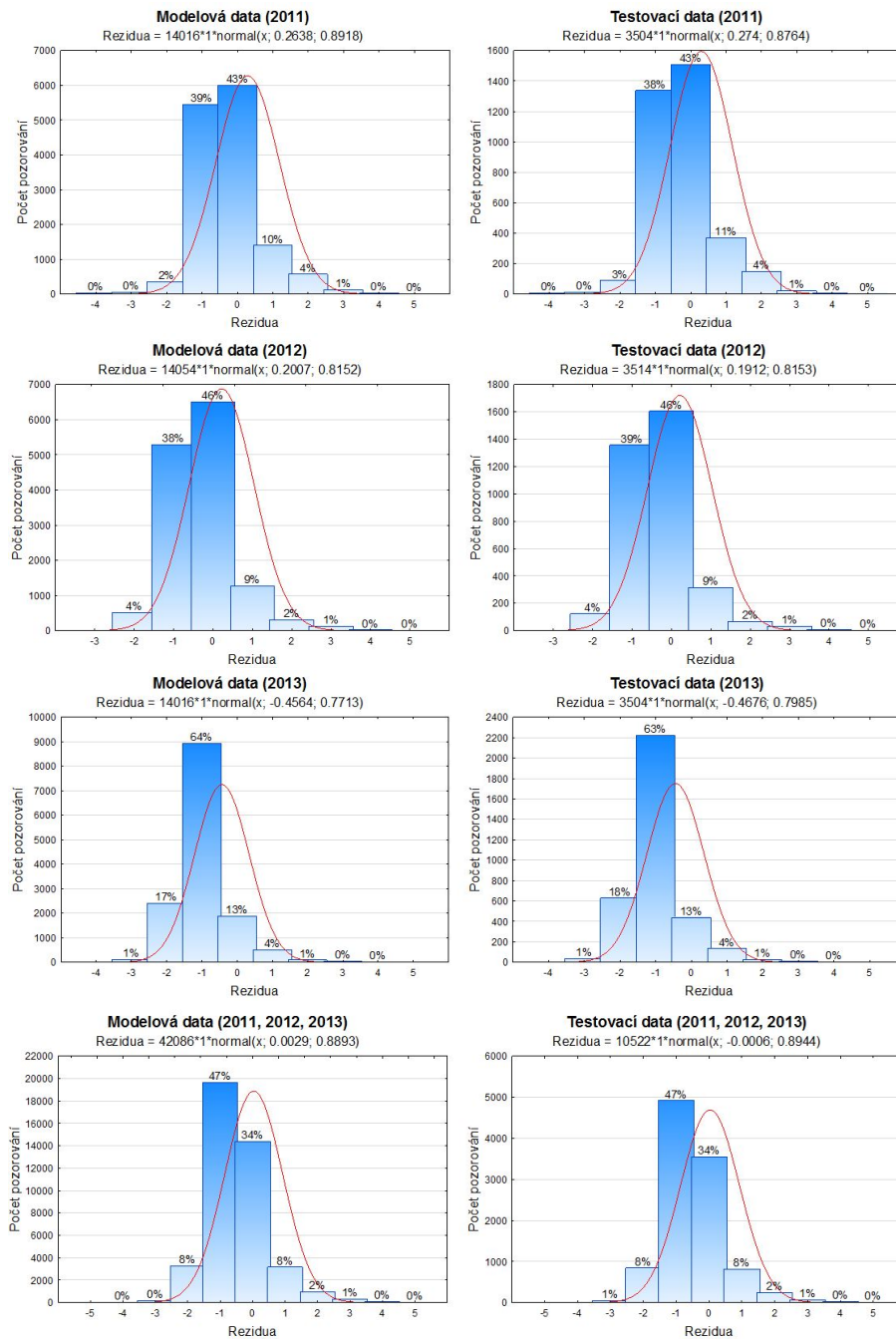
12	Roční chod teploty měřené v 30min intervalu v lese a na stanici v roce 2013.	38
13	Ukázka měsíčního chodu teploty měřené ve 30min intervalu ve smrkovém lese a na stanici v listopadu 2011.	38
14	Denní chod teploty měřené v intervalu 30 min ve 2 m výšky ve smrkovém porostu v různých ročních obdobích roku 2013. Modrá křivka znázorňuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.	39
15	Roční chod teploty měřené v 30min intervalu na louce a na stanici v roce 2013.	40
16	Ukázka měsíčního chodu teploty měřené v 30min intervalu na louce a na stanici v červnu 2012.	40
17	Denní chod teploty měřené v 30min intervalu na louce ve 2 m výšky v různých ročních obdobích roku 2013. Modrá křivka vyjadřuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.	41
18	Roční chod průměrné denní teploty v bukovém lese a na stanici v roce 2013.	42
19	Roční chod teploty měřené v 30min intervalu v bukovém lese a na stanici v roce 2013.	43
20	Ukázka měsíčního chodu teploty měřené v 30min intervalu v bukovém lese a na stanici v srpnu 2013.	43
21	Denní chod teploty měřené v bukovém porostu v 30min intervalu ve 2 m výšky v různých ročních obdobích roku 2012 a 2013. Modrá křivka vyjadřuje chod teploty v zatažených dnech, červená křivka ve dnech jasných.	44
22	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu pro smrkový les, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	67
23	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu pro luční porost, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	68

24	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 1, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	69
25	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 2, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	70
26	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 3, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	71
27	Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 4, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.	72
28	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2011.	73
29	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2012.	73
30	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2013.	74
31	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2011.	74
32	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2012.	75
33	Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2013.	75
34	Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období v první polovině roku 2011.	76
35	Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období 2011/2012.	76
36	Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období 2012/2013.	77

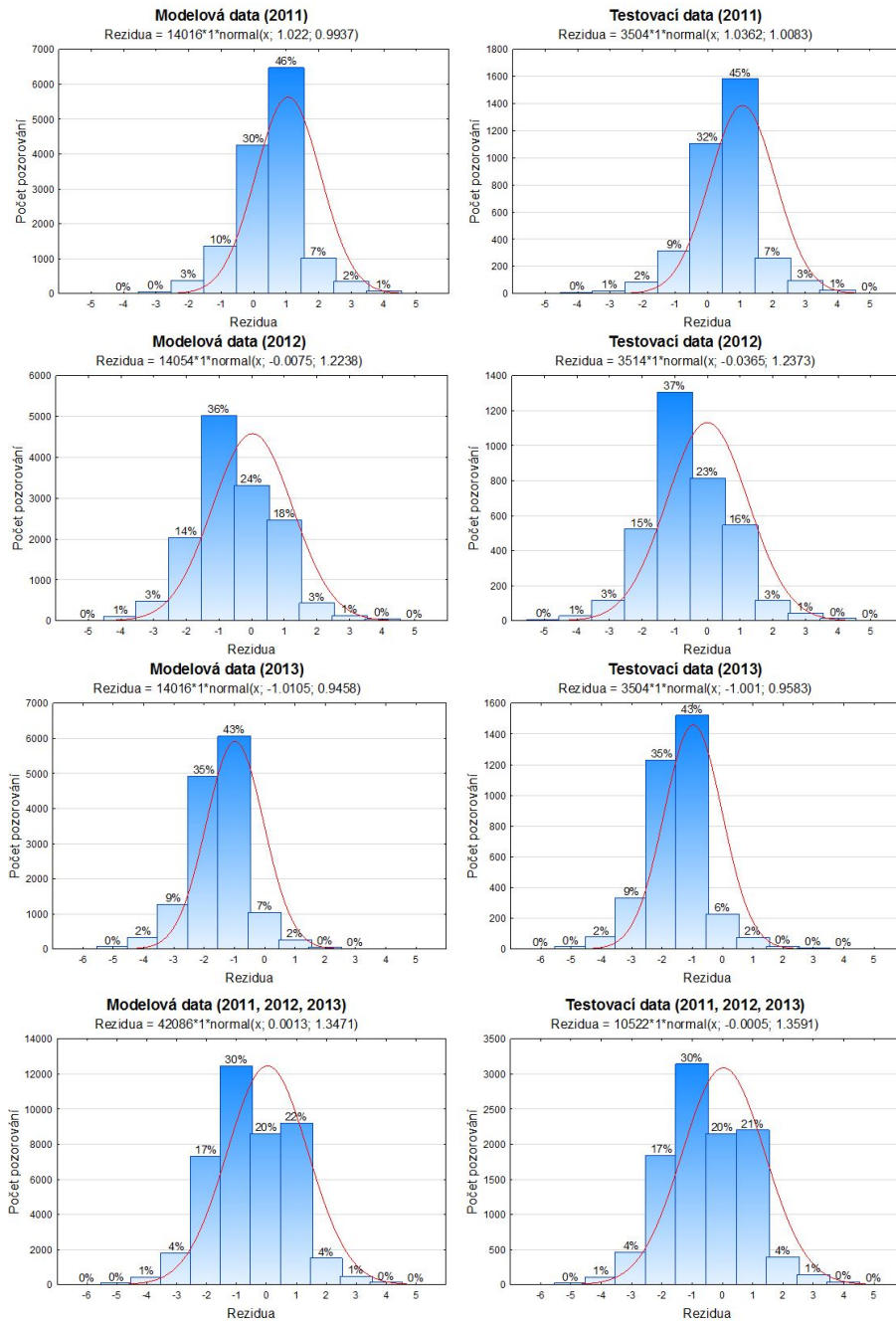
37	Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v prosinci r. 2013.	77
38	Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2011.	78
39	Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2012.	78
40	Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30 min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2013	79

Seznam tabulek

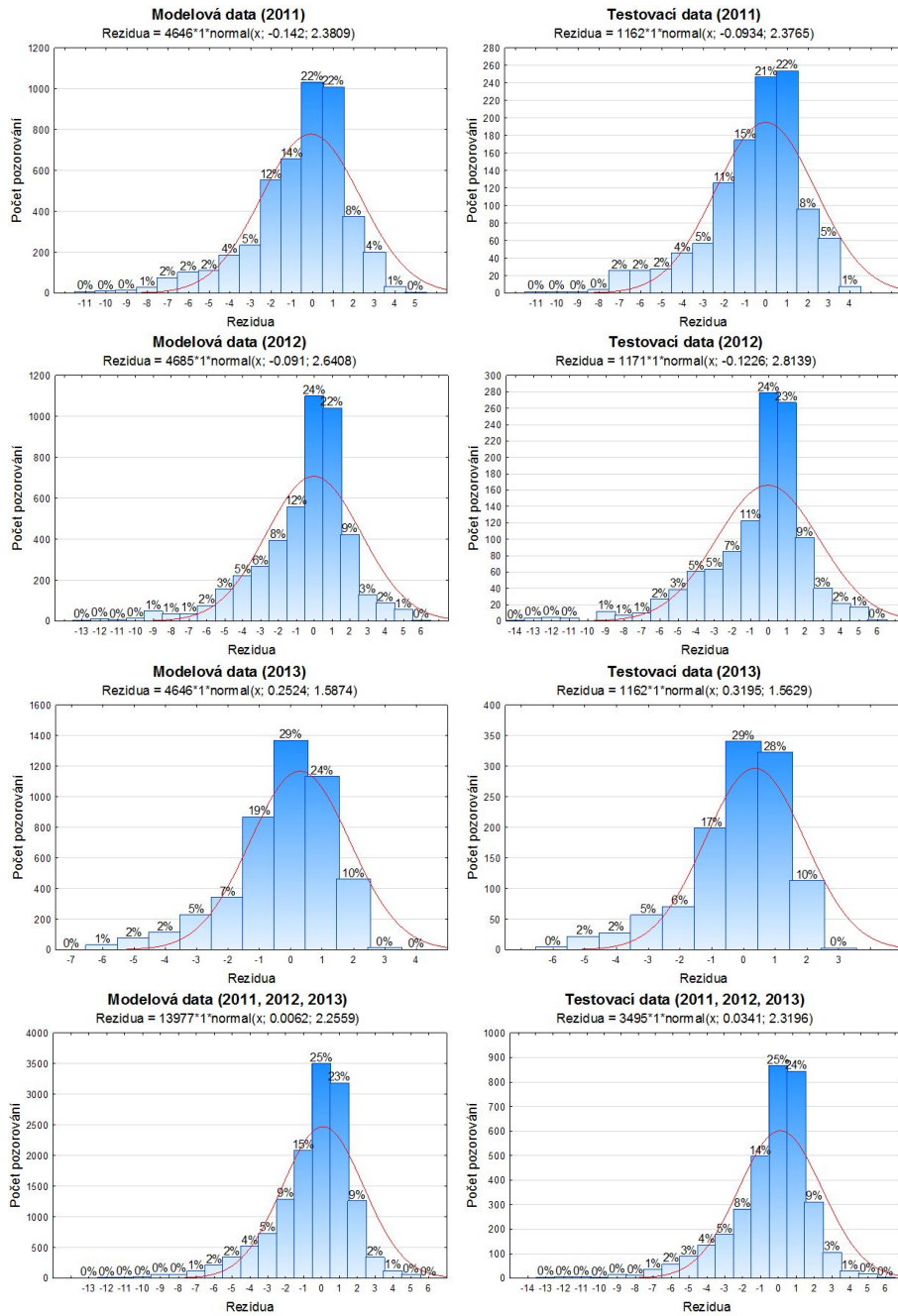
1	Vybrané jasné a zatažené dny na EEP Bílý Kříž a na pracovišti Štítná nad Vlárí.	30
2	Koeficient determinace závislosti teploty v lese a na stanici pro jednotlivé posuny času.	45
3	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ se směrodatnými odchylkami.	45
4	Koeficient determinace závislosti teploty na louce a na stanici pro jednotlivé časové posuny.	46
5	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ se směrodatnými odchylkami.	46
6	Koeficienty determinace pro oba modely popisující zimní období (modely č. 1 a č. 2).	47
7	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ – model č. 1 se směrodatnými odchylkami.	47
8	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2$ – model č. 2 se směrodatnými odchylkami.	48
9	Koeficienty determinace pro modely č. 3 a č. 4 popisující letní období. .	49
10	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x$ – model č. 3.	49
11	Výsledné parametry lineární regrese $y = a + b \cdot x_1 + c \cdot x_2$ – model č. 4.	49



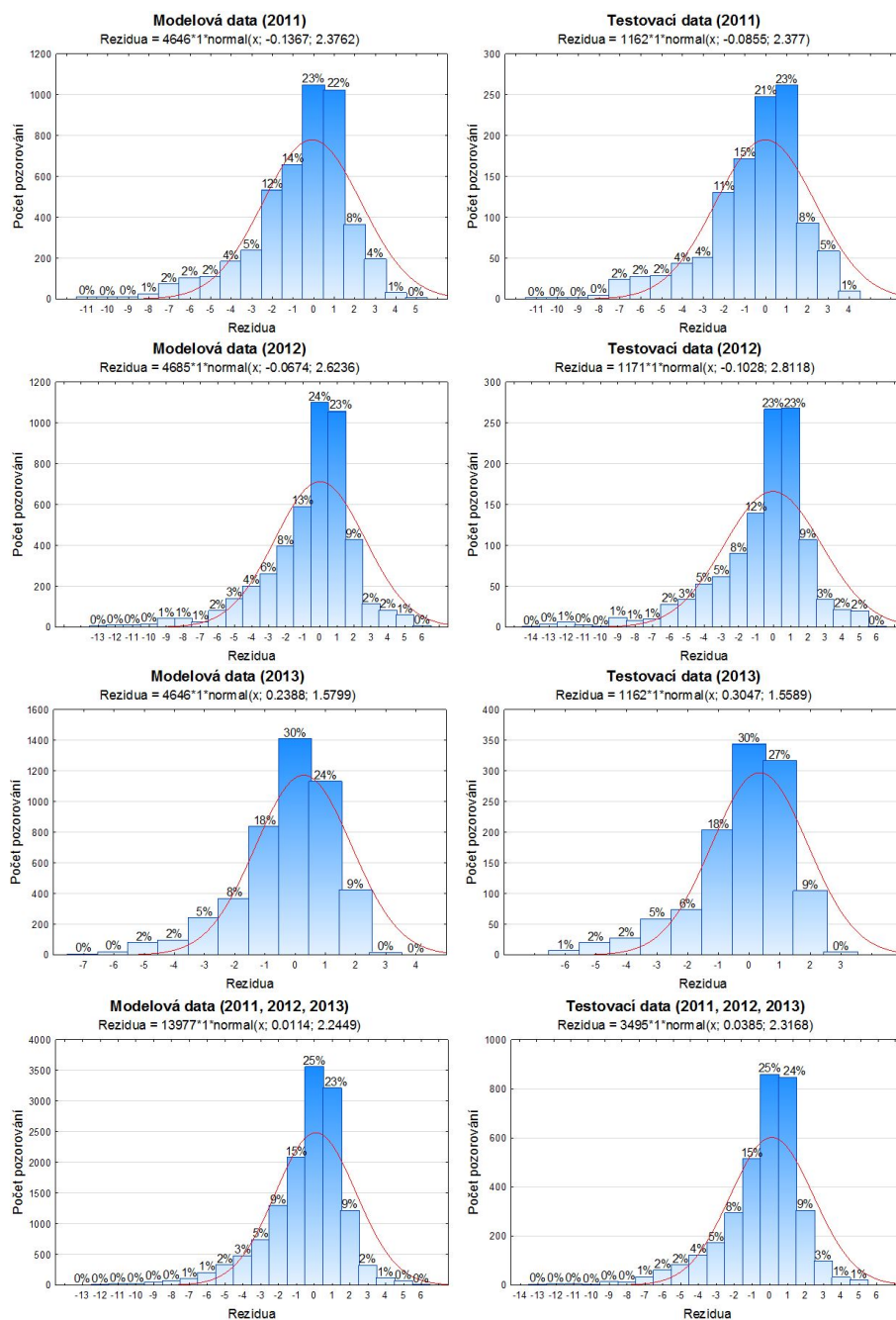
Obr. 22: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu pro smrkový les, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



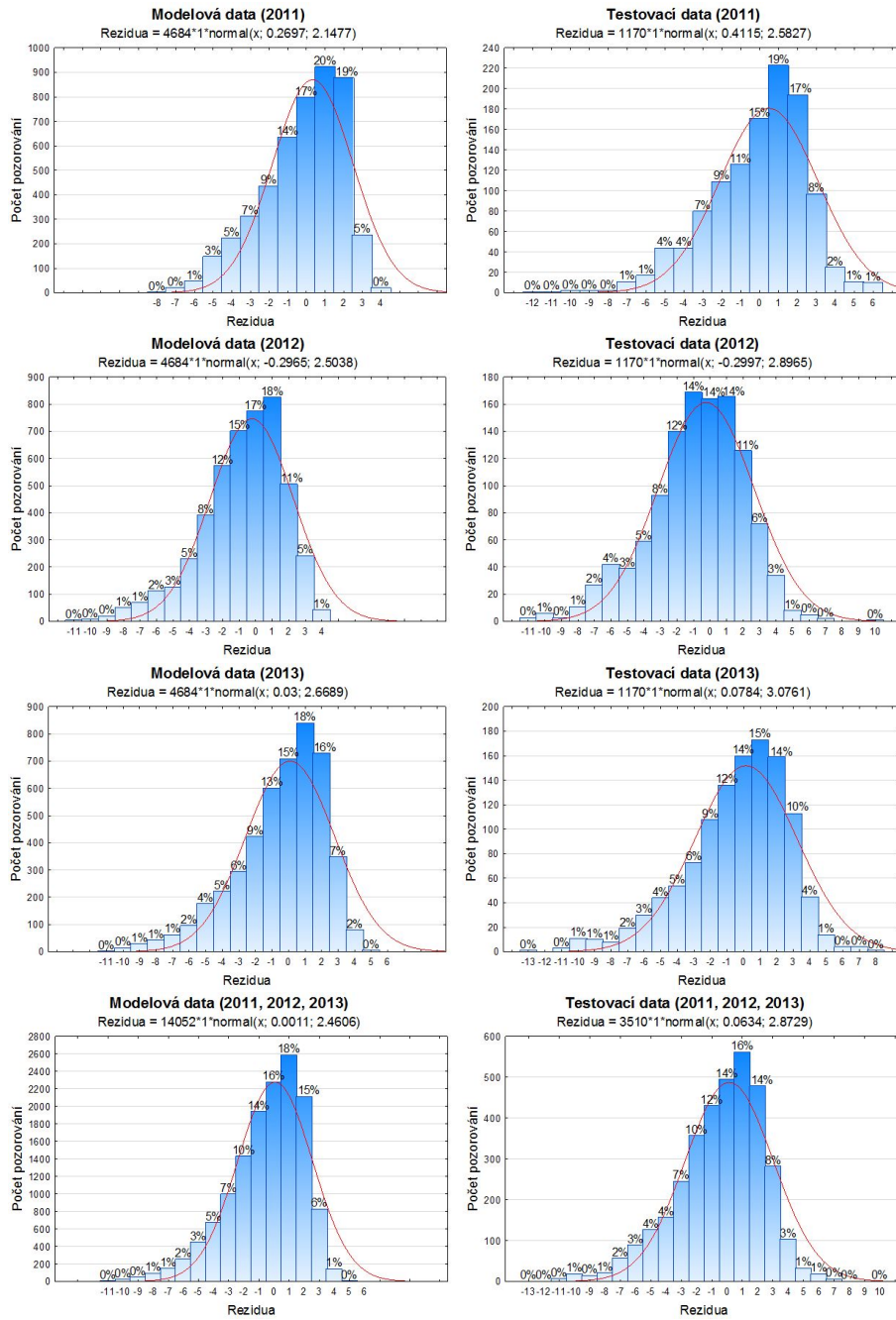
Obr. 23: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu pro luční porost, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



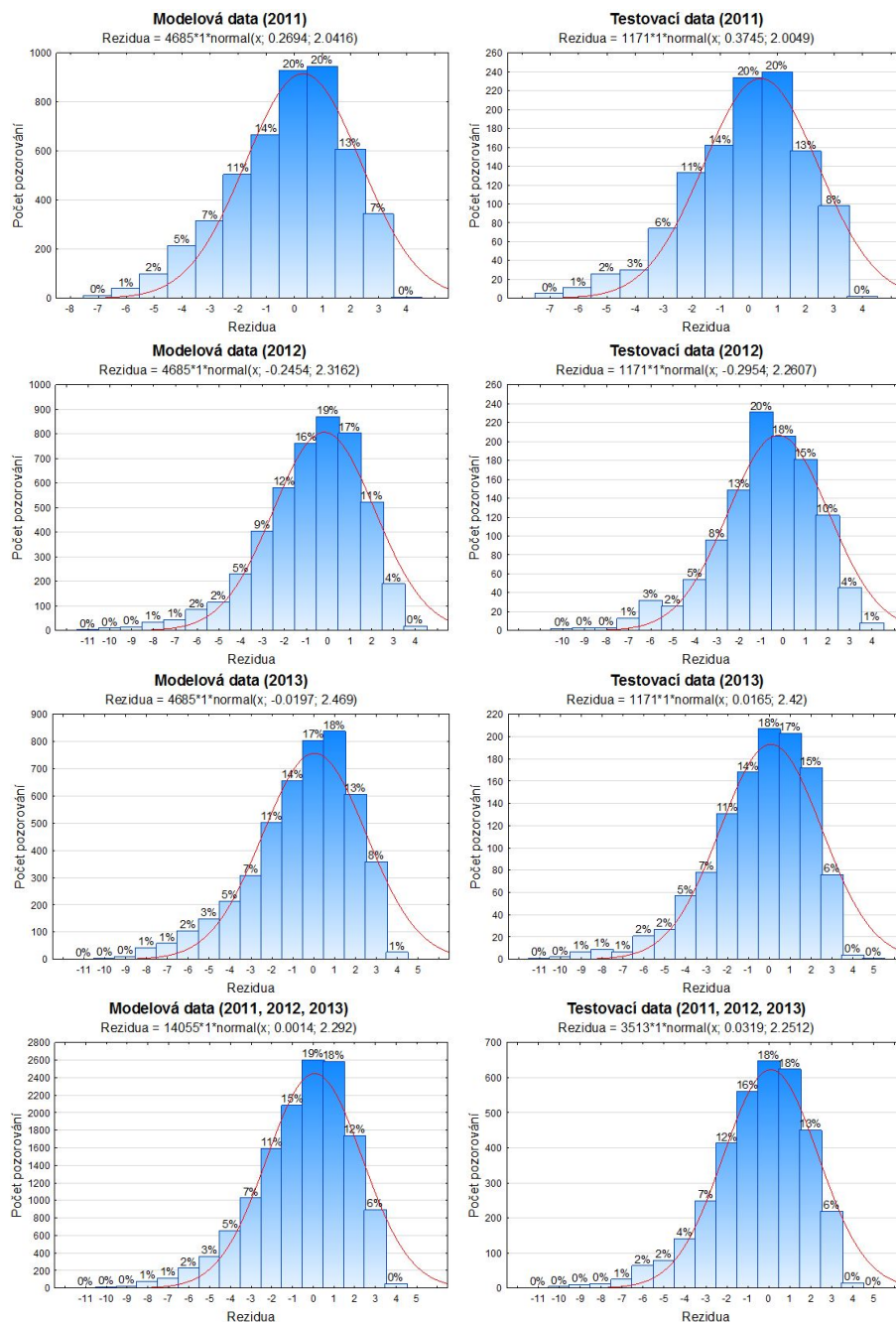
Obr. 24: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 1, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



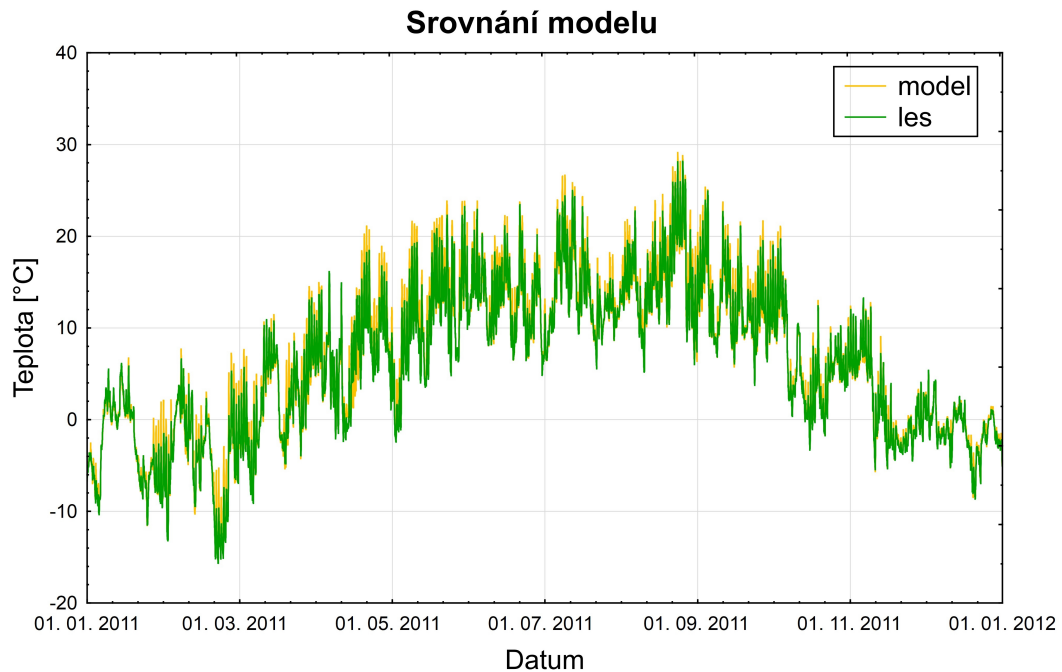
Obr. 25: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 2, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



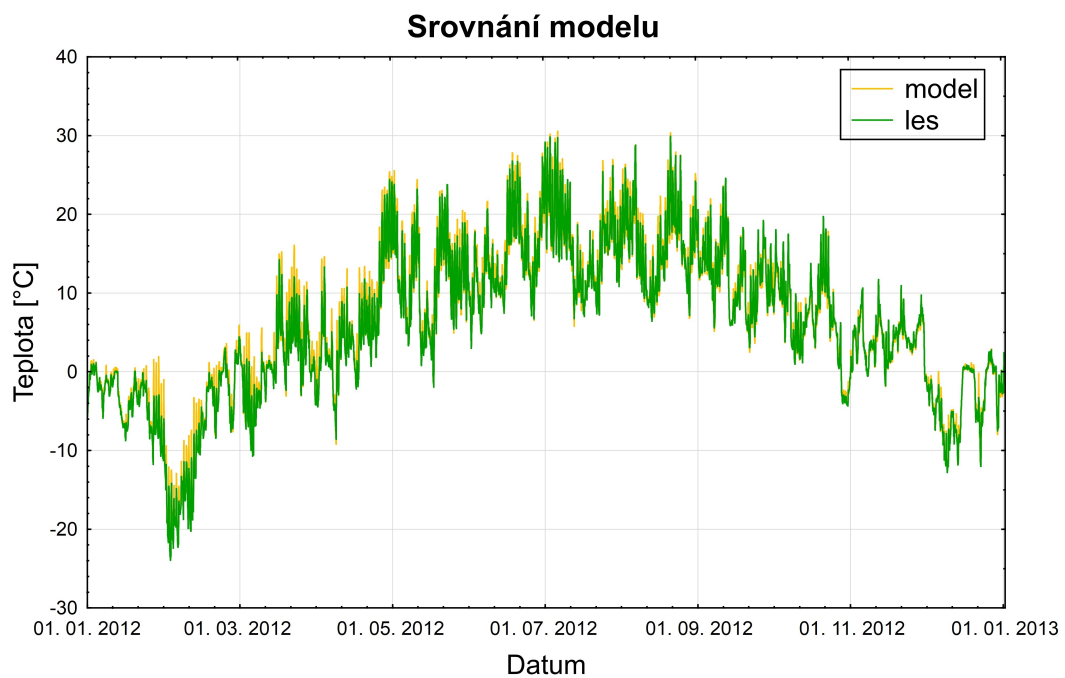
Obr. 26: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 3, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



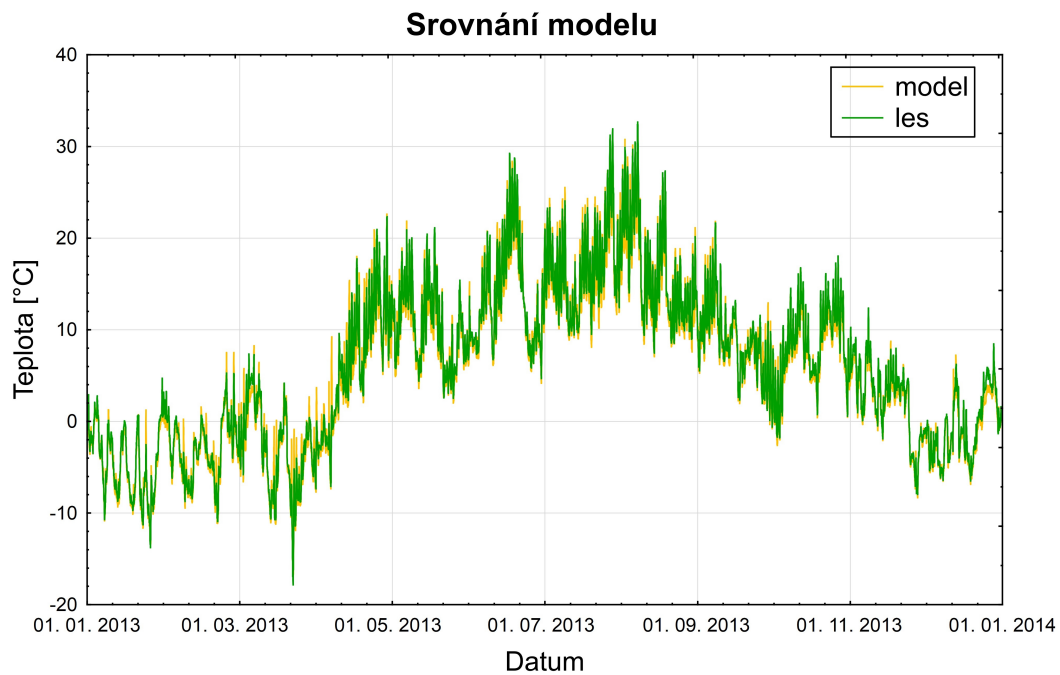
Obr. 27: Histogramy reziduí po odečtení naměřených dat od modelu č. 4, nalevo pro data, z kterých byl model vytvořen, napravo pro data testovací. Červená křivka vyjadřuje normální rozdělení.



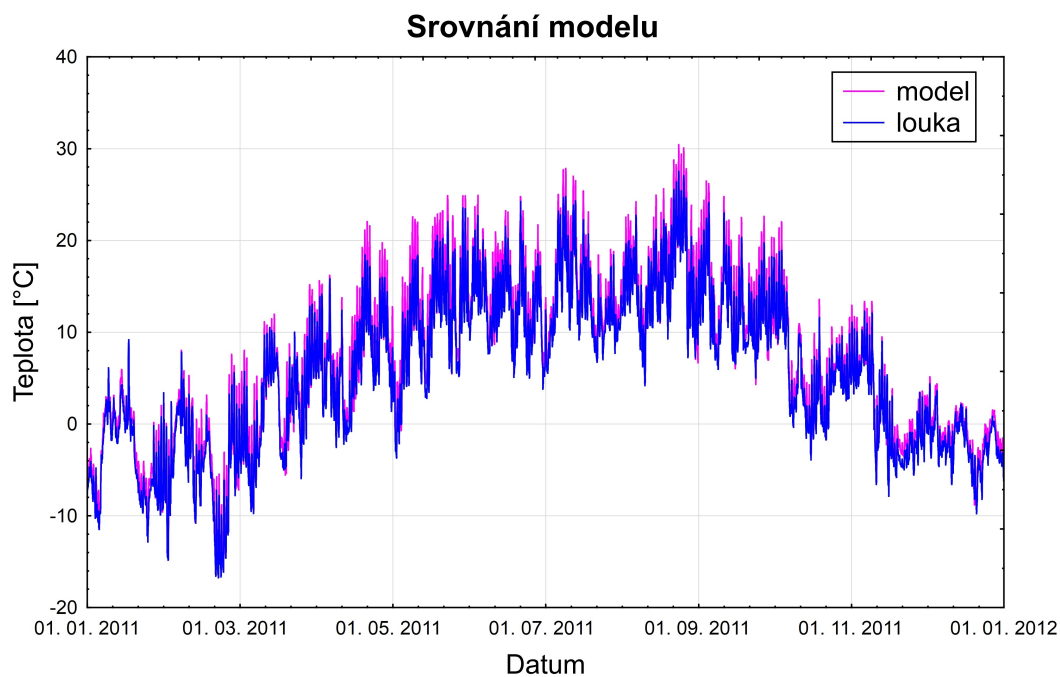
Obr. 28: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2011.



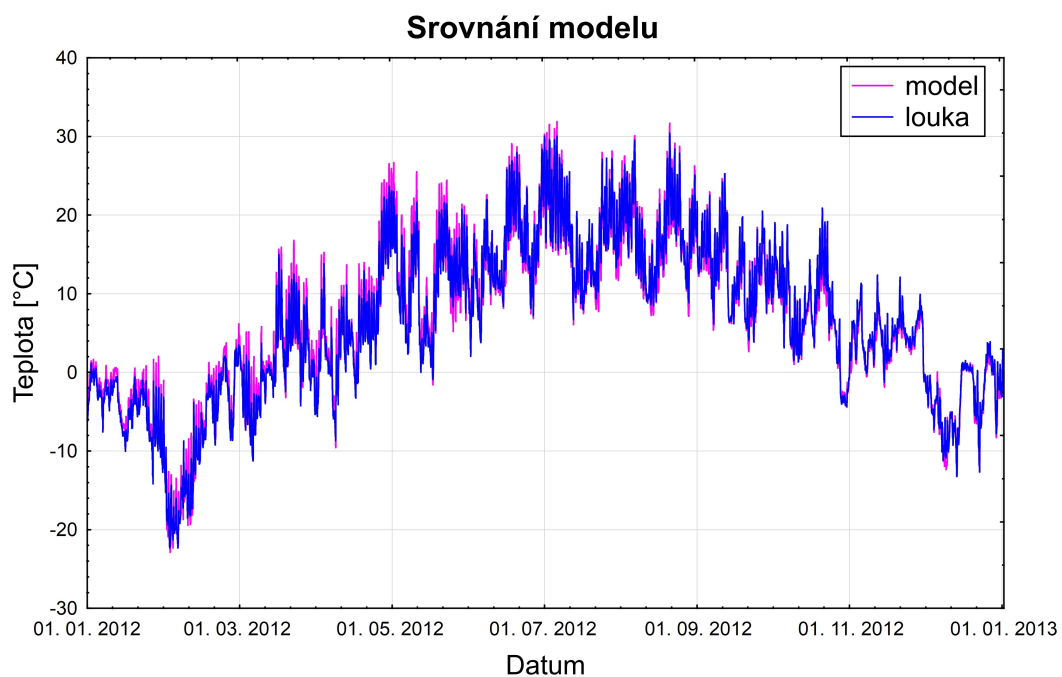
Obr. 29: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2012.



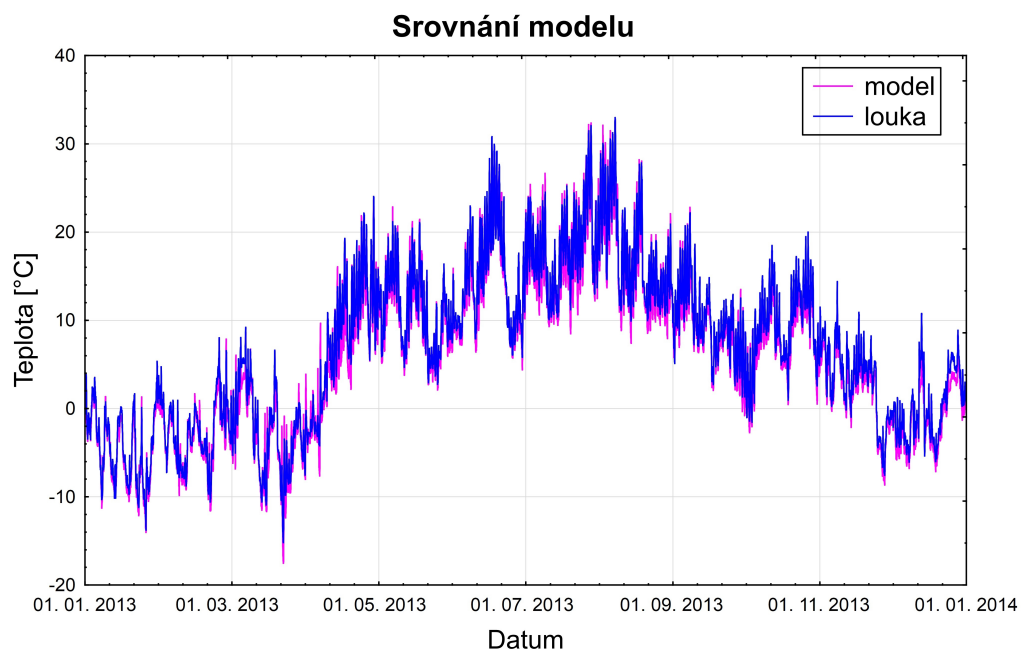
Obr. 30: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu ve smrkovém lese v roce 2013.



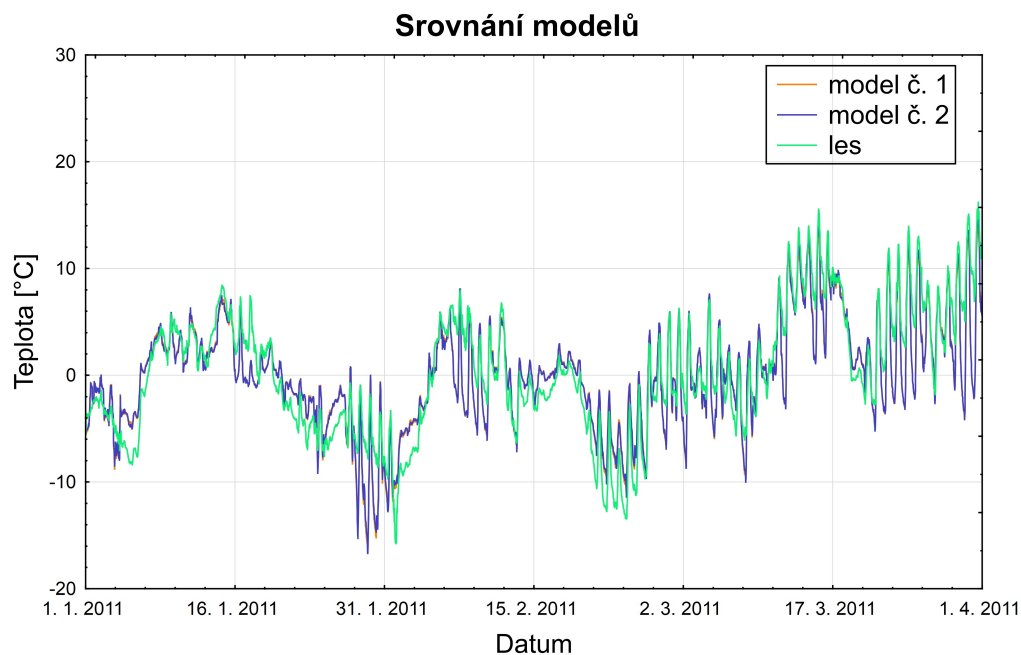
Obr. 31: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2011.



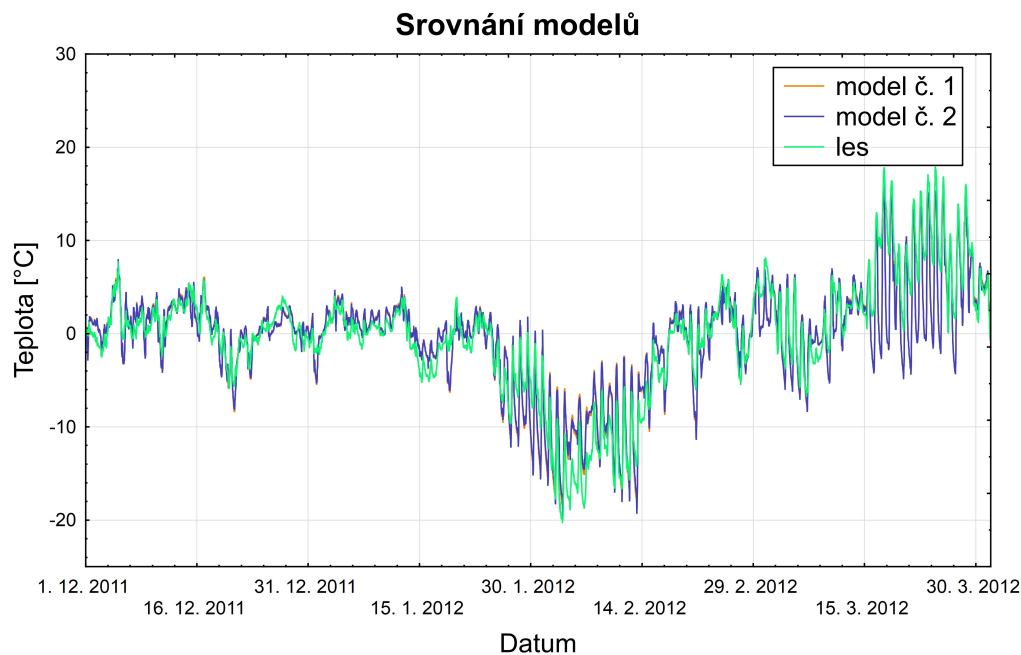
Obr. 32: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2012.



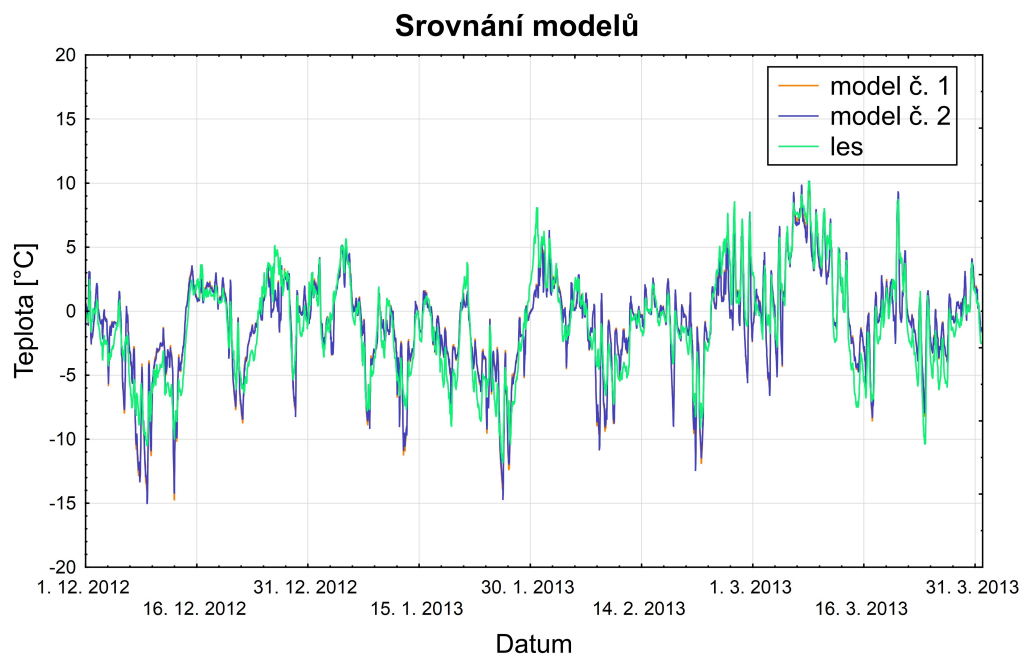
Obr. 33: Porovnání teplot modelovaných a měřených v 30min intervalu na louce v roce 2013.



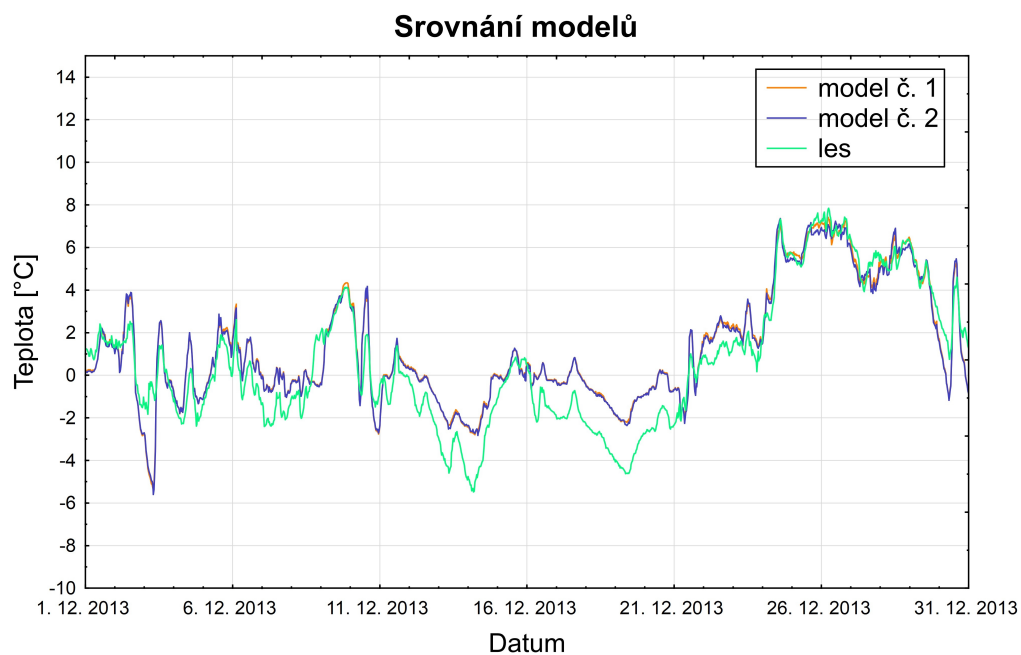
Obr. 34: Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období v první polovině roku 2011.



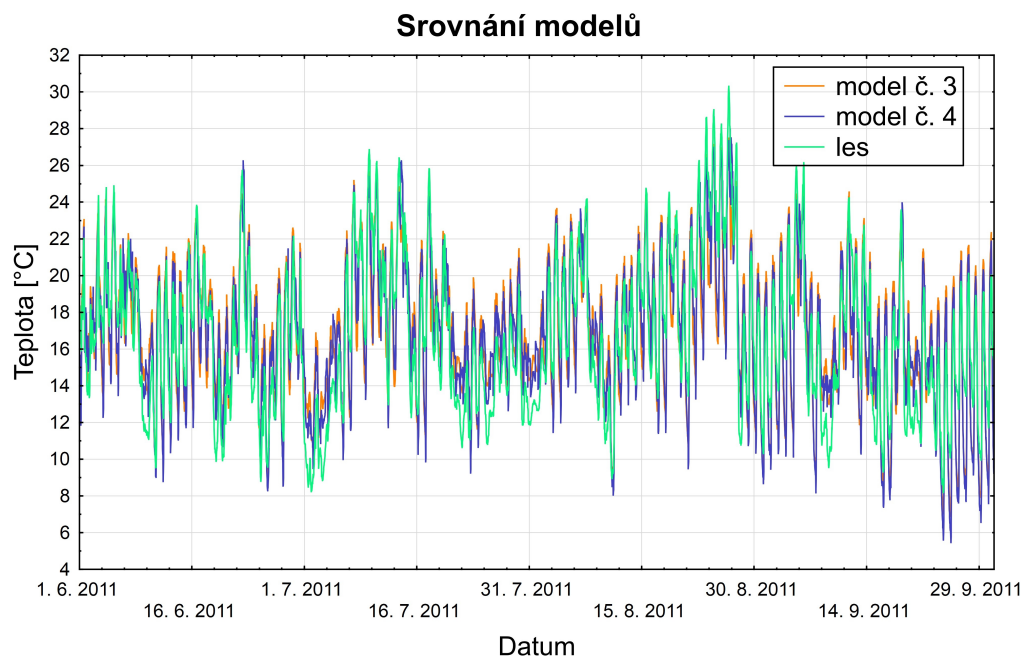
Obr. 35: Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období 2011/2012.



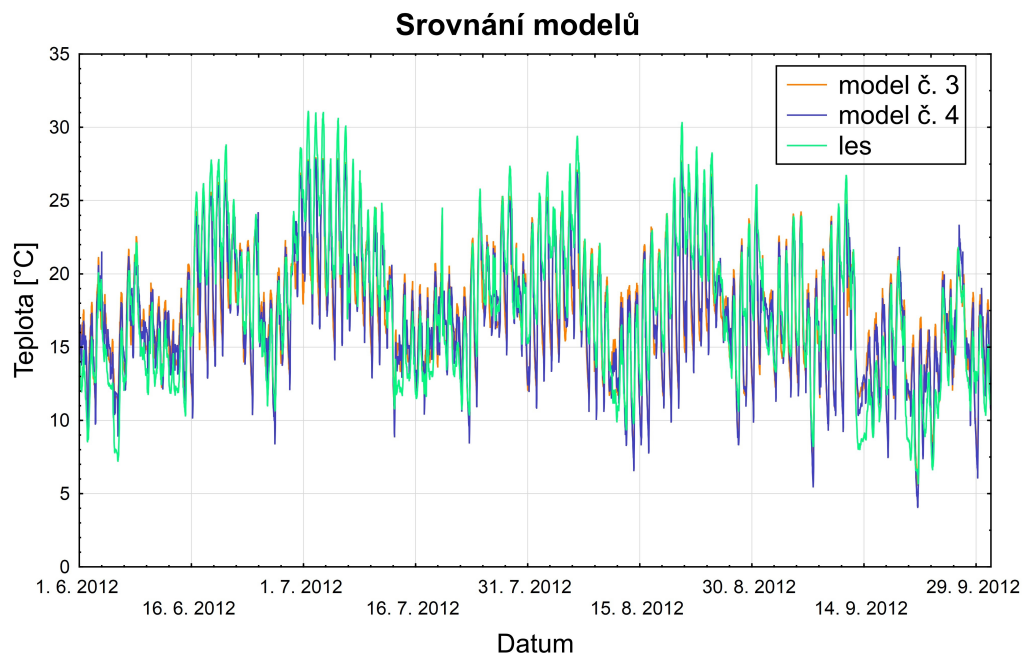
Obr. 36: Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v zimním období 2012/2013.



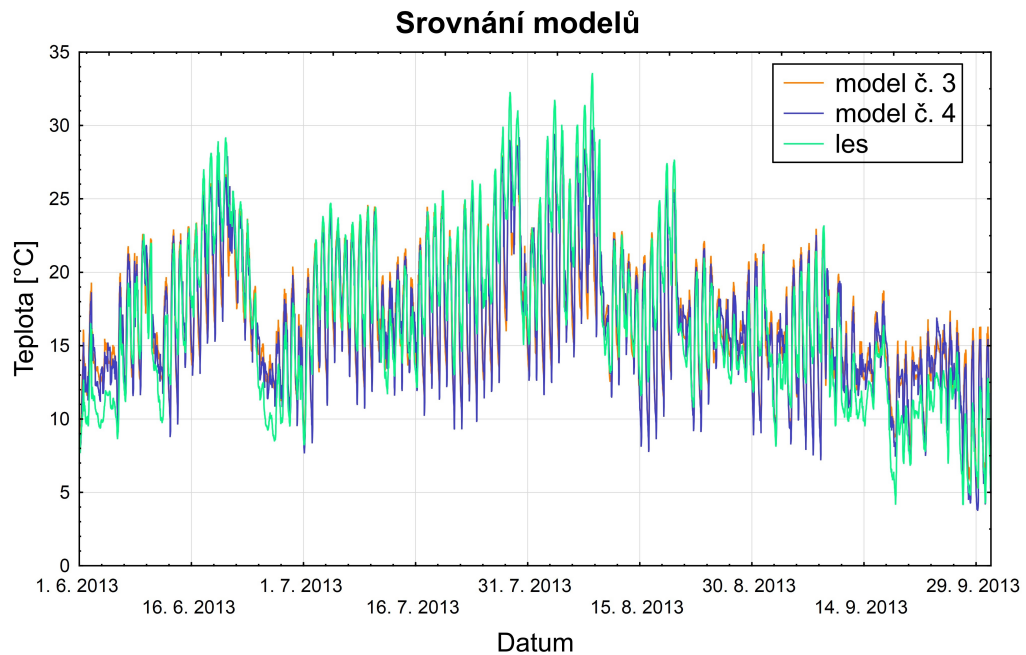
Obr. 37: Porovnání modelů č. 1 a č. 2 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v prosinci r. 2013.



Obr. 38: Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2011.



Obr. 39: Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2012.



Obr. 40: Porovnání modelů č. 3 a č. 4 s teplotou naměřenou v 30 min intervalu v bukovém lese v letním období r. 2013