

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Vliv druhové skladby na mikroklima  
hemiboreálního lesa v Polsku**

Bakalářská práce

Autor: Jiří Ledvinka

Vedoucí práce: Ing. Radim Matula, Ph.D.

2021



## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Bc. Jiří Ledvinka

Lesnictví  
Lesnictví

Název práce

**Vliv druhové skladby na mikroklima hemiboreálního lesa v Polsku**

Název anglicky

**Effects of tree species composition on the microclimate of hemiboreal forests in Poland**

---

### Cíle práce

Oblasti hemiboreálních lesů patří k nejvíce zasaženým globálním oteplováním. Stromové patro lesů však může významně omezit negativní dopady oteplování na lesní mikroklima, čímž snižuje dopady na biodiverzitu a stabilitu těchto lesů. Tento pozitivní vliv lesa na mikroklima v podrostu se však může lišit dle druhové a funkční skladby stromového patra, avšak empirická informace o tom, jak hlavní dřeviny boreálního lesa a jejich směsi ovlivňují lesní mikroklima doposud chybějí. Cílem práce tak bude zjistit, jak hlavní druhy dřevin hemiboreálního lesa v Polsku a jejich vzájemné směsi ovlivňují teploty vzduchu, půdy a půdní vlhkost v podrostu.

### Metodika

Měření budou prováděna pomocí mikroklimatických čidel TMS4 na síti ploch FunDivEUROPE (1 čidlo na plochu) v Bělověžském národním parku v Polsku. V rámci bakalářské práce budou plochy navštíveny, zkontrolována a případně doinstalována čidla a stažena data. Nad každým čidlem bude zhotovena hemisférická fotografie pro určení pokryvnosti stromového patra.

Analýza dat bude prováděna v programu R s pomocí k tomu vytvořeného skriptu. V první fázi budou vypočítány průměry, maxima, minima a variabilita v rámci vybraných časových období (např. denní či měsíční průměry teplot a maxima během vegetační sezóny, půdní vlhkost v létě apod.). Následně budou pomocí statistických modelů testovány rozdíly.

## Doporučený rozsah práce

35 stran textu

## Klíčová slova

mikroklima, hemiboreální les, Bělověžský národní park, FunDivEUROPE

---

## Doporučené zdroje informací

- Aussenac, G., 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* 57, 287–301.
- Aussenac, G., 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Ann. For. Sci.* 57, 287–301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
- Chen, J., Saunders, S.C., Crow, T.R., Naiman, R.J., Brosnokske, K.D., Mroz, G.D., Brookshire, B.L., Franklin, J.F., 1999. Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *Bioscience* 49, 288–297.
- Baeten, L., Verheyen, K., Wirth, C., Bruelheide, H. et al., 2013. A novel comparative research platform designed to determine the functional significance of tree species diversity in European forests. *Perspect. Plant Ecol. Evol. Syst.* 15, 281–291.
- Bonal, D., Gessler, A., Grossiord, C., Granier, A., Jucker, T., 2013. Does Drought Influence the Relationship Between Biodiversity and Ecosystem Functioning in Boreal Forests? *Ecosystems* 17, 394–404.
- Boulanger, Y., Taylor, A.R., Price, D.T., Cyr, D., Sainte-Marie, G., 2018. Stand-level drivers most important in determining boreal forest response to climate change. *J. Ecol.* 106, 977–990.
- D'Orangeville, L., Houle, D., Duchesne, L., Phillips, R.P., Bergeron, Y., Kneeshaw, D., 2018. Beneficial effects of climate warming on boreal tree growth may be transitory. *Nat. Commun.* 9, 1–10.
- Reich, P.B., Sendall, K.M., Stefanski, A., Rich, R.L., Hobbie, S.E., Montgomery, R.A., 2018. Effects of climate warming on photosynthesis in boreal tree species depend on soil moisture. *Nature* 562, 263–267.
- 

## Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

## Vedoucí práce

Ing. Radim Matula, Ph.D.

## Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

## Konzultant

Ing. Jan Vítámvás, Ph.D.

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2021

**prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2021

**prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 12. 04. 2021

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv druhové skladby na mikroklima hemiboreálního lesa v Polsku“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Radima Matuly, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V..... dne.....

Podpis autora

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Radimovi Matulovi, Ph.D. za vedení a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce.

# Vliv druhové skladby na mikroklima hemiboreálního lesa v Polsku

## Abstrakt

Cílem této práce bylo zjistit, jaký vliv má druhové složení hemiboreálního lesa na mikroklima porostu. Měření probíhalo v oblasti Bělověžského lesa v severovýchodním Polsku. Čidly TMS-4 byla měřena půdní vlhkost, půdní teplota a teploty vzduchu těsně nad povrchem a ve výšce 50 cm. Data byla získána celkem ze 17 čidel, a to z období jara 2018 až podzimu 2020. Zkusné plochy se nacházeli v porostech s různým zastoupením smrku ztepilého (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), břízy bělokoré (*Betula pendula*), dubu letního (*Quercus robur*) a habru obecného (*Carpinus betulus*). Data z čidel byla zpracována ve statistickém programu R. Výstupem tohoto softwaru bylo grafické vyjádření závislosti veličin charakterizujících mikroklima v čase.

Z výsledků vyplývá, že monokulturní porost borovice lesní vykazoval vysoké hodnoty půdní vlhkosti a zároveň relativně stabilní půdní teploty v průběhu roku v porovnání s ostatními porosty. V porostech, ve kterých byl zastoupen smrk ztepilý, byly naměřeny nejnižší hodnoty teploty půdy a vzduchu v její blízkosti. Naopak denní maxima teplot vzduchu v letních měsících v těchto porostech patřily k těm nejvyšším. V porostech se zastoupením habru a břízy byly tyto teplotní maxima nejnižší.

**Klíčová slova:** mikroklima, hemiboreální les, Bělověžský les, FunDivEurope, druhová skladba, TMS-4

# Effects of tree species composition on the microclimate of hemiboreal forests in Poland

## Abstrakt

The aim of this bachelor thesis was to determine how tree species composition of hemiboreal forest affect microclimate of forest stands. The measurement took place in Białowieża forest in northeast Poland. Soil moisture, soil temperature and air temperature was measured by TMS-4 soil sensors on 17 different test plots from spring 2018 to autumn 2020. Test plots were located in stands which contained Norway spruce (*Picea abies*), Scotch pine (*Pinus sylvestris*), Silver birch (*Betula pendula*), Pendunculate oak (*Quercus robur*), Hornbeam (*Carpinus betulus*) and their mixtures. Data from soil sensors were processed by statistical software R.

The results showed, that in monoculture stand of Scotch pine was observed high values of soil moisture. The results also showed the smallest divergence between maximal and minimal soil temperatures during the year in pine stand. In stands contain Norway spruce were measured relative low soil temperatures and air temperatures nearby surface. On the contrary, daily air temperature maximum in vegetation periods were highest in those stands. In the deciduous stands of hornbeam and silver birch were measured the lowest values of daily air temperature maximums.

**Keywords:** microclimate, hemiboreal forest, Białowieża forest, FunDivEurope, species composition, TMS-4



## Obsah

1	Úvod .....	12
2	Cíl práce .....	13
3	Literární rešerše.....	14
3.1	Mikroklima .....	14
3.1.1.	Faktory ovlivňující mikroklima lesa.....	14
3.2	Bělověžský hemiboreální les .....	15
4	Metodika.....	16
4.1	Čidlo TMS 4.....	17
4.2	Stahování dat .....	19
4.3	Zpracování dat.....	21
5	Výsledky .....	23
5.1	Půdní vlhkost.....	23
5.2	Teplota půdy T1.....	27
5.3	Teplota T2 .....	29
5.4	Teplota vzduchu T3 .....	31
6	Diskuze.....	34
7	Závěr .....	37
8	Seznam použitých zdrojů.....	38

## Seznam obrázků

Obrázek 1. Lokalizace studovaných ploch (zdroj: google.com).....	17
Obrázek 2. Čidlo TMS-4 (zdroj: TOMST.com).....	18
Obrázek 3. Čidlo s prodluženým senzorem T3.....	19
Obrázek 4. Stahování dat z čidla do softwaru Lolly manager.....	20
Obrázek 5. Zkusná plocha PL25.....	20
Obrázek 6. Příklady vadných dat, které musely být odstraněny.....	21
Obrázek 7. Průběh minimální denní půdní vlhkosti v průběhu měření pro všechna měřená stanoviště.....	23
Obrázek 8. Měsíční průměry vlhkosti půdy pro jednotlivé roky včetně směrodatné odchylky.....	24
Obrázek 9. Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé kombinace druhové skladby.....	24
Obrázek 10. Průběh půdní vlhkosti v čase v monokulturních porostech.....	25
Obrázek 11. Průběh vlhkosti půdy v čase v závislosti na počtu druhů dřevin v porostu.....	25
Obrázek 12. Vlhkost půdy pro jednotlivá druhová složení ve vegetačních sezónách 2018 a 2019.....	26
Obrázek 13. Měsíční průměry půdní vlhkosti v průběhu roku pro jednotlivé kombinace druhových skladeb.....	26
Obrázek 14. Závislost střední denní teploty půdy pro jednotlivá druhová složení porostů.....	27
Obrázek 15. Závislost střední denní teploty půdy pro jednotlivá druhová složení porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019.....	28
Obrázek 16. Závislost střední denní teploty půdy v čase dle počtu druhů dřevin v porostu.....	28
Obrázek 17. Závislost střední denní teploty půdy v čase v monokulturních porostech.....	29
Obrázek 18. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro různé druhové skladby porostů.....	30
Obrázek 19. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019.....	30
Obrázek 20. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro porosty s různými počty druhů dřevin.....	31
Obrázek 21. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro monokulturní porosty borovice a habru.....	31
Obrázek 22. Závislost průměrné teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů.....	32
Obrázek 23. Závislost maximální denní teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů.....	32
Obrázek 24. Závislost průměrné teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019.....	33
Obrázek 25. Závislost maximální denní teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019.....	33

## Seznam tabulek

Tabulka 1. Zastoupení dřevin západní části Bělověžského lesa (Jaroszewicz et al., 2019). .....	16
Tabulka 2. Informace o studovaných plochách .....	17

# 1 Úvod

Lesní ekosystémy jsou ovlivňovány vnějšími činiteli, jako je klima nebo působení člověka. Tyto ekosystémy zároveň ovlivňují okolní prostředí a své vlastní vnitřní prostředí. Znalosti o tom, jak les ovlivňuje své vlastní mikroklima, může pomoci v pěstování lesů z pohledu produkce ale také jejich ochrany. Vlivem globálních změn klimatu je stále důležitější brát v potaz podmínky na konkrétních stanovištích a přizpůsobit jim strategii lesního hospodářství. Struktura porostu může zlepšit vodní režim prostředí a snížit důsledky poškození jarními mrazy, a tím chránit zejména mladší jedince v podrostu (Aussenac, 2000). Větší zápoj může díky snížení průměrné teploty v lesních ekosystémech zpomalit důsledky globálních změn klimatu (De Frenne et al., 2013).

Doposud se klimatická data pro tyto účely z velké části sbírali z meteorologických stanic. Veličiny jako teplota a vlhkost vzduchu, které reprezentují klima, jsou většinou získávány v otevřeném prostředí ve výšce 2 m nad povrchem země. Tyto data dobře reprezentují makroklima dané oblasti, ale na mikroklima uvnitř lesních ekosystémů působí kromě vnějšího prostředí i jiné faktory, jako zápoj a struktura porostu (Zellweger et al., 2020), vodní režim prostředí (Von Arx et al., 2013), poloha stanoviště v rámci krajiny atd. Pro přesnější informace o mikroklimatu je třeba data měřit tam kde působí veškerí činitelé ovlivňující prostředí, tedy uvnitř lesa (Lembrechts et al., 2020).

Tato práce se zaměřuje na vliv druhové skladby hemiboreálních porostů na mikroklima v podrostu. Data byla získána ze 17 čidel snímajících teplotu vzduchu a půdy a vlhkost půdy. Čidla byla umístěna v porostech s různou druhovou skladbou v Bělověžském národním parku v Polsku. Sběr dat probíhá v rámci projektu FundivEurope jehož cílem je studovat vliv biodiverzity evropských lesů na funkci těchto ekosystémů.

## **2 Cíl práce**

Cílem práce bylo změřit mikroklima hemiboreálních lesů v Bělověžském národním parku. Dále bylo cílem zjistit, jaký vliv má druhové složení dřevin na mikroklima porostu.

Bylo třeba zpracovat a graficky interpretovat data z čidel, která snímala veličiny charakterizující mikroklima porostů. Ze závislostí půdních teplot, půdních vlhkostí a teplot vzduchu na čase pro porosty o různých druhových skladbách bylo cílem porozumět, jak tyto dřevinné směsi ovlivňují měřené veličiny v průběhu roku. Získané informace mohou pomoci v managementu lesního hospodářství a ochrany lesa před nepříznivými vlivy.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Mikroklima

Mikroklima je stav klimatických podmínek vyskytující se na relativně malém území. Liší se od klimatu okolí vlivem působení lokálního prostředí, v našem případě lesa. Hodnotit mikroklima je možno několika veličinami. V této práci bylo hodnoceno teplotou vzduchu nad zemí a teplotou půdy ve dvou různých hloubkách, dále potom vlhkostí půdy. Další veličiny, kterými může být hodnoceno mikroklima jsou například vlhkost vzduchu, množství slunečního záření dopadající na povrch nebo rychlost větru. Mikroklima lesního ekosystému je do velké míry závislé na makroklimatu, ale jak se od něho liší, závisí na mnoha faktorech (Poleno et al., 2011).

#### 3.1.1. Faktory ovlivňující mikroklima lesa

Faktory, které ovlivňují lesní mikroklima, lze rozdělit na biotické a abiotické. Mezi abiotické patří klima, to je závislé na poloze studované plochy na planetě a nadmořské výšce. Klimatické podmínky mohou být ovlivněny i více regionálními faktory jako například morfologický charakter terénu nebo vodní plochy. Charakter klimatu lze popsat pomocí veličin jako je průměrná roční teplota a vlhkost, průměrný roční úhrn srážek a jeho rozložení v průběhu roku, doba slunečního svitu nebo průměrná rychlost a směr větru. Abiotické faktory ovlivňující mikroklima na lokální úrovni jsou například charakter půdy a její povrch, svažitosť terénu a orientace na světovou stranu.

Mezi biotické faktory patří převážně struktura porostu. Samotný porost ovlivňuje mikroklima zastíněním povrchu od slunečního záření, snížením rychlosti větru, intercepcí a transpirací (Poleno et al., 2011). Stupeň zastínění lze specifikovat pomocí velikosti zápoje nebo indexem listové plochy (LAI). LAI je definován jako listová plocha vztážená na jednotku plochy povrchu země, počítá se pouze s jednou stranou listu. (Myneni, 1997). S větším zápojem potažmo LAI se snižují teplotní výkyvy v porostu oproti okolí. Plocha porostu snižuje intenzitu slunečního záření dopadajícího na povrch a naopak v noci snižuje množství vyzážené energie do okolí (Poleno et al., 2011). Se zastíněním se snižuje průměrná teplota prostředí. Poleno (2011) uvedl, že bylo naměřeno o 1,2 °C nižší průměrná roční teplota u povrchu v lese oproti vedlejšímu poli. Snížení teploty je také důsledkem intercepce a následným odebráním skupenského tepla ze vzduchu vlivem výparu vody s povrchu vegetace. Toto v kombinaci s transpirací zvyšuje relativní vlhkost vzduchu v porostu (Poleno et al., 2011). Vítr má také zásadní vliv na charakter lesního prostředí. Při vysokých rychlostech větru se rozdíl mezi mikroklimatem a okolím porostu

snižuje, naopak při nízkých rychlostech větru a slunečném počasí je mikroklima ovlivněno výrazněji, a to až do několika metrů (Aussenac, 2000). Bylo prokázáno, že i druhová skladba porostu má vliv na mikroklima. Při zkoumání vodního režimu bukových a smrkových porostů byly naměřeny vyšší hodnoty odtoku vody z bukových porostů. To je patrně způsobeno větším odparem ze smrkových porostů vlivem větších hodnot intercepce (Poleno et al., 2011). Obdobná práce studující boreální lesy ve Finsku prokázala vliv druhové skladby porostů na půdní vlhkost a vzdušnou teplotu (Pilařová, 2020).

### 3.2 Bělověžský hemiboreální les

Bělověžský les je oblast o rozloze asi 1500 km<sup>2</sup> nacházející se na u hranic Polska a Běloruska v severovýchodní části střední Evropy. Oblast byla formována ústupem ledovce během zalednění Warty. V poslední době ledové nebyl tento region pokryt ledovcem, ale díky jeho blízkosti byla oblast pokryta novými sedimenty. Spodní vrstva je tvořena desítky metrů mocným jílovým tillem. Vlivem eroze zde vznikaly písčné pláně. Následně zde začal pokryv organických usazenin a vznikaly současné půdy (Jaroszewicz et al., 2019).

Průměrná roční teplota v této oblasti činí 6,9 °C a průměrný roční úhrn srážek 627 mm. Jedná se převážně o rovinný terén a nadmořská výška se pohybuje v rozmezí 135 až 185 m.n.m (Baeten et al., 2013).

Území leží v zóně hemiboreálních lesů a je tvořeno jehličnatými a smíšenými porosty. To se odráží na druhovém složení, které se od západoevropských lesů liší absencí buku lesního (*Fagus sylvatica*) a javoru klenu (*Acer pseudoplatanus*). Od východně položených oblastí se druhovým zastoupením liší velkým podílem dubu letního (*Quercus robur*), habru obecného (*Carpinus betulus*) a lípy malolisté (*Tilia cordata*). Velkým zastoupením smrku ztepilého (*Picea abies*) se podobá lesům severovýchodní Evropy (Jaroszewicz et al., 2019).

Bělověžský les byl přirozeně velice rozmanitý, co se týče množství různých typů rostlinných společenstev. Od zaplavovaných oblastí říčních luhů až po borové porosty na kopcích s písčitou půdou. Více než polovina polské části Bělověžského lesa je pokryta habitaty, které by měly být potenciálně pokryty porosty s velkým zastoupením habru obecného (*Carpinus betulus*), dubu letního (*Quercus robur*), javoru mléče (*Acer platanoides*) a lípy srdčité (*Tilia cordata*). Stejně jako zbytek Evropy, je i tato oblast ovlivněna lesním hospodářstvím a lesy jsou oproti přirozenému stavu homogenizovány a jsou v nich upřednostňovány hospodářsky významné dřeviny (Jaroszewicz et al., 2019).

V tabulce 1 je znázorněno zastoupení dřevin v polské části Bělověžského lesa z roku 2001.

**Tabulka 1. Zastoupení dřevin západní části Bělověžského lesa** (Jaroszewicz et al., 2019).

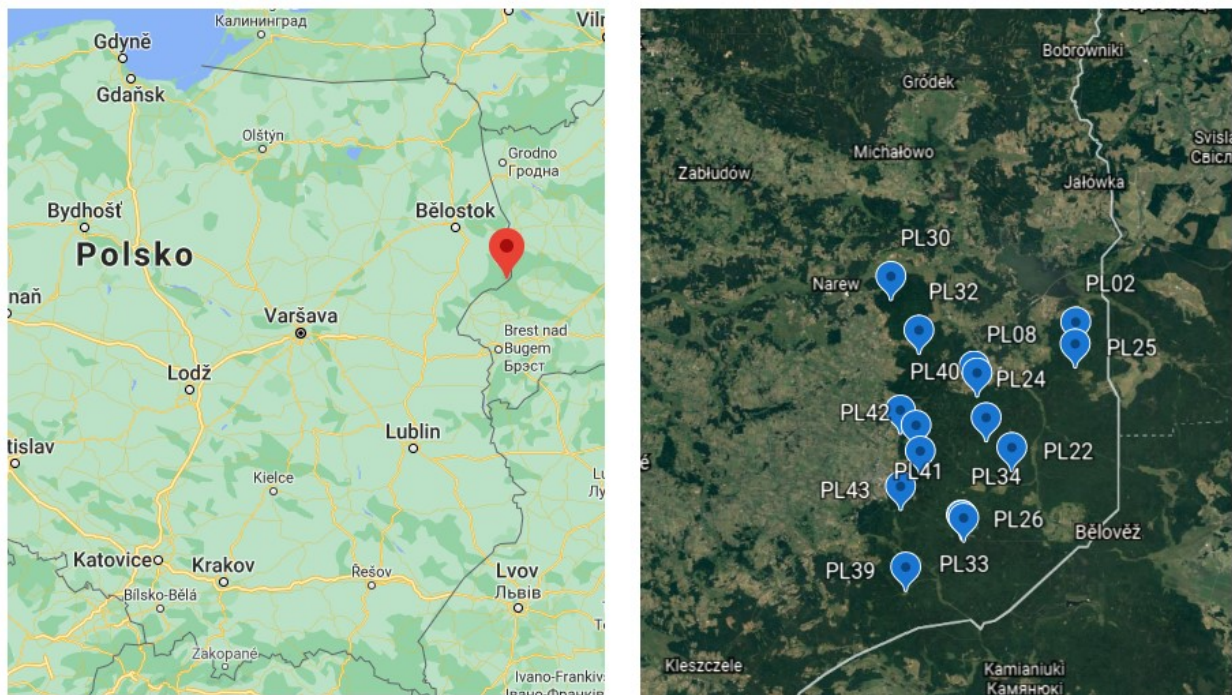
Druh dřeviny	zastoupení (%)
Borovice lesní ( <i>Pinus sylvestris</i> )	28,3
Smrk ztepilý ( <i>Picea abies</i> )	26,8
Olše lepkavá ( <i>Alnus glutinosa</i> )	20
Dub letní ( <i>Quercus robur</i> )	11
Bříza bělokorá ( <i>Betula pendula</i> )	8,3
Bříza přířítá ( <i>Betula pubescens</i> )	
Habr obecný ( <i>Carpinus betulus</i> )	2,2
Jasan ztepilý ( <i>Fraxinus excelsior</i> )	0,7
Topol osika ( <i>Populus tremula</i> )	0,5

## 4 Metodika

Pokusné plochy se nacházejí v severovýchodním Polsku u hranic Běloruska. Nacházejí se v hemiboreálních lesích poblíž města Bělověž, asi 65 km jihozápadně od města Bělostok. Čidla byla umístěna do porostů s dominantním zastoupením smrku ztepilého (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*), břízy bělokoré (*Betula pendula*), dubu letního (*Quercus robur*) a habru obecného (*Carpinus betulus*). Data byla zpracovávána ze 17 čidel rozmístěných na ploše cca 30 x 40 km. Jedná se o porosty s různým zastoupením jednotlivých dřevin, viz. tabulka 2.

Plochy, na kterých probíhalo měření, byly vybírány tak, aby zastoupení jednotlivých dřevin bylo v rámci jednoho porostu co nejvíce vyrovnané. Rovnoměrnost zastoupení dřevin byla určována poměrem výčetních základů. Dalším určujícím kritériem pro vhodnost porostů bylo nízké zastoupení necílových dřevin. Dbalo se také na podmínky jednotlivých ploch. Vybíraly se místa s podobným sklonem, nadmořskou výškou a věkem porostu (Pilařová, 2020).





Obrázek 1. Lokalizace studovaných ploch (zdroj: google.com)

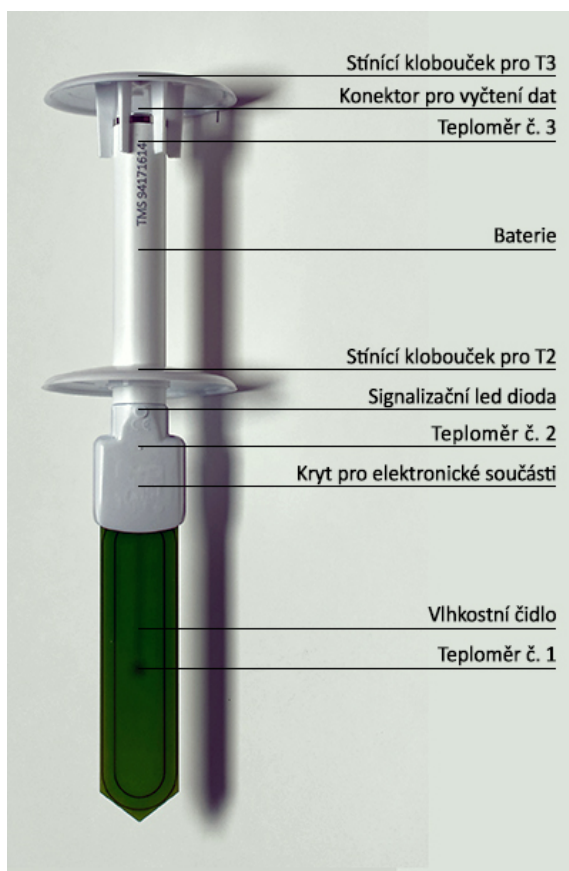
Tabulka 2. Informace o studovaných plochách

Název plochy	Druhá skladba	E	N	Město	id čidla
PL02	HB	23,877734	52,85623	Browsk	94178353
PL08	BR,HB	23,728929	52,809143	Browsk	94178337
PL22	BO,SM,DB	23,781988	52,74406	Białowieza	94178347
PL24	BO,DB,HB	23,744098	52,770949	Białowieza	94178370
PL25	BO,HB	23,875651	52,835229	Browsk	94178352
PL26	BR	23,707907	52,683141	Hajnowka	94178359
PL28	SM,BR	23,726873	52,817227	Browsk	94178346
PL30	BO,SM,BR	23,599369	52,894254	Browsk	94178363
PL32	DB,SM,BO,BR	23,644816	52,849498	Browsk	94178369
PL33	BO,BR,HB	23,710129	52,680863	Hajnowka	94178342
PL34	BR,DB,BO,HB	23,706957	52,68373	Hajnowka	94178338
PL39	BR,DB,BO,HB	23,624603	52,636861	Hajnowka	94178333
PL40	BO	23,614708	52,775252	Hajnowka	94178345
PL41	DB,SM,BO,BR	23,63782	52,762002	Hajnowka	94178340
PL42	BO,SM,BR,HB	23,646371	52,74118	Hajnowka	94178356
PL43	SM,BO,DB	23,615817	52,708445	Hajnowka	94178336

#### 4.1 Čidlo TMS 4

K měření mikroklimatických údajů byla použita čidla TMS-4 od firmy TOMST s.r.o. Na vývoji se podílel Botanický ústav Akademie věd České republiky, Katedra botaniky Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy a Katedra hydromeliorací a krajinného

inženýrství Fakulty stavební ČVUT v Praze (Wild et al., 2019). Čidlo je opatřeno třemi senzory teploty a senzorem půdní vlhkosti. Dva senzory snímají teplotu vzduchu a to ve výšce 15 cm a v prostoru těsně nad zemí. V případě tohoto měření byl použit typ čidla se senzorem teploty T3 ve výšce 50 cm nad zemí viz. obrázek 3 . Senzory teploty a půdní vlhkosti jsou v hloubce 6 cm. Senzory teplot jsou schopny měřit v rozmezí -40 až 60 °C s přesností  $\pm 0,5$  °C. Surová data ze senzoru vlhkosti jsou konvertována na hodnoty objemové půdní vlhkosti nástrojem TMS Calibr utility. Čidla zaznamenávala data do interní paměti každých 15 min, paměť je schopna uchovat až 524288 záznamů. Čidlo dále disponuje lithiovou baterií s výdrží okolo 10 let. Pro stažení dat do PC přes USB adaptér slouží doteková sonda (Tomst.com).



Obrázek 2. Čidlo TMS-4 (zdroj: TOMST.com)



Obrázek 3. Čidlo s prodluženým senzorem T3

## 4.2 Stahování dat

Data byla stažena v říjnu 2020. Jednotlivá čidla byla v porostech vyhledávána pomocí GPS podle známých souřadnic čidel. Zkusné plochy byly označeny dřevěnými kolíky. Označeny byly rohy čtverců o stranách 10 a 30 m kolem čidel. Stahování dat z čidel probíhalo přes USB adaptér TMD do PC. Software Lolly manger, který je potřebný k přenosu dat je volně dostupný na webu výrobce čidel. Po přiložení adaptéru ke konektoru jsou data stažena do PC a ihned jsou zobrazena v rozhraní softwaru. Data jsou v programu Lolly manager graficky zobrazena a mohou sloužit jako prvotní kontrola měření přímo v terénu. Příklad stahování dat je zobrazen na obrázku 4.





Obrázek 4. Stahování dat z čidla do softwaru Lolly manager.



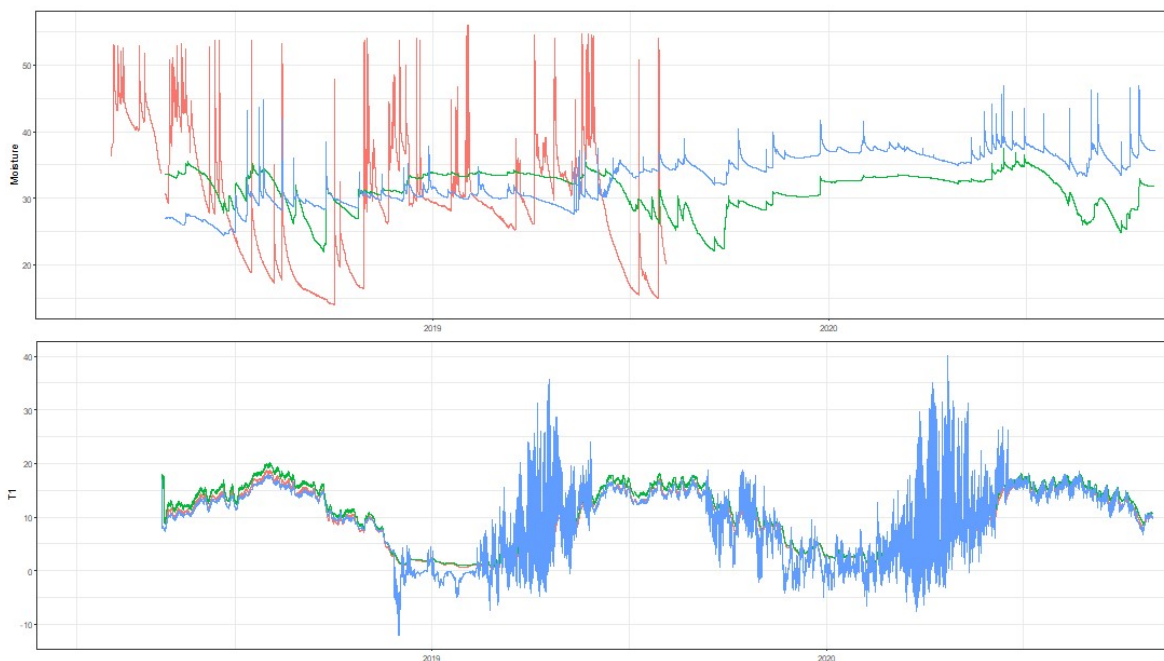
Obrázek 5. Zkusná plocha PL25



### 4.3 Zpracování dat

Nejprve bylo potřeba data vyčistit od těch, která byla pro následující analýzu nepoužitelná. Chybná data byla z největší části způsobena interakcí čidel se zvířeti. Čidla byla povalena na zem nebo zcela vytažena. V těchto případech senzory určené k měření stavu půdy měří prostředí na povrchu a vnější čidla jsou více ovlivněna povrchem půdy a nejsou patřičně chráněna před přímým slunečním svitem. Dalším faktorem chybně neměřených dat může být chyba zařízení nebo jiné mechanické poškození.

Exportovaná data z programu Lolly manager byla zpracovávána v softwaru R (R Core Team, 2016). Pro efektivnější manipulaci byla data převedena do grafické podoby pomocí balíčku Shiny. V tomto grafickém prostředí je možno zobrazovat naměřená data pro jednotlivá čidla a jednotlivé měřené veličiny. Určování chybných dat probíhalo porovnáváním hodnot dané veličiny z více čidel najednou. Při větším počtu vzájemně se překrývajících křivek lze vidět trend závislosti veličin v čase. Data vymykající se tomuto trendu byla odstraněna. Na obrázku 6. jsou dva příklady nepoužitelných dat. V horním grafu je patrná extrémní fluktuace hodnot vlhkosti jednoho čidla oproti ostatním. Na spodním grafu je obdobná situace s teplotou T1. V tomto případě bylo zřejmě čidlo vystaveno přímému světlu, a proto teplota výrazně kolísala.



Obrázek 6. Příklady vadných dat, které musely být odstraněny

Pro vyhodnocení průběhu teplot a půdní vlhkosti v čase byly do vyčištěných dat nafitovány zobecněné aditivní modely, jejichž vizualizace byla následně provedena v grafech vytvořených pomocí balíčku „ggplot2“ (Wickham, 2009).

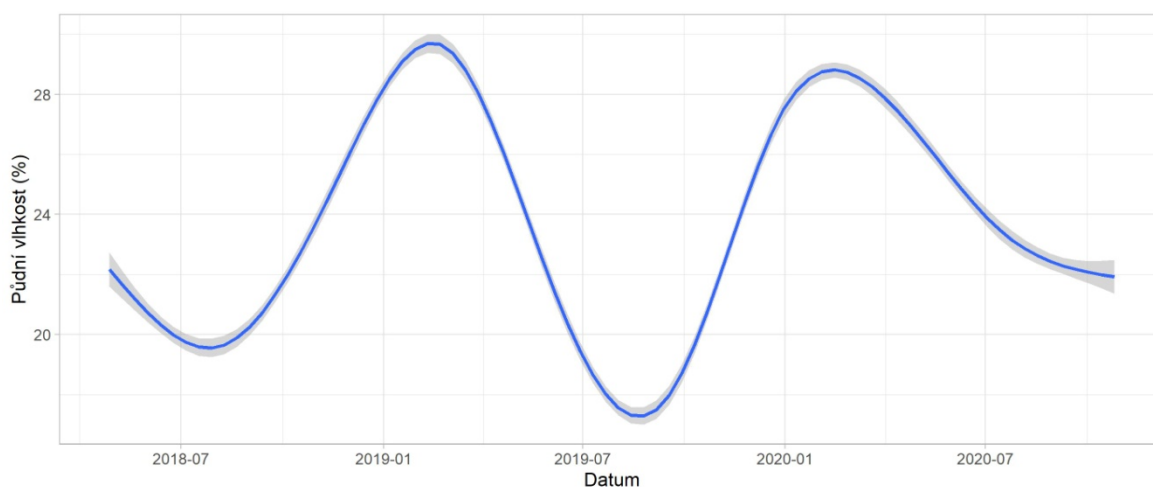
Pro hodnocení půdní vlhkosti, a tedy pro všechny grafické výstupy, byly použity minimální denní hodnoty měřené vlhkosti. Tato data nejlépe reprezentují skutečný stav půdy. V době srážek čidla zaznamenají výrazný nárůst hodnot půdní vlhkosti, ale po relativně krátké době tyto hodnoty začínají klesat a blíží se k ustálené hodnotě. Pokud by byly z celkových dat vypočteny průměrné hodnoty, tyto nereprezentativní výkyvy by zkreslily výsledek. Nejprve byla vytvořena závislost průměrné vlhkosti v čase pro všechny porosty, a to v podobě linie a průměrných měsíčních hodnot se směrodatnou odchylkou. Dále byly vytvořeny grafy zobrazující vlhkost v měřeném období a zvláště pro vegetační období pro porosty s různou druhovou skladbou. Samostatně se vyhodnocovali data pro monokulturní porosty. Dále se také vyhodnotila vlhkost v závislosti na počtu druhů dřevin v porostu.

Obdobné grafické výstupy byly vyhotoveny pro teploty T1, T2, T3. V případě teplot se pracovalo se středními a maximálními denními teplotami.

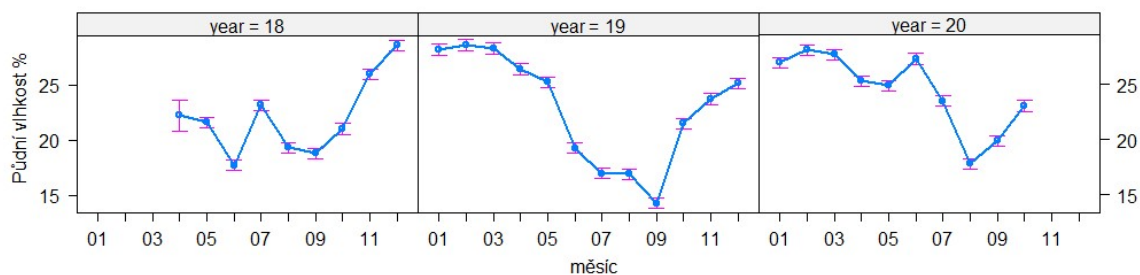
## 5 Výsledky

### 5.1 Půdní vlhkost

Na obrázku 7 je zobrazen průběh střední hodnoty půdní vlhkosti v čase pro všechny studované plochy. Tyto údaje mohou sloužit jako reference a lze podle nich porovnávat informace z konkrétních porostů či skupin porostů. Je patrné, že vlhkost půdy v průběhu roku značně osciluje. Nejnižších hodnot nabývá v pozdějších letních měsících, naopak vrcholy křivky nastávají v prvních měsících roku. Nejdůležitější data jsou ty z vegetační sezony, tedy právě z období s nejnižšími hodnotami půdní vlhkosti. Křivka poukazuje na rozdíl ve vlhkostech půdy v průběhu let. V roce 2018 klesla střední vlhkost těsně pod hranici 20 %. V následujícím roce bylo minimum cca 17 %. Na obrázku 8 jsou stejná data, ale jsou interpretována v podobě měsíčních průměrných hodnot se směrodatnou odchylkou. Tyto hodnoty nejsou zkresleny vyhlazením křivky, jako je tomu na obrázku 7.

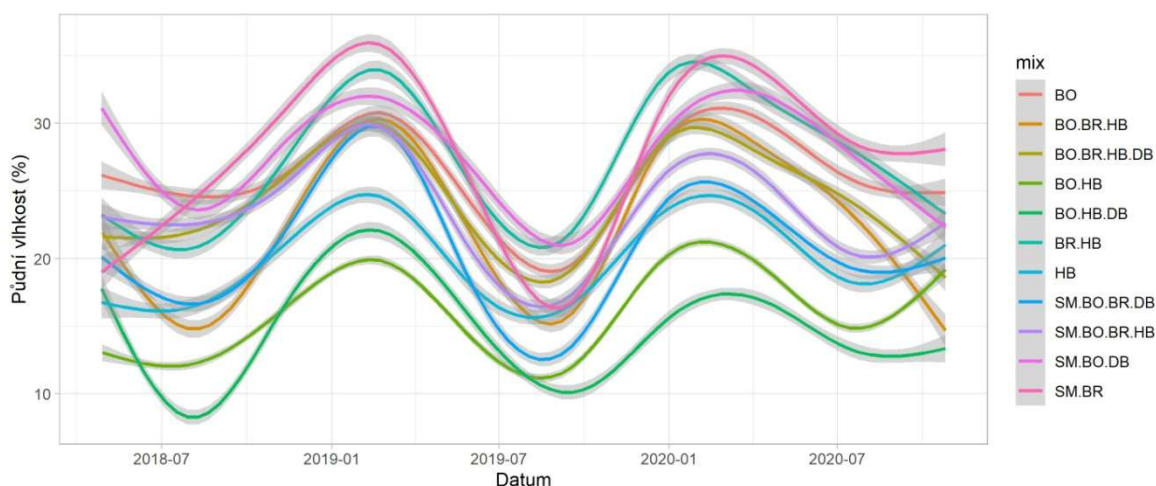


Obrázek 7. Průběh minimální denní půdní vlhkosti v průběhu měření pro všechna měřená stanoviště



**Obrázek 8. Měsíční průměry vlhkosti půdy pro jednotlivé roky včetně směrodatné odchylky**

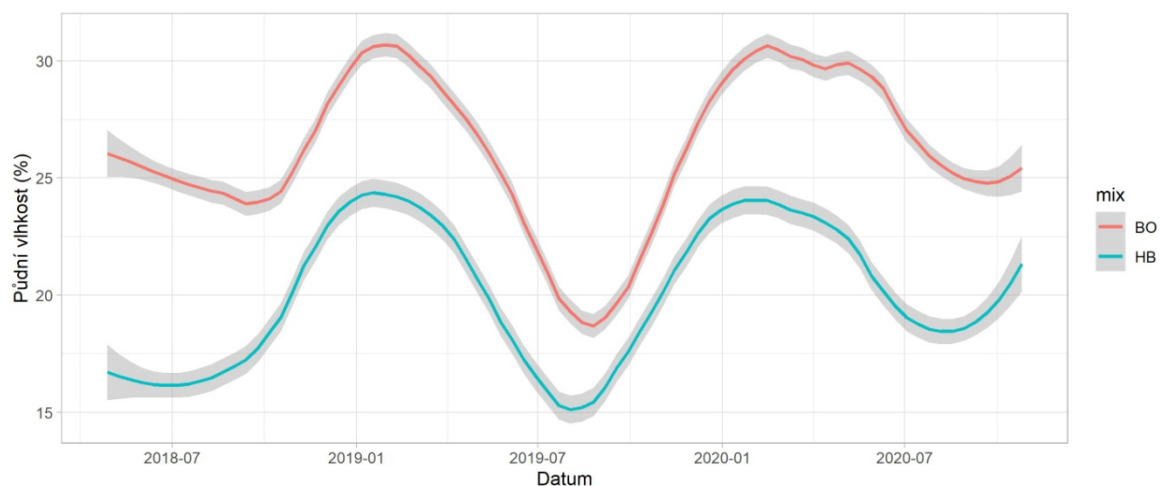
Graf na obrázku 9 zobrazuje závislost vlhkosti půdy pro jednotlivé kombinace dřevin v průběhu měření. Porosty s kombinací dřevin bříza-habr a smrk-borovice-dub patří k těm s nejvyššími hodnotami v průběhu celého roku, letní minima byla pro tyto porosty okolo 22 %. Relativně vysokých hodnot nabývá také vlhkost u porostu smrk-bříza. Ve vegetační sezóně roku 2019 se ale vlhkost pohybuje okolo průměru. Nejnižší vlhkosti půdy byly neměřeny u porostů kombinací dřevin borovice-habr-dub resp. borovice-habr.



**Obrázek 9. Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé kombinace druhové skladby**

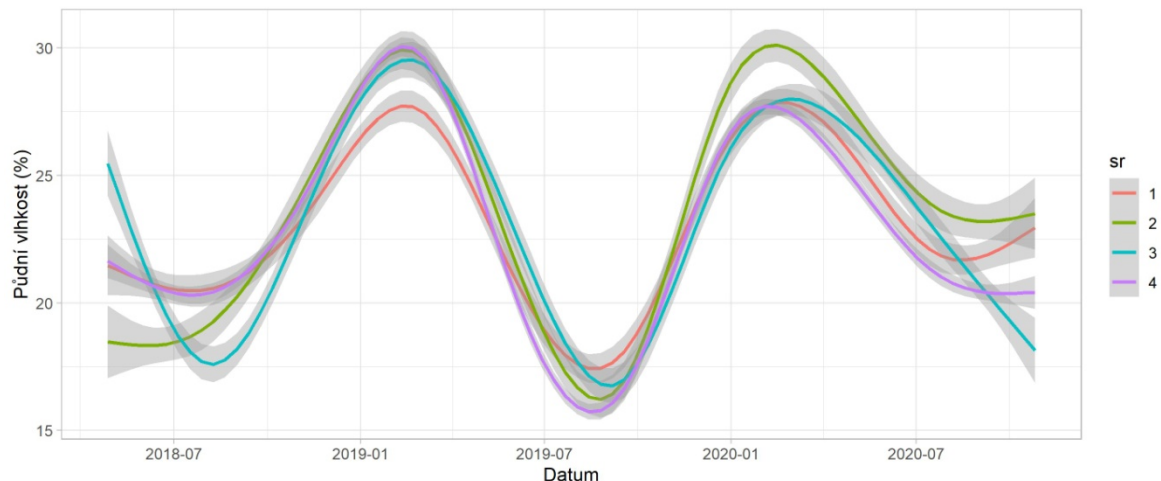
Na obrázku 10 jsou zvlášť zobrazena data pro monokulturní porosty. Jedná se o porost borovice lesní a habru obecného. V porovnání s průměrnými hodnotami na obrázku 7 lze konstatovat, že monokulturní porost borovice vykazuje mírně nadprůměrné hodnoty vlhkosti půdy během celého měřeného období. Naopak v habrovém porostu byla vlhkost konstantně podprůměrná. Ve vegetačním období se rozdíl v půdní vlhkosti mezi těmito monokulturními porosty pohyboval mezi 4 a 8 %.





**Obrázek 10. Průběh půdní vlhkosti v čase v monokulturních porostech**

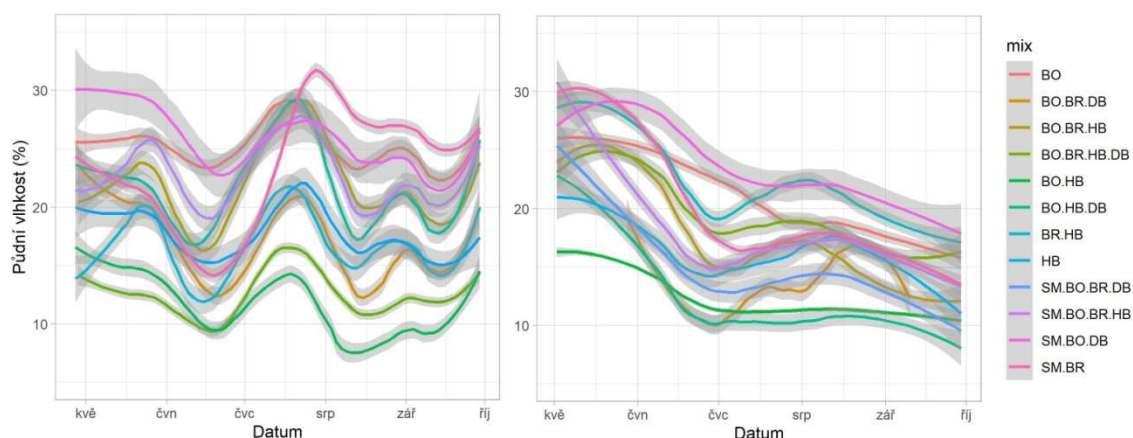
Dalším zkoumaným jevem je, jak ovlivňuje druhová rozmanitost porostu půdní vlhkost. Tato závislost je zobrazena na obrázku 11. Z dat nelze vyčíst jednoznačný trend, který by poukazoval na korelaci počtu druhů dřevin v porostu se změnou půdní vlhkosti. Jediné hodnoty, které se výrazněji liší od průměrných, je snížená vlhkost půdy u monokulturních porostů na začátku roku 2019 a vyšší hodnoty na začátku roku 2020 pro porosty se dvěma druhy dřevin.



**Obrázek 11. Průběh vlhkosti půdy v čase v závislosti na počtu druhů dřevin v porostu**

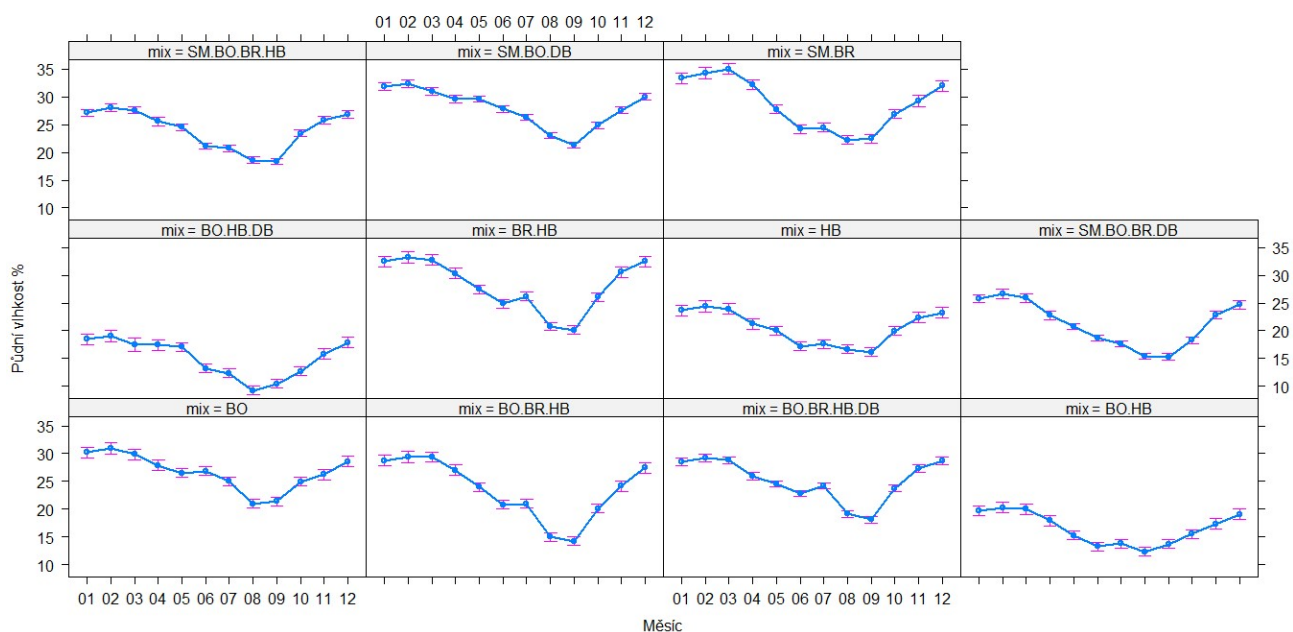
Grafy na obrázku 12 se zaměřují na vlhkost půdy v porostech pro vegetační sezóny let 2018 (vlevo) a 2019 (vpravo). Lze pozorovat podobný trend jako u hodnot pro celé měřené období. Nejnižší hodnoty neměřila čidla v porostech s druhovou skladbou borovice-habr a borovice-habr-dub. V červnu roku 2019 byly naměřeny výrazně podprůměrné hodnoty také u dřevinné skladby borovice-bříza-dub. Mezi porosty s vysokou vlhkostí půdy ve vegetačních obdobích patří kombinace smrk-borovice-dub a

borová monokultura. V určitých částech vegetační sezóny patřil mezi nejvlhčí také porost se složením smrk-bříza.



**Obrázek 12. Vlhkost půdy pro jednotlivá druhová složení ve vegetačních sezónách 2018 a 2019**

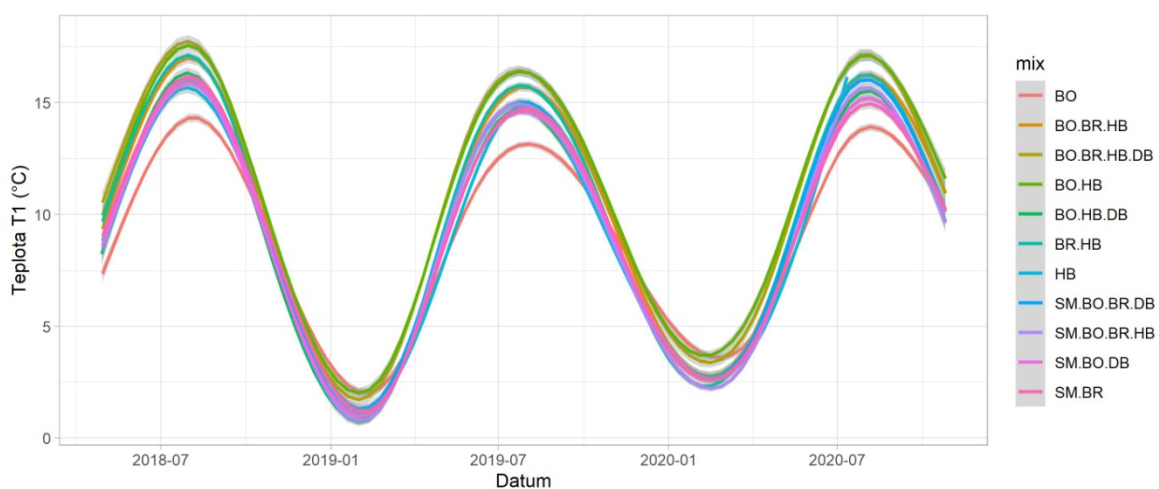
Soubor grafů na obrázku 13 zobrazuje měsíční průměry půdní vlhkosti pro všechny kombinace druhových skladeb porostů. Informace z celého období měření jsou interpretovány v podobě průměrného roku. Pokud se zaměříme na hodnoty vlhkosti ve vegetačním období, mezi druhové směsi s nejvyššími průměrnými hodnotami patří směsi smrk-borovice-dub, smrk-bříza, bříza-habr. Relativně nízké průměrné vlhkosti náleží porostům s druhovým složením borovice-habr-dub, borovice-habr a borovice-bříza-habr.



**Obrázek 13. Měsíční průměry půdní vlhkosti v průběhu roku pro jednotlivé kombinace druhových skladeb**

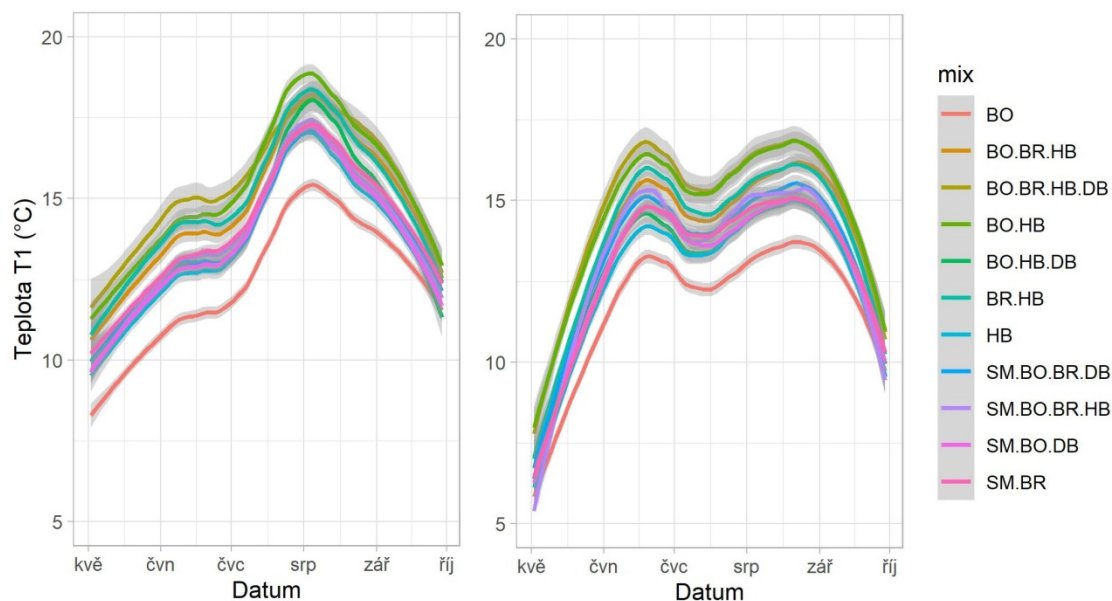
## 5.2 Teplota půdy T1

Graf na obrázku 14 zobrazuje průběh půdní teploty porostů s různou dřevinnou skladbou. V zimních měsících je variabilita teploty relativně nízká, pohybuje se okolo 2 °C. Ve vegetační sezóně už jsou rozdíly patrnější, okolo 4 °C. Zbytku porostů se nejvíce svými hodnotami teploty vzdaluje monokulturní borovicový porost, který disponuje výrazně nejnižšími teplotami ve všech vegetačních obdobích. Nadprůměrné hodnoty byly naopak naměřeny u porostů s druhovým složením borovice-habr a borovice-bříza-habr-dub.



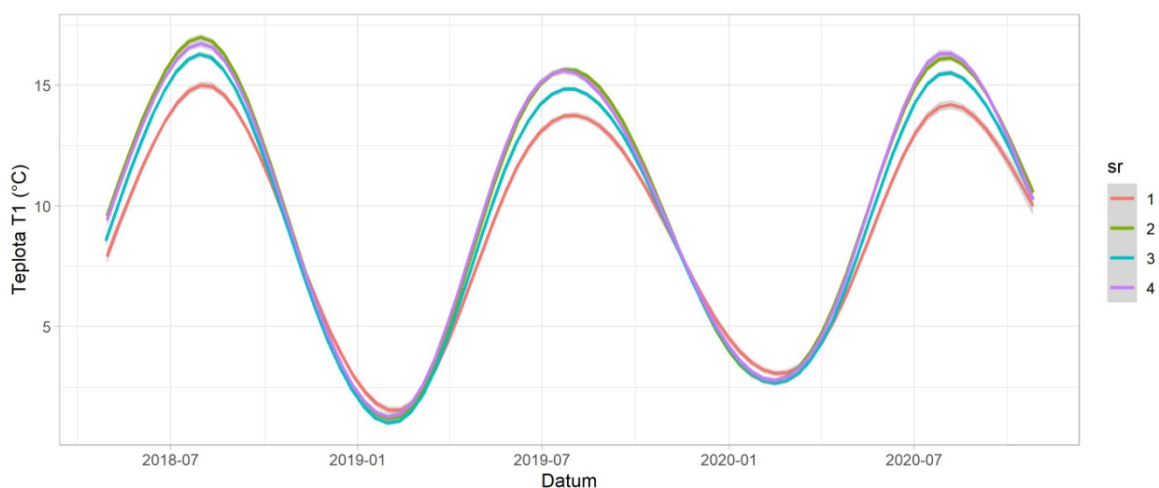
Obrázek 14. Závislost střední denní teploty půdy pro jednotlivá druhová složení porostů

Při bližším pohledu na teploty ve vegetačním období na obrázku 15 vidíme podobný trend jako u grafu na obrázku 14. Na těchto detailnějších datech je navíc vidět, že kromě borového porostu byly naměřeny nižší teploty půdy i u porostů se zastoupením smrku.



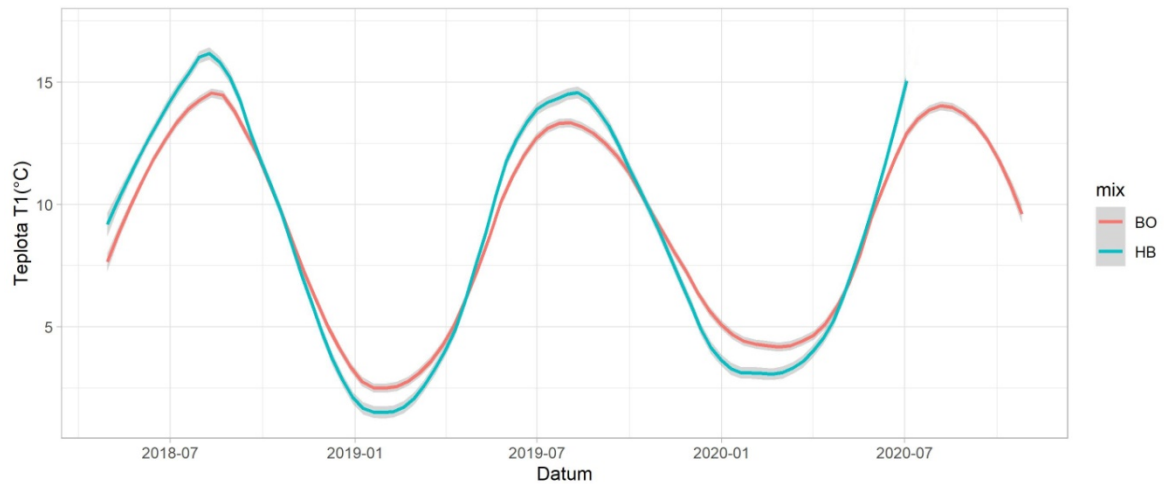
**Obrázek 15. Závislost střední denní teploty půdy pro jednotlivá druhová složení porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019**

Graf na obrázku 16 zobrazuje půdní teplotu dle množství druhů dřevin v porostech. Porosty o 2 a 4 dřevinách vykazují téměř stejné hodnoty. Mírně nižší hodnoty byly naměřeny v porostech se třemi druhy dřevin a v monokulturách byly ty hodnoty ještě nižší. Toto platí pouze pro období s nejvyššími teplotami. V zimním období byly teploty půdy pro všechny případy velice podobné.



**Obrázek 16. Závislost střední denní teploty půdy v čase dle počtu druhů dřevin v porostu**

Obrázek 17 zobrazuje údaje o teplotách půdy pouze u monokulturních porostů borovice a habru. V případě habrového porostu je amplituda hodnot půdní teploty vyšší než u borovicové monokultury. Teploty v tomto porostu stoupají v nejteplejších obdobích roku na vyšší hodnoty a naopak v zimních měsících klesají více. Tyto rozdíly se pohybují mezi 1 a 1,5 °C.

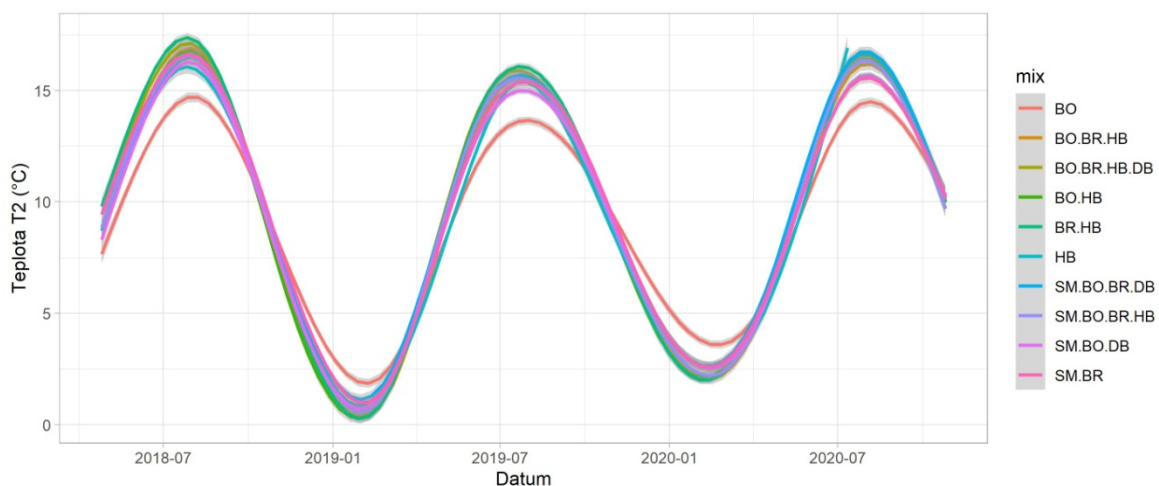


**Obrázek 17. Závislost střední denní teploty půdy v čase v monokulturních porostech**

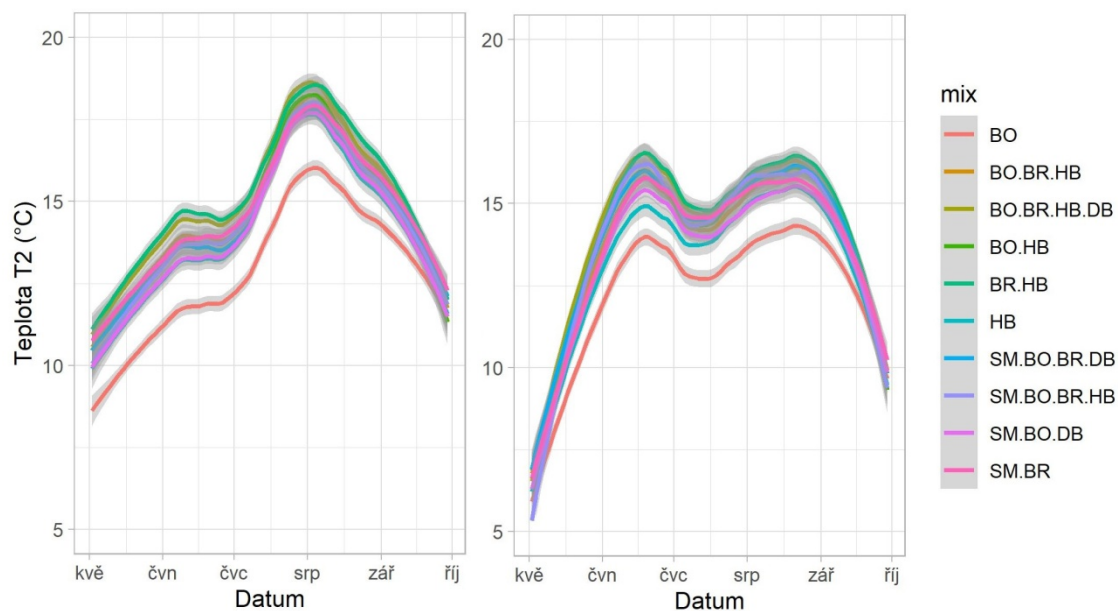
Výsledky byly zhotoveny nejen pro průměrné denní teploty půdy ale také pro denní maxima. Tato data byla obdobná a nevykazovala jiné trendy než hodnoty průměrné denní půdní teploty.

### 5.3 Teplota T2

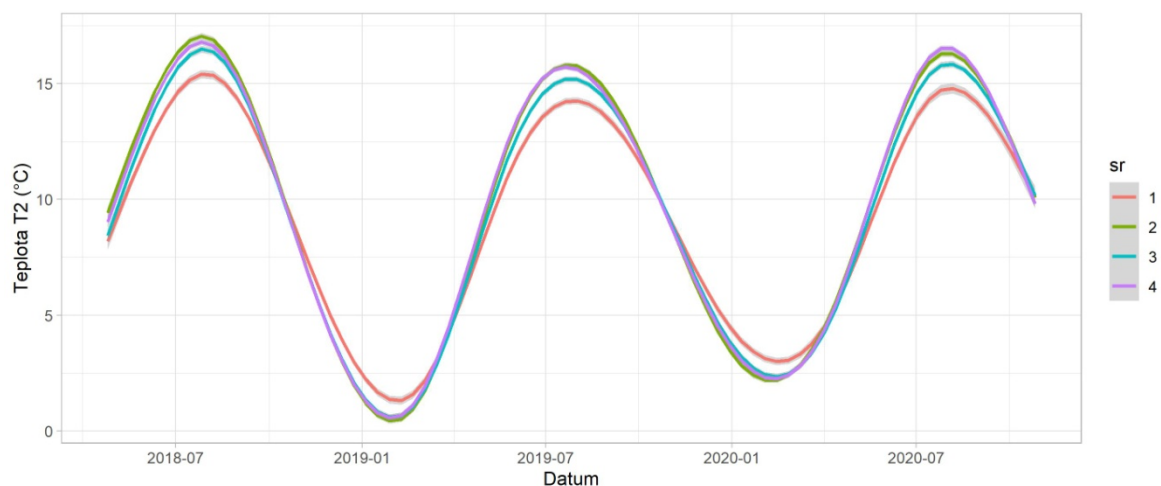
Výsledky měření teploty na povrchu T2 vycházejí z pohledu relativního porovnání jednotlivých porostů podobně. Při porovnání průměrných denních teplot pro jednotlivé druhové skladby se vymyká pouze porost borové monokultury (obrázek 18). Hodnoty tohoto porostu nabývají menších extrémů v průběhu roku oproti ostatním porostům. Rozdíl v maximech průměrných povrchových teplot ve vegetačních obdobích mezi borovým porostem a zbytkem se pohybuje okolo 2,5 °C (obrázek 19). Z obrázku 20 je patrné, že i vliv počtu druhů dřevin v porostu na povrchovou teplotu je obdobný jako u teploty půdy T1. Stejně tak při porovnání teplot mezi monokulturními porosty je patrný stejný trend, tedy že borový porost má oproti porostu habrovému nižší amplitudu naměřených teplot na povrchu (obrázek 21). Při vyhodnocení denních maxim teplot T2 se vztah mezi jednotlivými porosty nikterak nelišil oproti výsledkům průměrných denních teplot.



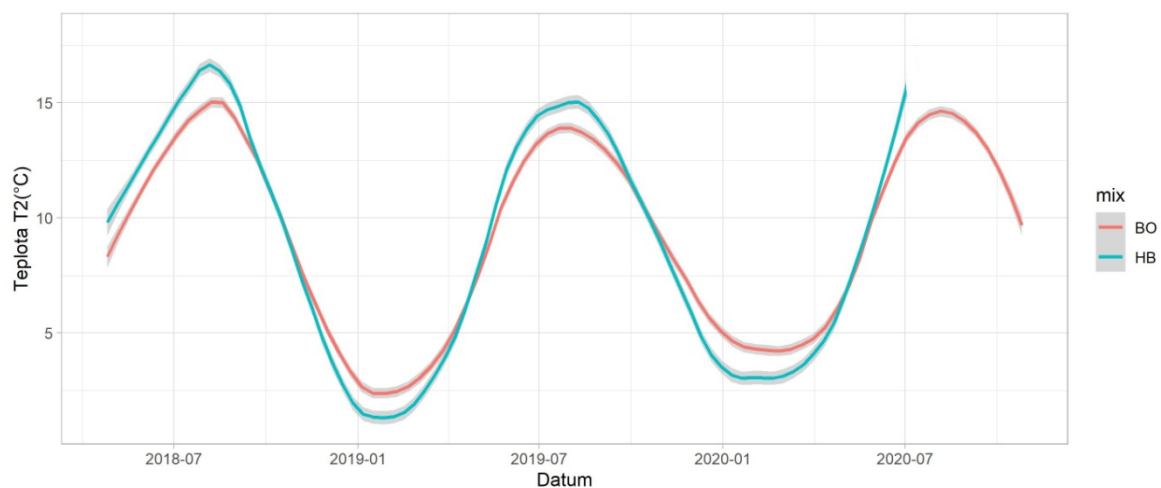
Obrázek 18. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro různé druhové skladby porostů



Obrázek 19. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019



Obrázek 20. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro porosty s různými počty druhů dřevin

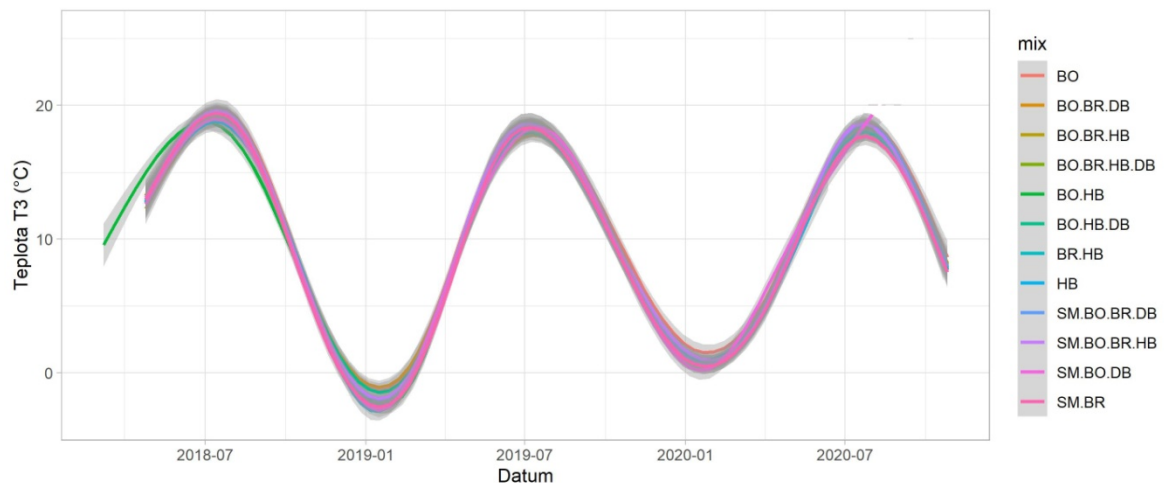


Obrázek 21. Závislost průměrné teploty u povrchu země v čase pro monokulturální porosty borovice a habru

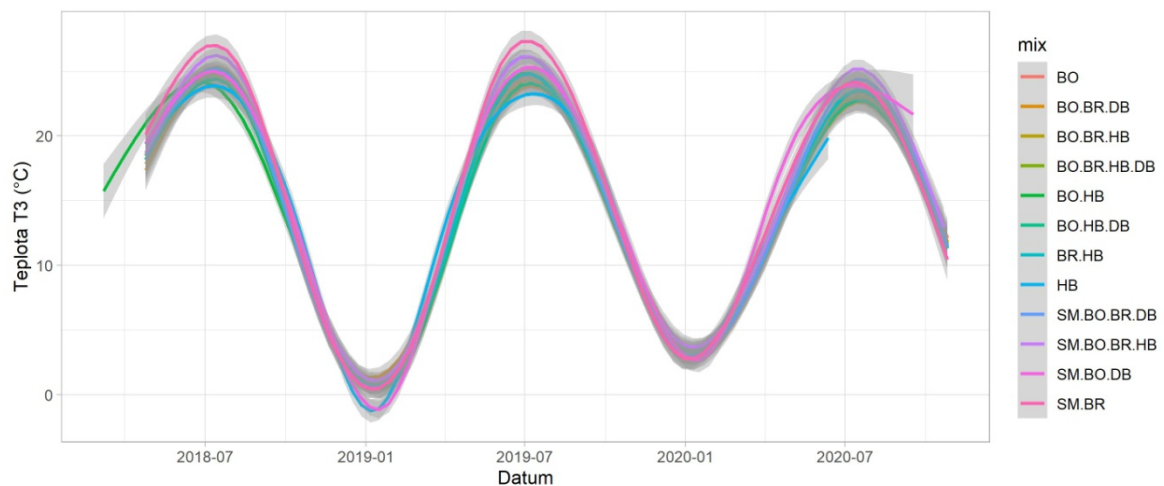
### 5.4 Teplota vzduchu T3

Hodnoty průměrných denních teplot vzduchu se mezi porosty s různým složením dřevin téměř nelišily (obrázek 22). Pokud ale porovnáme průběh maximálních denních teplot v těchto porostech, uvidíme výraznější rozpětí hodnot, a to hlavně v nejteplejším období roku (obrázek 23).





**Obrázek 22. Závislost průměrné teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů**

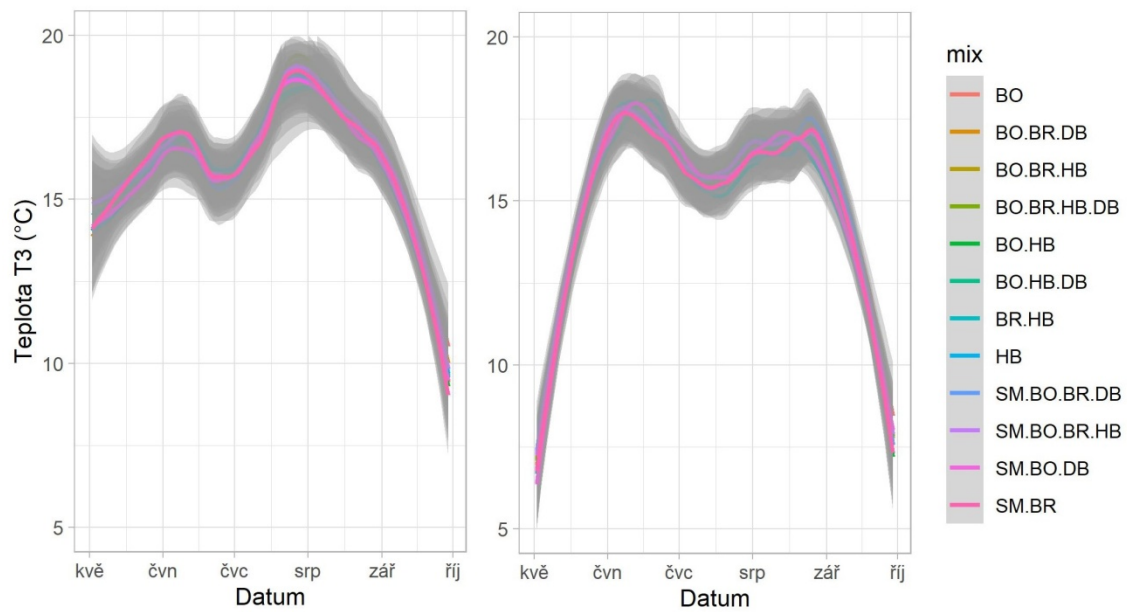


**Obrázek 23. Závislost maximální denní teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů**

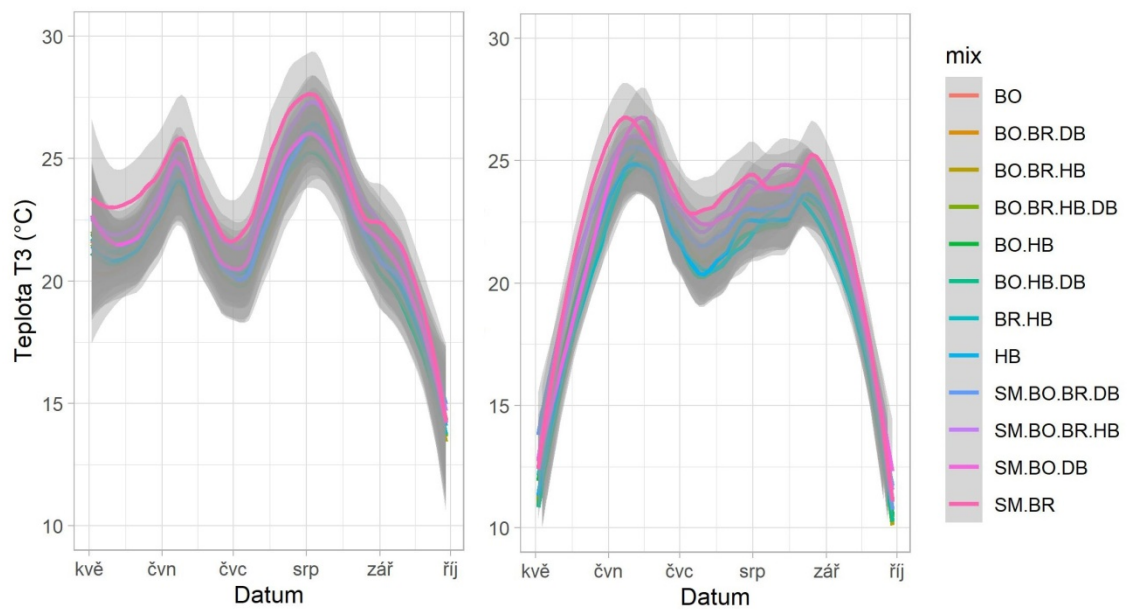
Na obrázku 24 je patrné, že průměrné teploty vzduchu ve vegetačních obdobích byly pro různé porosty velice podobné. Porovnáním denních maxim teplot vzduchu lze vidět, že hodnoty pro jednotlivé porosty se od sebe znatelně liší (obrázek 25). Nejvyšší teploty vzduchu byly naměřeny v porostech se zastoupením smrku. Naopak nejnižší byly naměřeny v monokultuře habru a v porostu s druhovým složením bříza-habr. Rozdíly mezi maximy teplot jsou mezi těmito porosty 2 až 3 °C.

Vliv počtu druhů dřevin v porostu na teplotu vzduchu nebyl podle výsledných dat nijak znatelný.





**Obrázek 24. Závislost průměrné teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019**



**Obrázek 25. Závislost maximální denní teploty vzduchu v čase pro různé druhové skladby porostů ve vegetačních sezónách 2018 a 2019**

## 6 Diskuze

Z výsledků měření půdní vlhkosti pro různé dřevinné skladby porostů lze vyčíst trend, který poukazuje na celoročně vyšší hodnoty u porostů, ve kterých je zastoupen smrk ztepilý. Zejména se jedná o porosty s druhovou skladbou smrk-borovice-dub a smrk-bříza. Ale i ostatní porosty se zastoupením smrku vykazovali převážně nadprůměrné hodnoty vlhkosti půdy. Podobných výsledků si lze všimnout, pokud se blíže podíváme na jednotlivé vegetační sezóny. Tato část roku je pro dřeviny, stejně jako pro většinu rostlinné říše, nejdůležitějším obdobím a má výrazný vliv na růst jedinců a celkový stav porostu. Je otázkou, zda smrk ovlivňuje svou morfologií či jiným způsobem mikroklima porostu v podobě půdní vlhkosti, nebo je tento výsledek způsoben vazbou tohoto druhu na vlhčí prostředí. Z obdobného výzkumu z Finska (Pilařová, 2020) vzešli opačné výsledky, kdy porosty se zastoupením smrku ztepilého vykazovali nejnižší hodnoty půdní vlhkosti v porovnání s porosty se zastoupením borovice lesní a břízy bělokoré. V tomto případě se ale jedná o severněji položené boreální lesy s vyššími průměrnými úhrny srážek, čemuž odpovídají absolutní hodnoty naměřených vlhkostí oproti porostům z Bělověžského lesa. Klimatické podmínky střední Evropy v těchto nadmořských výškách nejsou pro smrk ztepilý ideální a je proto pravděpodobné že se bude v těchto oblastech vyskytovat spíše na relativně vlhčích stanovištích.

Porost se zastoupením pouze borovice lesní se ukázal také jako nadprůměrný. Patrný je rozdíl v porovnání s druhým monokulturálním porostem habru obecného, který patřil mezi ty s nižšími naměřenými hodnotami vlhkosti. Hlavně ve vegetačních sezonách byly v borové monokultuře naměřeny jedny z nejvyšších hodnot vlhkosti. To může být přisuzováno menším využitím vláhy z mělčích vrstev půdy díky hlubokému kořenovému systému borovice. Zajímavé je, že porosty se zastoupením borovice a habru vykazovali nejnižší hodnoty půdní vlhkosti ze všech porostů. Jedná se o druhové skladby borovice-habr a borovice-habr-dub. Zastoupení dubu letního nemělo dle výsledků žádný zaznamatelný vliv na půdní vlhkost.

Zdá se, že zastoupení břízy bělokoré koreluje s vyššími hodnotami vlhkosti půdy. Je možné, že řídká koruna břízy prosvětluje porosty a vlivem nižšího zápoje se zvyšuje množství vertikálních srážek dopadajících na povrch půdy (Aussenac, 2000).

Při pozorování výsledů měření teploty půdy je patrný rozdíl mezi hodnotami monokulturálního porostu borovice lesní v porovnání s porosty ostatními. Tento rozdíl je nejvíce patrný ve vegetačních obdobích. V letních měsících je průměrná denní teplota borového porostu o 2 a 3 °C nižší oproti ostatním porostům. Naopak v zimních měsících

patří tento porost k těm s nejvyššími teplotami půdy. Toto je dobře patrné při porovnání obou monokulturních porostů, kde hodnoty teplot u borového porostu neoscilují znatelně méně, než je tomu u porostu habru obecného. To naznačuje, že na borový porost působí určitý faktor, který zmírňuje výrazné teplotní výkyvy. Nabízí se možnost, že tento jev je spojen s vyšší vlhkostí půdy v tomto typu porostu, jak plyne z výsledů měření půdní vlhkosti. Voda, jako médium s vysokou schopností akumulace energie, by mohla působit jako autoregulační prvek zpomalující změnu teploty půdy vlivem podnebí. Dalším faktorem by mohl být větší výpar z porostů s vyšší půdní vlhkostí a následné ochlazování povrchu v letních měsících (Poleno et al., 2011).

Relativně nízkých hodnot nabývali také teploty půdy v porostech, v nichž byl zastoupen smrk. To by mohlo být ovlivněno vysokým indexem LAI smrku ztepilého a tím snížením sluneční energie dopadající na povrch půdy uvnitř porostu (Teske & Thistle, 2004). Vliv počtu druhů dřevin ve směsi na teplotu půdy nebyl dle výsledků významný, až na nižší teplotu v letních měsících u monokulturních porostů. Což bylo výrazně ovlivněno hodnotami borového porostu.

Výsledky měření teploty vzduchu těsně nad povrchem půdy jsou velice podobné těm půdním. Nejenom že výsledky pro jednotlivé porosty se vzájemně výrazně neliší, ale i absolutní hodnoty měřených teplot vzduchu a půdy jsou velmi podobné. Naměřené hodnoty jsou pro jednotlivé směsi dřevin v porostech velice podobné, rozptyl teplot v jednotlivých porostech je dokonce nižší, než tomu bylo u teplot půdy. Jedinou výjimkou je opět monokulturní porost borovice. Který se jeví, co se týče teplot, znatelně stabilnější v průběhu roku než ostatní porosty. Výsledky byly zpracovány také pro denní maxima teplot povrchu, ale žádné změny trendu oproti středním hodnotám nebyly zaznamenány. Podobnost výsledků teploty půdy a vzduchu těsně nad zemí poukazuje na významnou interakci a vzájemné ovlivňování půdy a okolního vzduchu, a to bez ohledu na druhové složení porostu.

Průměrné teploty vzduchu v jednotlivých porostech byly podle výsledků velice podobné. Ve vegetačních sezónách byl rozptyl hodnot maximálně 0,5 °C. Tento výsledek naznačuje, že z dlouhodobého hlediska je teplota vzduchu v porostu (kromě vzduchu v těsné blízkosti povrchu) výrazně ovlivněna mezoklimatem a složení porostu nemá na tuto veličinu výrazný vliv. Pokud ale zhodnotíme maxima denních teplot, uvidíme značné rozdíly mezi jednotlivými porosty. Značná variace je patrná v nejteplejších obdobích roku. Denní maxima se mezi jednotlivými druhovými směsmi lišili až o 2,5 °C. Nejvyšší denní maxima byly zaznamenány v porostech smrk-bříza, smrk-borovice-dub a smrk-borovice-bříza-habr. Naopak porosty, ve kterých maximální teploty vystoupaly nejnižší, měly

následující druhovou skladbu: habr a bříza-habr. Toto je opačný výsledek než můžeme vidět u teplot půdy a povrchu, kde porosty se zastoupením smrku patřily mezi ty s nejnižšími teplotami.

Ukázalo se, že borový monokulturní les má pozitivní dopad na mikroklima, a to jak z pohledu vlhkosti půdy, tak i teploty. Tento druh porostu by mohl být vhodnou variantou pěstování lesů na sušších stanovištích a potenciálně tím snížit negativní dopady sucha.

## 7 Závěr

Znalosti o tom, jak les ovlivňuje své vlastní mikroklima, může pomoci v pěstování lesů z pohledu produkce ale také jejich ochrany. Vlivem globálních změn klimatu je stále důležitější brát v potaz podmínky na konkrétních stanovištích a přizpůsobit jim strategii lesního hospodářství. Cílem práce bylo změřit mikroklima hemiboreálních lesů v Bělověžském národním parku. Dále bylo cílem zjistit, jaký vliv má druhové složení dřevin na mikroklima porostu.

Dle výsledků patřily porosty s největší vlhkostí půdy ty, ve kterých byl zastoupen smrk ztepilý. Toto je pravděpodobně způsobeno tendencí výskytu tohoto druhu na vlhčích lokalitách než vlivem smrku na půdní vlhkost. Monokulturní borový porost patřil také mezi ty s nejvyššími hodnotami vlhkosti půdy. To může mít za následek morfologie kořenového systému, díky které je voda odebírána z půdy ve větších hloubkách a ne blízko povrchu. Porosty se zastoupením břízy bělokoré také vykazovali vyšší vlhkosti, patrně v důsledku nižší intercepce srážek vlivem řidší koruny. Naopak u porostů se zastoupením habru obecného a borovice lesní byly naměřeny nejnižší hodnoty půdní vlhkosti.

Vyšší zaznamenané vlhkosti půdy u porostu se zastoupením pouze borovice lesní by mohly mít souvislost s relativně nízkými teplotami půdy naměřenými v tomto porostu v letním období. Naopak v zimních měsících byly teploty půdy borové monokultury jedny z nejvyšších. Teploty půdy vykazovali v případě tohoto porostu nejnižší rozptyl ze zkoumaných ploch. Další porosty, ve kterých byly naměřeny nízké teploty půdy, byly ty se zastoupením smrku. Tento jev se dá přičíst relativně vysokému indexu LAI a tedy nižšímu dopadu sluneční energie na povrch půdy. K podobným výsledkům dospělo i měření teploty vzduchu v blízkosti povrchu půdy. Což svědčí o významném vzájemném ovlivnění půdy a vzduchu v její bezprostřední blízkosti.

Při vyhodnocování teplot vzduchu 50 cm nad zemí byly zajímavé zejména hodnoty maximálních denních teplot. Ty se mezi jednotlivými porosty na rozdíl od průměrných denních teplot výrazně lišily. Nejvyšší denní maxima v letních měsících byla zaznamenána v porostech, ve kterých byl zastoupen smrk. Porosty výhradně listnaté (habr a habr-bříza) vykazovali nejnižší hodnoty denních maxim teplot vzduchu.

Z výsledků vyplývá, že porost, který pozitivně ovlivňuje mikroklima je monokultura borovice lesní. Tento druh porostu by mohl mít potenciál snížit negativní dopady sucha.

## 8 Seznam použitých zdrojů

- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3), 287–301. <https://doi.org/10.1051/forest:2000119>
- Baeten, L., Verheyen, K., Wirth, C., Bruelheide, H., Bussotti, F., Finér, L., Jaroszewicz, B., Selvi, F., Valladares, F., Allan, E., Ampoorter, E., Auge, H., Avăcăriei, D., Barbaro, L., Bărnoaiea, I., Bastias, C. C., Bauhus, J., Beinhoff, C., Benavides, R., ... Scherer-Lorenzen, M. (2013). A novel comparative research platform designed to determine the functional significance of tree species diversity in European forests. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 15(5), 281–291. <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2013.07.002>
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D. A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellen, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C. D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G. M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F. S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M. A., ... Verheyen, K. (2013). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(46), 18561–18565. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>
- Prof. Dr. Michael Scherer-Lorenzen, FunDivEUROPE [online]. [cit. 2021-03-25]. Dostupné z: <http://project.fundiveurope.eu/>
- Jaroszewicz, B., Cholewińska, O., Gutowski, J. M., Samojlik, T., Zimny, M., & Latałowa, M. (2019). Białowieża forest—a relic of the high naturalness of European forests. *Forests*, 10(10), 1–28. <https://doi.org/10.3390/f10100849>
- Lembrechts, J. J., Aalto, J., Ashcroft, M. B., De Frenne, P., Kopecký, M., Lenoir, J., Luoto, M., Maclean, I. M. D., Roupsard, O., Fuentes-Lillo, E., García, R. A., Pellissier, L., Pitteloud, C., Alatalo, J. M., Smith, S. W., Björk, R. G., Muffler, L., Ratier Backes, A., Cesarz, S., ... Nijs, I. (2020). SoilTemp: A global database of near-surface temperature. *Global Change Biology*, 26(11), 6616–6629. <https://doi.org/10.1111/gcb.15123>
- Myneni, R. B. (1997). Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(6), 1380–1393. <https://doi.org/10.1109/36.649788>
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. <http://www.r-project.org/>
- Teske, M. E., & Thistle, H. W. (2004). A library of forest canopy structure for use in

- interception modeling. *Forest Ecology and Management*, 198(1–3), 341–350.  
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.031>
- Tomst s.r.o., [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z:  
<https://tomst.com/web/cz/systemy/tms/tms-4/>
- Von Arx, G., Graf Pannatier, E., Thimonier, A., & Rebetez, M. (2013). Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: Potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of Ecology*, 101(5), 1201–1213. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12121>
- Wickham, H., 2009. ggplot2: elegantgraphicsfor data analysis. Springer-Verlag New York Inc.
- Wild, J., Kopecký, M., Macek, M., Šanda, M., Jankovec, J., & Haase, T. (2019). Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268(January), 40–47. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.018>
- Pilařová, R. (2020). Vliv druhové skladby na mikroklima boreálního lesa ve Finsku
- Poleno, Z., Vacek, S. (2011) Ekologické základy pěstování lesů. 2. vyd. Lesnická práce s.r.o. Kostelec nad Černými lesy 2011. ISBN 978-80-87154-99-1
- Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., Van Calster, H., Chudomelová, M., Decocq, G., Dirnböck, T., Durak, T., Heinken, T., Jaroszewicz, B., Kopecký, M., Máliš, F., ... Coomes, D. (2020). Response to Comment on “Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming.” *Science*, 370(6522), 772–775. <https://doi.org/10.1126/science.abf2939>