

Česká zemědělská univerzita v Praze
Fakulta lesnická a dřevařská
Katedra ekologie lesa

**Vliv druhové skladby na mikroklima
boreálního (Finsko) a horského lesa
(Rumunsko)**

Diplomová práce

Autor: Bc. Alexandra Musilová
Vedoucí práce: Ing. Radim Matula, Ph.D.

Praha 2021

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Alexandra Musilova

Lesní inženýrství

Lesní inženýrství

Název práce

Vliv druhové skladby na mikroklima boreálního (Finsko) a horského lesa (Rumunsko)

Název anglicky

Effects of tree species composition on the microclimate of boreal (Finland) and mountainous (Romania) forests

Cíle práce

Stromové patro lesů může významně omezit negativní dopady globální klimatické změny na lesní mikroklima, čímž pomáhá snižovat její dopady na biodiverzitu a stabilitu lesů. Tento pozitivní vliv lesa na mikroklima v podrostu se však může lišit dle druhové a funkční skladby stromového patra, avšak empirických informací o tom, jak hlavní dřeviny boreálních a horských evropských lesů a jejich směsi ovlivňují lesní mikroklima, je doposud málo. Cílem práce tak bude zjistit, jak druhová bohatost a druhová skladba ovlivňují teploty vzduchu, půdy a půdní vlhkost v podrostu boreálního lesa ve Finsku a horského lesa v Rumunsku.

Metodika

Měření budou prováděna pomocí mikroklimatických čidel TMS4 na síti trvalých výzkumných ploch FunDi-
vEUROPE (1 čidlo na plochu) v okolí Joensuu ve Finsku a v okolí Rasca v Rumunsku. Tyto plochy zahrnují porosty hlavních druhů dřevin každé z oblastí a jejich vzájemné směsi: břízu bělokorou (*Betula pendula*), smrk ztepilý (*Picea abies*) a borovici lesní (*Pinus sylvestris*) ve Finsku a buk lesní (*Fagus sylvatica*), javor klen (*Acer pseudoplatanus*), jedli bělokorou (*Abies alba*) a smrk ztepilý (*Picea abies*) v Rumunsku. V rámci diplomové 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.). Tyto proměnné pak budou použity jako závislé proměnné pro modely, do kterých budou jako nezávislé proměnné zahrnuty: zastoupení jednotlivých druhů dřevin, hustota porostu, pokryvnost stromového patra a případně další dostupné proměnné.

Doporučený rozsah práce

35 stran textu

Klíčová slova

mikroklima, boreální les, horský bukový les, 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.
- 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.
- 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.
- Saunders, S.C., Crow, T.R., Naiman, R.J., Brososke, K.D., Mroz, G.D., Brookshire, B.L., Franklin, J.F., 1999. Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *Bioscience* 49, 288–297.
- 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. *Agric. For. Meteorol.* 268, 40–47.
- Zellweger, F., Coomes, D., Lenoir, J., Depauw, L., Maes, S.L., Wulf, M., Kirby, K.J., Brunet, J., Kopecký, M., Máliš, F., Schmidt, W., Heinrichs, S., den Ouden, J., Jaroszewicz, B., Buyse, G., Spicher, F., Verheyen, K., De Frenne, P., 2019. Seasonal drivers of understorey temperature buffering in temperate deciduous forests across Europe. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 1–13.
- Zellweger, F., De Frenne, P., Lenoir, J., Vangansbeke, P., Verheyen, K., Bernhardt-Römermann, M., Baeten, L., Hédli, R., Berki, I., Brunet, J., 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science* (80-). 368, 772–775.
-

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FLD

Vedoucí práce

Ing. Radim Matula, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Konzultant

Ing. Marek Mejstřík

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2021

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2021

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 18. 04. 2021

3

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Vliv druhové skladby na mikro-klima boreálního (Finsko) a horského lesa (Rumunsko)* vypracovala samostatně pod vedením Ing. Radima Matuly, Ph.D. a použila jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědoma že zveřejněním diplomové 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 Praze dne 20. dubna 2021

Bc. Alexandra Musilová

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Ing. Radimovi Matulovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné rady při vypracování této diplomové práce.

Abstrakt

V současné době téma globálního oteplování a jeho vliv na ekosystémy je jedním z nejdiskutovanějších problémů. Pro lesnictví změna klimatu se jeví jako jedno z největších ohrožení stability porostů. Suché počasí vede k oslabení stromů, které se stávají náchylnějšími k vlivu škodlivých organismů a dalších faktorů. Jednou z možností, jak tyto dopady snížit je využití znalosti o tom, jak jednotlivé dřeviny a jejich směsi ovlivňují mikroklima lesů. V současné době není dostatek informací o dané problematice, a proto cílem této práce je zjistit, jak druhová skladba lesa působí na mikroklima v případě boreálního lesa ve Finsku a horského lesa v Rumunsku.

Výzkum byl proveden na zkušných plochách projektu FunDivEUROPE, kde jsou umístěna čidla, měřící teplotu půdy v hloubce 2 a 10 cm, teplotu vzduchu a půdní vlhkost. Získaná data budou vyhodnocena pomocí aditivních modelů s využitím programovacího jazyka R.

Ve Finsku byly zkoumány porosty složené ze smrku ztepilého (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth). V případě Rumunska byly zkoumány porosty smrku ztepilého (*Picea abies*), jedle bělokoré (*Abies alba*), buku lesního (*Fagus sylvatica*) a javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*). Z výsledných dat bylo zjištěno, že v boreálních lesích se teploty příliš neliší mezi jednotlivými druhy a jejich směsmi. Z pohledu vlhkosti půdy se ukázalo, že pestřejší druhová skladba je méně náchylná na ohroženost suchem a tato znalost by mohla pomoci k udržování zdravějších a stabilnějších porostů. Pomocí naměřených hodnot v horských lesích v Rumunsku nebyl prokázán vliv počtu druhů v porostu na teplotu vzduchu. Jako porost s nejnižší teplotou se ukázal javorový porost. Z výsledných dat o vlhkosti půdy je patrné, že monokulturní porosty udržují vyšší vlhkost a to znamená, že v podmínkách klimatické změny jsou vhodnější pro stabilitu horských lesů v Rumunsku.

Klíčová slova

mikroklima, boreální les, horský bukový les, FunDivEUROPE

Abstract

The global warming and its impact to an ecosystems is one of most discussed topics in this time. The Climate changes are one of the most critical threats for process stability in the forestry. Dry weather conditions have impact to a weakening of the trees, which become more vulnerable to influence of a harmful organisms and other negative factors. One of the possibility, how to reduce these impacts of the global warming, is use the knowledge of processes which are used by woody plants and their mixtures to affect the forest microclimate. Unfortunately in these days there are not a lot of informations about these issues and therefore the main target of this thesis is rasearch how species composition have impact on microclimate in context of boreal forest in Finland and mountain beech forest in Romania.

The research was realized on test plots belonging to project FunDivEUROPE, where were placed the sensors for measuring soil temperatures (2 and 10 cm under the ground), air temperature and soil moisture. The acquired data will be analyzed by an additive models with using R programming language.

In Finland the following species were examined *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Betula pendula* Roth. In Romania the following species were examined *Picea abies*, *Abies alba*, *Fagus sylvatica* and *Acer pseudoplatanus*.

In measured data was found that, the temperature differences are almost same for all observed woody plants type and their mixtures in boreal forest. In the results of soil moisture measurement we can see that, the impact of dry weather on the more varied species composition is lower. Influence of number of tree species composition on air temperature in Romania was not proved in the measured data. In the measured data of soil moisture was found that, the monocultures holds higher value of soil moisture, that means tree monocultures are better for stability of Romanian mountain beech forest in the impact of global warming.

Key words

microclimate, boreal forest, mountain beech forest, FunDivEUROPE

Obsah

1	Úvod	9
2	Cíl práce	11
3	Literární rešerše	12
3.1	Mikroklima	12
3.2	Boreální les (Tajga)	13
3.3	Horský bukový les (Rumunsko)	15
3.4	Projekt FunDivEUROPE	16
4	Metodika	18
4.1	Finsko	19
4.2	Rumunsko	21
4.3	Získávání dat z čidel	23
4.4	Zpracování dat	23
4.5	Měřicí čidla	23
5	Výsledky	25
5.1	Finsko	25
5.1.1	Teploty půdy měřené čidly T1 a T2	25
5.1.2	Teploty vzduchu měřené čidlem T3	29
5.1.3	Vlhkost půdy	32
5.2	Rumunsko	36
5.2.1	Teploty půdy měřené čidly T1 a T2	36
5.2.2	Teploty vzduchu měřené čidlem T3	42
5.2.3	Vlhkost půdy	46
6	Diskuze	50
6.1	Půdní teplota T1 a T2	50
6.2	Teplota vzduchu T3	51
6.3	Půdní vlhkost	52
7	Závěr	53
	Literatura	55
	Seznam obrázků	58

1 Úvod

Jedním z velkých a často diskutovaných problémů posledních několika desetiletí je téma globálního oteplování. Vliv změny klimatu působí na všechny druhy ekosystémů, především snižuje diverzitu organismů přizpůsobených chladnějšímu počasí, a naopak upřednostňuje druhy přizpůsobené teplejším podmínkám. (De Frenne et al., 2013)

Pro lesnictví změna klimatu představuje velký problém. Suché počasí během vegetačních sezón je důvodem oslabení lesních porostů, které jsou z tohoto důvodu náchylnější k vlivu škodlivých organismů. (Fleischer et al., 2005) Extrémní sucha vedou ke snížení dynamiky růstu a tím i ke snížení produktivity porostů. (Ciceu et al., 2020) Trendem poslední doby je zkoumání způsobů, jak zmírnit účinky globálního oteplování na lesy. Jednou z možností je ovlivnit mikroklima v porostech změnou druhové skladby lesa. Například v hustších lesích byly prokázány chladnější teploty porostu během vegetačního období díky nižšímu dopadu slunečního záření na povrch půdy. (De Frenne et al., 2013)

Mikroklima lesu může být také ovlivňováno druhovou skladbou porostu, ale bylo prokázáno, že v původních pralesích je nižší povrchová teplota než v hospodářských lesích stejné druhové skladby. (Norris et al., 2012) Stromy jsou schopné modifikovat aspekty svého prostředí, ale i přesto že lesnické výzkumy srovnávající monokultury a více druhové směsi existují již po mnoho desetiletí, zatím existuje jen málo informací o tom, jakou funkci a význam má druhová rozmanitost stromů v lesích. (Nadrowski et al., 2010) (Pretzsch, 2005)

Tématem této diplomové práce je vliv druhové skladby na mikroklima boreálního a horského lesa. Měření byla realizována v boreálním lese ve východním Finsku v blízkosti města Joensuu a v horském bukovém lese v severovýchodním Rumunsku v blízkosti města Rasca. Boreální les a horský bukový les v Karpatech jsou

významné svou rozlohou, nejen že poskytují značné množství dříví pro dřevozpracující průmysl, ale také regulují množství CO₂ v atmosféře a tím v značné míře ovlivňují globální klima. Bukový les v Karpatech je navíc zajímavý tím, že se jedná o jeden z největších původních bukových lesů v Evropě. (Morozov – Nesterov, 1949)

2 Cíl práce

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, vliv jednotlivých druhů dřevin a jejich vzájemných kombinací na mikroklima boreálního lesa ve Finsku a horského lesa v Rumunsku. Ve Finsku byly zkoumány porosty složené ze smrku ztepilého (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a břízy bělokoré (*Betula pendula* Roth). V případě Rumunska byly zkoumány porosty smrku ztepilého (*Picea abies*), jedle bělokoré (*Abies alba*), buku lesního (*Fagus sylvatica*) a javoru klenu (*Acer pseudoplatanus*).

Cílem bylo experimentálně zjistit, jaký mají uvedené druhy dřevin a jejich porostní směsi vliv na půdní vlhkost, teplotu vzduchu a teplotu půdy v hloubkách 2 a 10 cm. Výzkum byl proveden na zkusných plochách projektu FunDivEUROPE. Konkrétně se jednalo o 28 zkusných ploch ve východním Finsku a 28 zkusných ploch v severovýchodním Rumunsku. Vstupními daty pro analýzu byly data získaná z dvouletého měřicího období. Z těchto dat byly vytvořeny aditivní modely na základě kterých byly vytvořeny grafy znázorňující průběhy jednotlivých měřených veličin. Diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s Natural Resources Institute Finland s pobočkou v Joensuu a Stefan cel Mare University v Suceavě v Rumunsku.

3 Literární řešerše

3.1 Mikroklima

Klimatické podmínky, mezi které patří: intenzita slunečního záření, teplota půdy a vzduchu, rychlost větru, vlhkost vzduchu, množství srážek, definují klima určité oblasti. Toto lokální klima nazýváme mikroklima. (Geiger, 1965) . V lesním porostu se toto klima nalézá pod korunami stromů v blízkosti povrchu země a jeho vlastnosti jsou ovlivněny dalšími podmínkami jako jsou: druhová skladba a věk porostu, počtu bylinných pater, složením půdy. Největší změny lesního mikroklimatu oproti okolnímu klimatu jsou způsobeny zejména stanovišti obsazenými dospělými jedinci s uzavřenou korunou a velkým množstvím listové plochy. Dalším výrazným faktorem ovlivňujícím mikroklima může být i člověk, který svými zásahy (kácením, prořezáváním, mýcením atp.) mění daný prostor (Aussenac, 2000), (Martynov et al., 2008) .

Mikroklima se také mění přirozenou cestou s růstem a vývojem jedinců v daném porostu. Jedná se tedy o velmi proměnlivý faktor, a to jak ve vertikálním, tak i horizontálním směru. Sluneční záření, které proniká korunami stromů, prochází významnými kvantitativními a kvalitativními změnami. Vegetační kryt výrazně redukuje celkovou radiační bilanci. (Podrázský, 2014) Amplituda ročních teplotních výkyvů v lese je menší než na otevřeném prostranství. V létě je přes den v lesním porostu chladněji a v noci naopak tepleji než v okolním prostoru. V poledne bývá teplota povrchu půdy zpravidla o 2-3 stupně nižší než teplota v korunách stromů. V zimním období tento rozdíl teplot téměř chybí. V listnatých porostech během zimy teplotní přechody téměř nejsou. Na jaře a na podzim bývá intenzita a opakovatelnost námrazy na povrchu půdy v listnatých porostech větší a častější než v porostech jehličnatých. Průměrná roční teplota půdy v jehličnatých lesích bývá nižší než v otevřeném terénu. (Sennov, 2005)

Vliv stromů na mikroklima daného porostů se liší v závislosti na druhové skladbě. V rámci jedné druhové skladby pak na věku daného porostu. V mladších a hustších porostech bývá teplota na povrchu půdy nižší než ve starších a řidších porostech. (Sennov, 2005) Vlhkost vzduchu v porostu bývá vyšší než na otevřeném prostoru. Tento rozdíl je největší v létě, kdežto v zimě téměř chybí. (Clements et al., 1928) Maximální vlhkost v lese je pozorována v korunách stromů. V listnatých lesích vlhkost vzduchu může být o 10-15 % vyšší než na otevřeném prostranství, v jehličnatých lesích o 20-25 %. Amplituda kolísání vlhkosti vzduchu je v lesním porostu nižší než na holině. (Olson – Dinerstein, 2002)

Výrazný vliv na mikroklima mají struktura a fyzické vlastnosti porostu. (Aus-senac, 2000) Nejvyšší mírou tomuto vlivu přispívají lesní stanoviště s dospělými jedinci s uzavřenou korunou a tím i vysokým indexem listové plochy (LAI). Index LAI je bezrozměrná veličina, která udává míru listové plochy dané dřeviny (My-neni et al., 1997). Tato veličina je velice dynamická a je velmi závislá na konkrétní vegetační sezóně a na působení biologických faktorů. Velikost indexu LAI také vypovídá o možné dostupnosti živin v půdě, výskytu přístupné vody a nastiňuje celkový zdravotní stav dřevin. (Welles, 1990) Index LAI je definován jako polovina celkové plochy listů na jednotku povrchu země. Pomoci ni můžeme odhadnout kolik slunečního záření odráží porost. (Chen et al., 1997) Pomocí LAI se dá také odhadnout velikost celkové plochy stromového patra, které odráží sluneční záření nebo fotosyntetizuje. K účelu odhadnutí těchto ploch se využívá metod přímých a nepřímých. Jedním z příkladů nepřímých metod je metoda pořízení hemisférické fotografie (Chen et al., 1997) na které je v širokém úhlu od povrchu země zachyceno stromové patro. (Evans – Coombe, 1959)

3.2 Boreální les (Tajga)

Biom boreální les, známý také pod názvem tajga, se nachází mezi 50. až 70. rovnoběžkou na severní polokouli Země. Rozléhá se od severní Ameriky až po Eurasii. Na jižní straně své rozlohy hraničí boreální les s opadavým listnatým lesem a

kontinentální stepí, ze severu s polární hranicí lesa. Typické podnebí tajgy je do značné míry ovlivněno chladným arktickým vzduchem od polárního kruhu a zakřivením Země, kvůli kterému je zde v zimních měsících málo slunečního záření. (Kosarev – Andrjuschenko, 2009)

Tajga je obtížné místo k životu, a proto rostliny a zvířata musí být přizpůsobené k drsným klimatickým podmínkám, půdě a terénu. V tomto biomu převažuje dlouhá chladná zima nad krátkým mírným létem. Průměrná roční teplota se může pohybovat kolem -5 až 3 °C. Vegetační sezóna trvá 1 až 4 měsíce. (Kosarev – Andrjuschenko, 2009) Půda boreálních lesů je podmáčená, hladina podzemní vody je vysoká, ale výpar je velmi nízký, což vede k výskytu glejů, oglejených subtypů půd až k rašelinění. Dalším častým typem půdy je podzol. (Podrázský, 2014)

Dominantní životní formou v boreálních lesích jsou jehličnaté dřeviny. Tyto stromy jsou přizpůsobené na krátkou vegetační dobu svou stálezeleností. Z jehličnatých druhů dřevin se v tajze nejčastěji vyskytují smrk černý (*Picea mariana*), smrk sivý (*Picea glauca*), smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice Banksova (*Pinus banksiana*), jedle balzámová (*Abies balsamea*), douglaska tisolistá (*Pseudotsuga menziesii*), smrk sibiřský (*Picea obovata*), borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.) a modřín (*Larix* sp.). Jehličnaté dřeviny pacifického pobřeží USA a Kanady jsou ovlivněny oceánským typem klimatu a vysokým množstvím srážek. Tyto klimatické podmínky vytvářejí na tomto území zvláštní druh ekosystému přispívající k hojnému růstu jehličnanů, které mohou dosahovat výšky až 100 m. Z listnatých druhů se zde vyskytují například bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth) a topol (*Populus* sp.), které hrají roli pionýrských dřevin. (Podrázský, 2014). Nejčastější druhy bylin, které se v tajze vyskytují jsou brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea*), které preferují kyselé půdy s chudším obsahem minerálů. Hlavní hrozbou pro vegetaci tajgy jsou lesní požáry, těžba dřeva, hmyz a pesticidy (Kosarev – Andrjuschenko, 2009)

3.3 Horský bukový les (Rumunsko)

Pohoří Karpaty, které se rozkládá ve východní Evropě je ekologicky výjimečným regionem s rozsáhlým polopřirozeným a pralesním lesem. (Butsic et al., 2017) Tento druh horských lesů je nazýván Karpatská Bučina (*Fagetum carpaticum*). Dříve tento les pokrýval celou spodní vrstvu horského lesního pásu Karpat v nadmořské výšce 600 až 1150 metrů nad mořem. Daný druh lesa je charakteristický příměsí javoru, smrku a jilmu. (Ellenberg, 1988),(Morozov – Nesterov, 1949). Rozšíření buku v Rumunsku má svůj původ v západních částech Evropy. (Tanțău et al., 2014)

Stanoviště bukových lesů jsou typická průměrnou úrovní zásobování živinami a vodou. Bučiny rostou na téměř všech typech lesních půd s výjimkou podzolů a velmi vlhkých půd. Přes husté koruny těchto stromů se nedostane na povrch půdy více než 2% slunečního záření. Proto v podrostu těchto stromů mohou růst pouze druhy odolné těmto nepříznivým světelným podmínkám. Jedná se například o druhy bažanka vytrvalá (*Mercurialis perennis*), hrachor jarní (*Lathyrus vernus*), svízel vonný (*Galium odoratum*). Typickými porosty doprovázející buky jsou druhy *Dentaria*. Po vyrašení listů se v podrostu vyvíjí především vytrvalé trávy a kapradiny například strdivka jednokvětá (*Melica uniflora*), ječmenka evropská (*Hordelymus europaeus*). Některé druhy se vyskytují pouze v horských oblastech například věsenka nachová (*Prenanthes purpurea*), kokořík přeslenitý (*Polygonatum verticillatum*) stejně jako směsi bukového porostu s jedlí bělokorou (*Abies alba*). Velké snížení areálu těchto jedlových porostů je spojováno s odlesňováním, protože jedle je velmi citlivá na změny vodního režimu stanovišť. (Ellenberg, 1988) Trendem posledních desetiletí v celém Karpatském regionu je rozsáhlé ničení horských lesů jejich těžbou a to jak legální, tak i nelegální. Tyto karpatské lesy jsou vystaveny velkému tlaku rychle se rozvíjející technologií lesního hospodářství a požadavků na lesní produkty. V chráněných oblastech Rumunska, kterými jsou i národní parky a přírodní parky, je povolena rozsáhlá těžba dřeva. (Mikoláš et al., 2019)

Ve vlhkých a na živiny bohatých stanovištích bučiny ustupují lesům strmých svahů a rokli bohatých na listnaté stromy. V těchto oblastech na úrovni stromů převládá javor klen (*Acer pseudoplatanus*), v přízemní vrstvě pak druhy udatná lesní (*Aruncus vulgaris*), žlutucha orlíčkolistá (*Thalictrum aquilegifolium*), jelení jazyk celolistý (*Phyllitis scolopendrium*), kapradina laločnatá (*Polystichum aculeatum*). (Ellenberg, 1988)(Morozov – Nesterov, 1949)

Bučiny mají velký význam na strmých horských svazích kde slouží k ochraně půdy a vody. Pro lesnictví je buk ceněný svojí schopností zlepšovat kvalitu půdy a regulovat mikroklima. Bukový les měl dříve velký vliv na kulturu národů obývajících Evropu jeho estetický dopad je stále ceněn. (Ellenberg, 1988)

3.4 Projekt FunDivEUROPE

Projekt FunDivEUROPE byl zahájen v říjnu roku 2010 na univerzitě ve Freiburgu. V současné době na tomto projektu spolupracuje s Freiburgskou univerzitou 24 institucí z 15 zemí. Hlavním podnětem pro založení projektu FunDivEUROPE byl přetrvávající úbytek biodiverzity a jeho ne zcela jasný dopad na fungování lesních ekosystémů. Hlavní náplní tohoto projektu je tedy porozumění a kvantifikování vlivu biodiverzity a její vliv na fungování ekosystémů evropských lesů s možností jejího využití při rozvoji funkcí lesa, kterými jsou například ukládání uhlíku, produkce dřeva a zásobování pitné vody. (FunDivEurope, 2010)

FunDivEUROPE je složen ze čtyř výzkumných platforem, které se dále dělí na „fyzické“ a „digitální“. Mezi fyzické platformy patří experimentální a průzkumná platforma. Digitální platformy jsou inventarizační platforma a platforma pro přenos znalostí. (FunDivEurope, 2010)

Experimentální platforma je tvořena sítí TreeDivNet, které se skládá z 12 různých

experimentů napříč 8 zeměmi. Tyto experimenty zahrnují 2900 ploch o výměře více než 600 ha. Zkusné plochy sítě TreeDiv_Net mají nejvyšší koncentraci v Evropě a jsou v ní zastoupeny všechny důležité biomy od boreálních lesů až po tropické pralesy. (FunDivEurope, 2010)

Průzkumná platforma je tvořena nově navrženou sítí zkusných ploch ve stávajících dospělých porostech. Tato nově vzniklá síť slouží jako ověření hypotézy k objasnění vztahů mezi lesní biodiverzitou a funkcemi ekosystému. Tato platforma zahrnuje 6 regionů (Finsko, Polsko, Německo, Rumunsko, Itálie, Španělsko) reprezentující důležité druhy evropských lesů v pásu od boreálního lesa po les stře-domořský. (FunDivEurope, 2010)

Inventarizační platformu tvoří soubor normalizovaných dat získaných z národních inventarizací lesa (National Forest Inventories – NFI) z vybraných evropských zemí se zaměřením na 6 zkusných ploch z průzkumné platformy. NFI zajišťuje systematickou a rozsáhlou prezentaci struktury lesů v dané zemi a staticky reprezentují různorodost lesních typů na rozsáhlém území. (FunDivEurope, 2010)

Platforma pro přenos znalostí má zásadní význam pro sdílení získaných znalostí a výsledků napříč předchozími platformami. Dále tato platforma slouží k podpoře komunikace mezi všemi zúčastněnými stranami projektu FunDivEUROPE a širší veřejností. (FunDivEurope, 2010)

4 Metodika

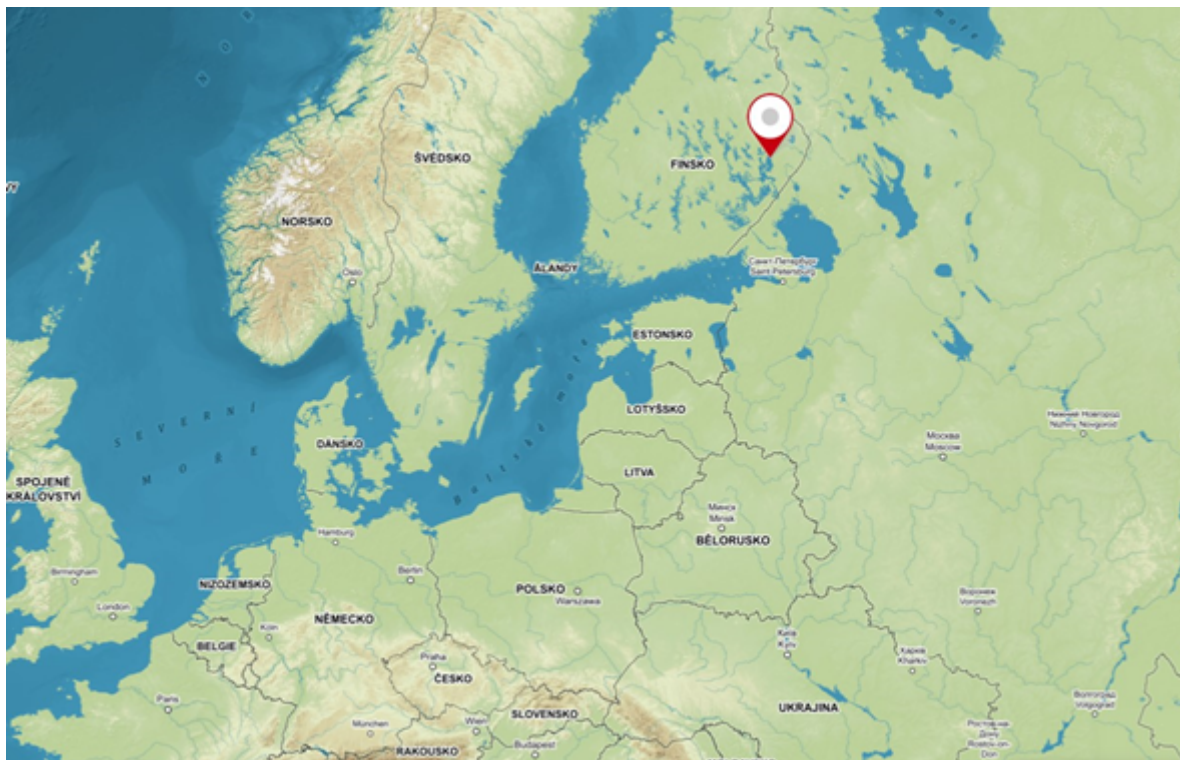
Výzkum byl proveden na zkušných plochách projektu FunDivEUROPE (Baeten et al., 2013) ve spolupráci s Natural Resources Institute Finland s pobočkou v Joensuu a Stefan cel Mare University v Suceavě v Rumunsku. Pro výzkum boreálních lesů bylo použito 28 zkušných ploch ve východním Finsku v okolí města Joensuu a pro výzkum horského bukového lesa 28 zkušných ploch v severovýchodním Rumunsku v okolí města Rasca.

Měření mikroklimatických dat v obou lokacích bylo započato na jaře roku 2017 a probíhalo po dobu dvou let. Pro měření byla použita čidla TMS-4.

Hlavními parametry pro výběr zkušných ploch v síti FunDivEUROPE byly rovnoměrnost zastoupení sledovaných dřevin a minimum rušivých faktorů. Prioritně byly vybírány plochy se zastoupením necílových dřevin do 5 %. Dalším kritériem byly podobný věk stromů a plný zápoj porostu. (Jucker et al., 2014)

4.1 Finsko

Zkusné plochy, které byly použité pro výzkum boreálních lesů se nachází ve východním Finsku v blízkosti města Joensuu. (Obr. 4.1) Celková výzkumná plocha měří přibližně 150 km x 150 km.



Obrázek 4.1: Mapa, na které je označeno město Joensuu, v jehož okolí se prováděl výzkum. Foto: Mapy.cz

V dané oblasti klimatické podmínky odpovídají chladnému podnebí typickému pro boreální lesy. Průměrná roční teplota je 2,1 °C a hodnota průměrných ročních srážek se pohybuje kolem 700 mm. (Grossiord et al., 2014) Zkusné plochy leží v nadmořské výšce 80–200 m. (FunDivEurope, 2010) Zkoumané dřeviny byly smrk ztepilý (*Picea abies*), borovice lesní (*Pinus sylvestris*) a bříza bělokorá (*Betula pendula* Roth). Podrostní vegetaci tvořily brusnice borůvka (*Vaccinium myrtillus*) a brusnice brusinka (*Vaccinium vitis-idaea*). Zkusné plochy se nacházejí v hospodářských lesích. Jejich prostředí je zobrazeno na obrázcích (4.2, 4.3).



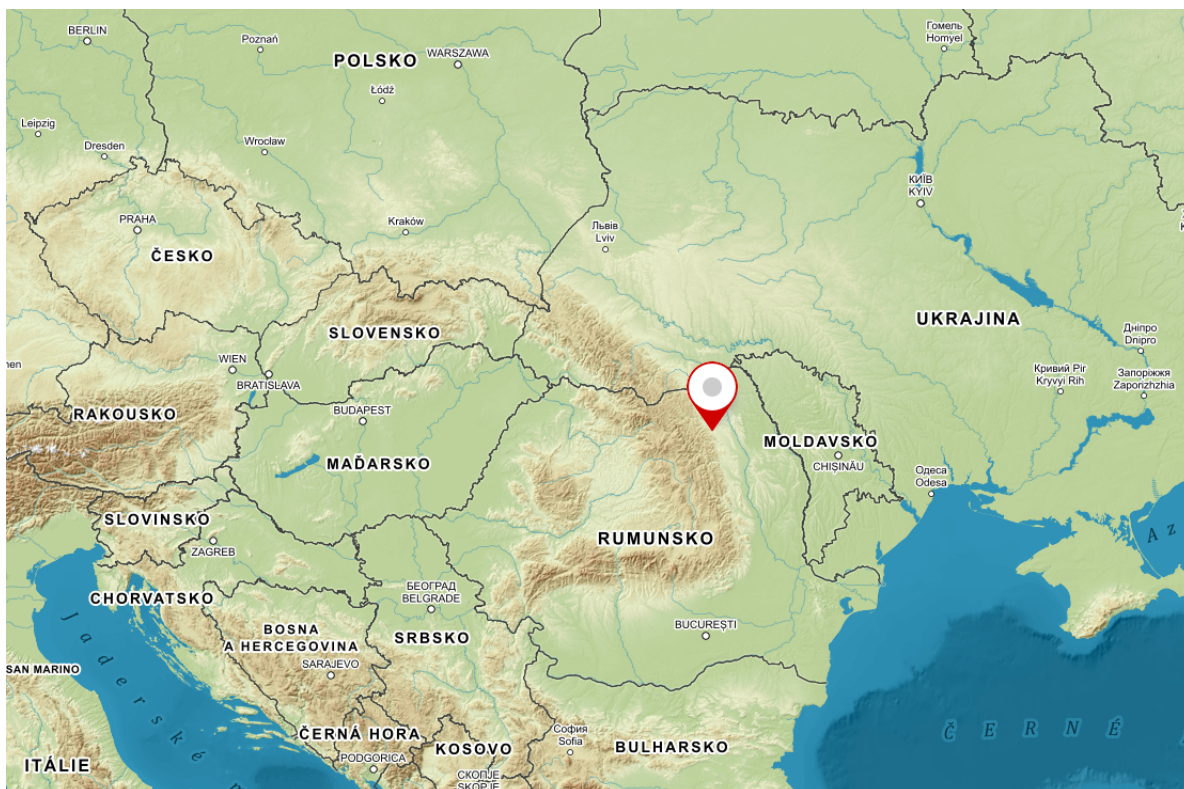
Obrázek 4.2: Smíšený les se směsí smrk-borovic-bříza



Obrázek 4.3: Monokulturní porost břízy

4.2 Rumunsko

Zkusné plochy použité pro výzkum horských bukových lesů se nachází v severovýchodním Rumunsku v blízkosti města Rasca (Obr. 4.4). Celková výzkumná plocha činí přibližně 5 km x 5 km.



Obrázek 4.4: Mapa, na které je označeno město Rasca, v jehož okolí se prováděl výzkum. Foto: Mapy.cz

V dané oblasti průměrná roční teplota je 6,8 °C a hodnota průměrných ročních srážek je kolem 800 mm. Zkusné plochy se nacházejí ve výšce 600–1000 m n.m. na středně strmých až strmých svazích. (FunDivEurope, 2010) Zkoumaly se porosty smrku ztepilého (*Picea abies*), jedle bělokoré (*Abies alba*), buku lesního (*Fagus sylvatica*) a javoru kleny (*Acer pseudoplatanus*). Jejich prostředí je zachyceno na obrázcích (4.5, 4.6).



Obrázek 4.5: Jedna ze zkusných ploch smíšeného porostu.



Obrázek 4.6: Zkusná plocha v horské bučině.

4.3 Získávání dat z čidel

Pro stažení dat byl použit TMD adaptér, který byl připojen přes USB konektor. Samotný přenos dat mezi adaptérem a snímačem probíhal bezdrátově. Adaptér byl přiložen k nejvyššímu bodu čidla k příslušnému protipólu. Ke stahování dat byl použit software Lolly Manager od výrobce TMS čidel. Doba stahování dat je závislá na množství uložených dat v čidlu. Pro kontrolu toho, jestli byla data správně stažena má Lolly Manager implementované grafické rozhraní, které umožňuje okamžitý náhled na grafy z aktuálně stažených dat.

4.4 Zpracování dat

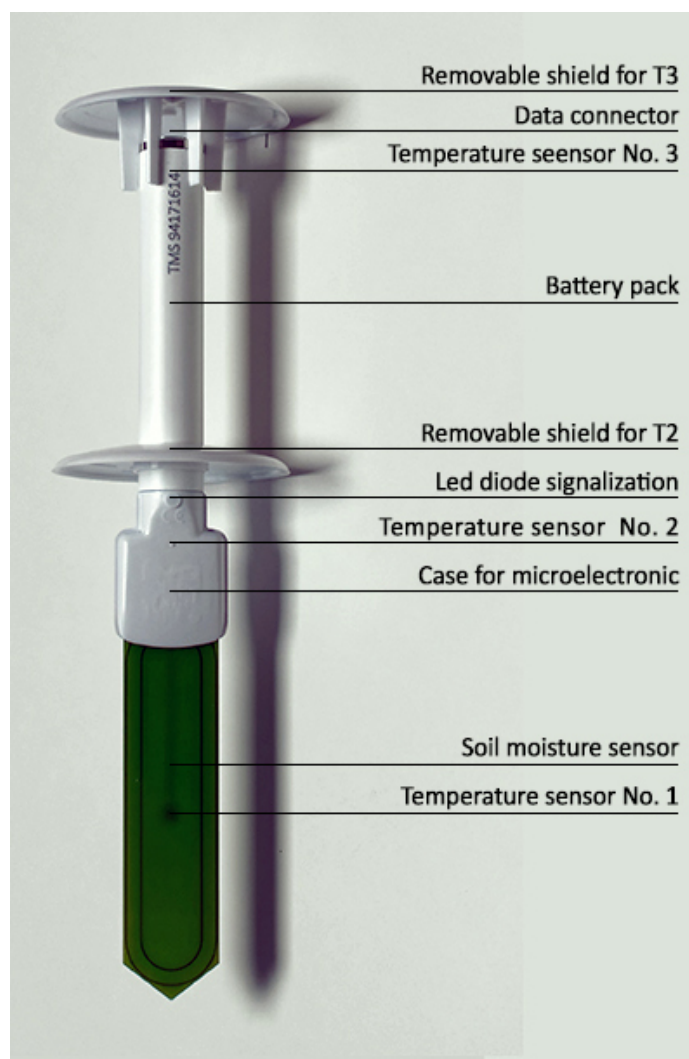
K analýze a čištění dat byl využit programovací jazyk R. V prvním kroku byla data revidována a vyčištěna od zjevně chybných měření, které mohou vzniknout poškozením čidla nebo nežádoucími vnějšími vlivy. Velikost stažených dat je velmi velká, a proto není možné čištění provést v běžném softwaru. Z tohoto důvodu byl k čištění využit speciálně napsaný skript v balíčku „Shiny“, který slouží k vizualizaci a promazávání chybných dat.

4.5 Měřící čidla

Pro měření půdních teplot a vlhkosti byl využit snímač TMS-4, který se skládá z nadzemní a podzemní části. Čidlo pro snímání teploty vzduchu T3 se nacházelo přibližně 50 cm nad povrchem půdy. Propojení podzemní a nadzemní části snímače je zajištěno pomocí kabelu, který je chráněn proti poškození a vniknutí vody. Nadzemní část je chráněna proti mechanickému poškození speciálním ochranným kloboučkem, který zároveň slouží pro umístění konektoru ke stahování dat. Sensor pro měření půdních teplot T1, T2 a půdní vlhkosti se nachází v podzemní části čidla. Pro měření půdní teploty T1 je sensor umístěn v hloubce 10 cm pod povrchem půdy a pro měření půdní teploty T2 v hloubce 2 cm. (Wild et al., 2019). Měřená data byla zaznamenávána každých 15 minut. Výhodou TMS čidel je, že baterie za běžných podmínek vydrží přibližně 10 let, a proto po celou dobu

měření není potřeba čidlo nabíjet a ani provádět žádnou jinou údržbu. Přesto je doporučeno provádět pravidelnou kontrolu čidla z důvodu možného poškození snímače divokou zvěří proti které se také osvědčilo instalovat okolo čidla dodatečnou kovovou klec. (Wild et al., 2019). Maximální rozsah zaznamenávaných hodnot teplotních čidel je od -40 °C do 60 °C.

Pro ilustraci je na obrázku (4.7) znázorněno čidlo TMS-4.



Obrázek 4.7: Popis čidla TMS-4. Zdroj foto: (Tomst)

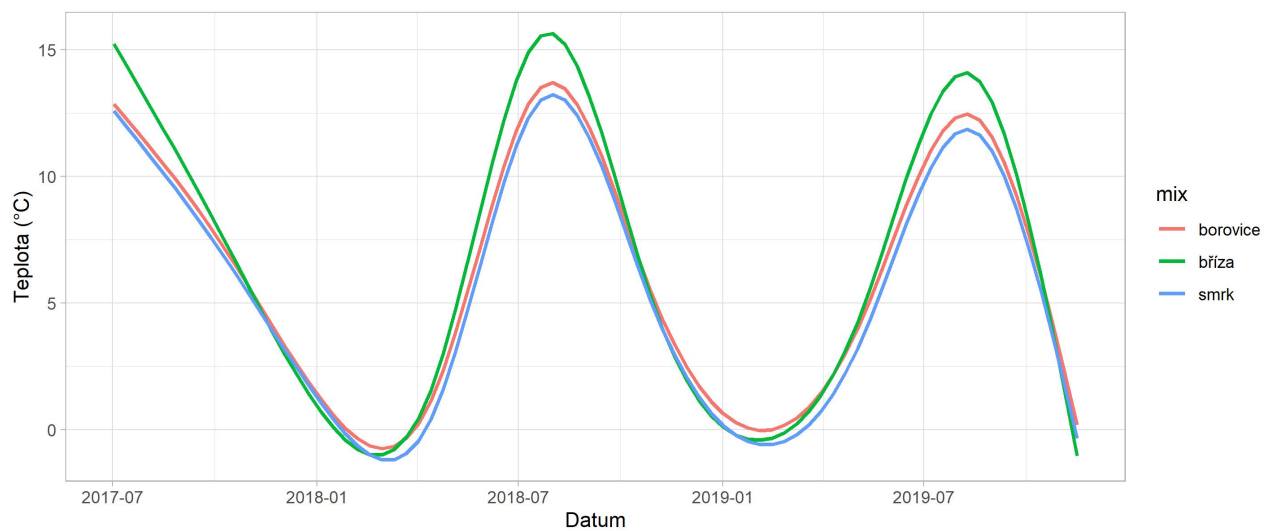
5 Výsledky

Pro vyhodnocení dat byly použity grafy GAM modelů, které byly vytvořené pomocí programovacího jazyka R. Na grafech jsou znázorněny mikroklimatické veličiny a jejich průběh v čase. Měřenými veličinami byly půdní vlhkost, půdní teplota 2 cm a 10 cm pod povrchem a teplota vzduchu. Zkoumané veličiny jsou závislé na druhové skladbě porostu a byly zaznamenávané v průběhu dvou let každých 15 minut, což nám umožňuje sledovat rozdíly v rámci ročních období, porovnávat vegetační sezóny různých let a vidět změny od měsíce k měsíci

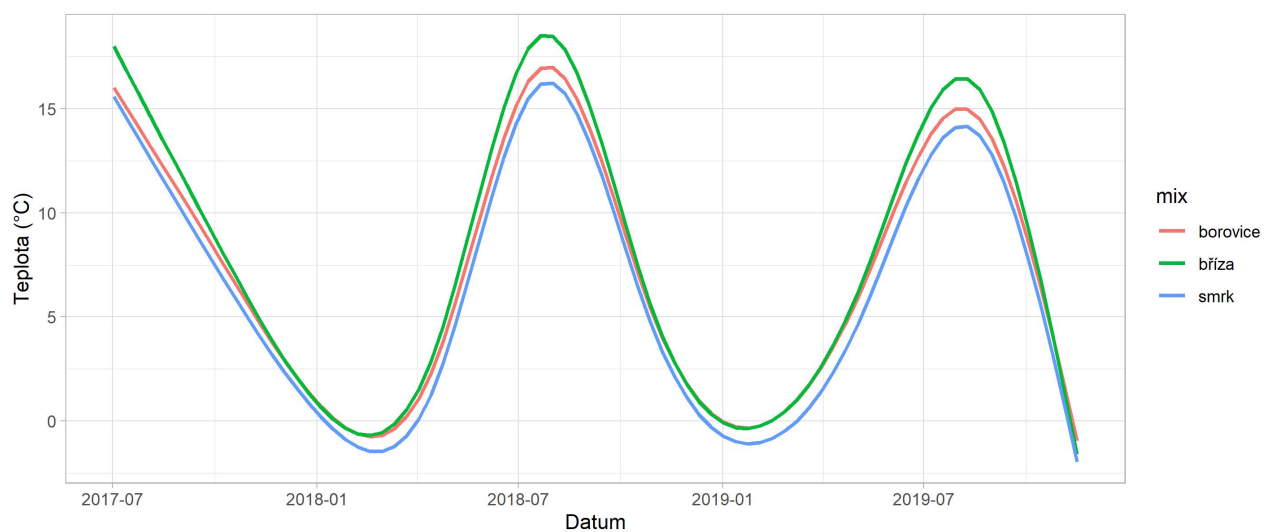
5.1 Finsko

5.1.1 Teploty půdy měřená čidla T1 a T2

Teplotní čidla T1 v hloubce 10 cm a T2 v hloubce 2 cm, vykazovali v průběhu měření podobný vývoj teplotní křivky. Z grafů (Obr. 5.1, 5.2) je patrné, že v monokulturních březových porostech v letních měsících je vyšší teplota půdy než u ostatních sledovaných monokultur. V nejteplejších dnech tyto hodnoty pro T1 dosahovaly přibližně 15 °C a pro T2 17 °C. V zimních měsících teplota půdy klesala na úroveň borových monokultur. V hloubce 10 cm teplota klesala o přibližně 0,5 °C pod úroveň borových porostů. Nejnižší teplotu vykazovaly smrkové porosty, a to jak v zimních, tak i v letních měsících. Dle očekávání bylo naměřeno, že ve větší hloubce je teplota nižší a rozdíl činí přibližně 2 °C. Z těchto grafů je dále patrné, že léto 2018 bylo teplejší než léto 2019. Zima 2018 byla naopak chladnější než zima 2019.

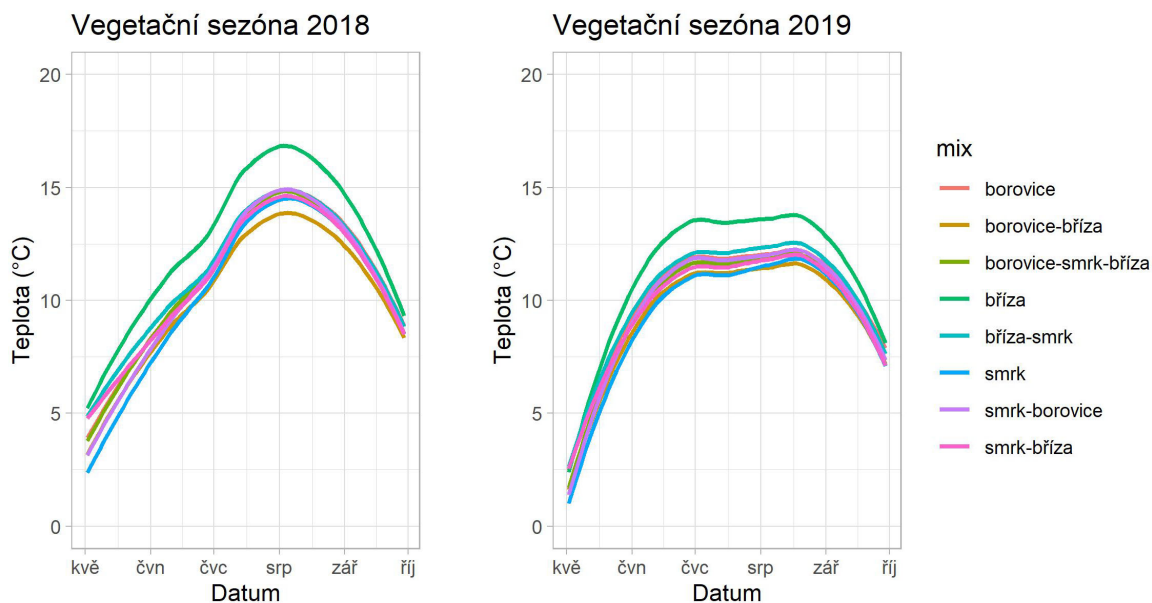


Obrázek 5.1: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.



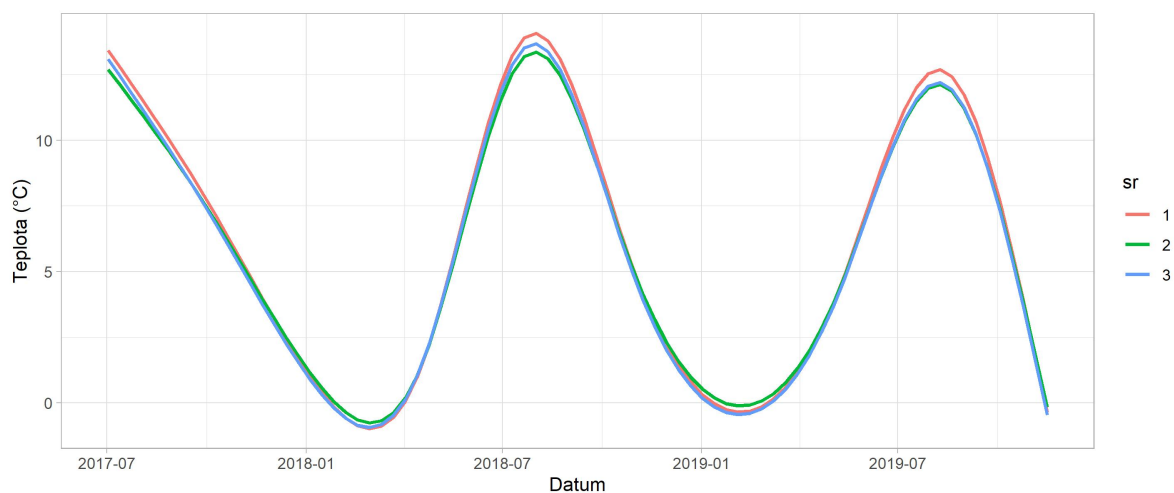
Obrázek 5.2: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

Při porovnání teplot půdy z čidla T1 během vegetačních sezón 2018 a 2019 jsou výše zmíněné rozdíly mezi léty patrnější. (Obr. 5.3) Březové porosty vykazují vyšší průměrné teploty půdy. Nejnižší průměrné teploty byly naměřeny ve smrkových porostech. V nejteplejším měsíci vegetační sezóny 2018 byly zaznamenány nejnižší teploty v porostu směsi borovice-bříza.

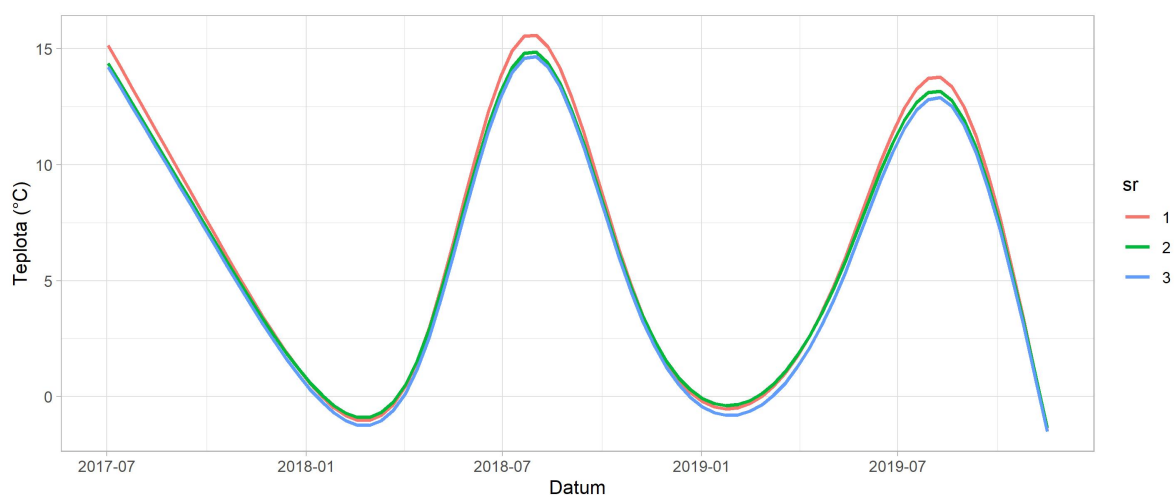


Obrázek 5.3: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

Při porovnání naměřených teplot půdy monokulturních a smíšených porostů (Obr. 5.4, 5.5), si lze povšimnout, že nejzřetelnější teplotní rozdíly mezi porosty, byly naměřeny během zimních a letních měsíců. Během ostatních měsíců byly teploty půdy téměř totožné. V letních měsících nejvyšší teploty vykazovaly monokulturní porosty, a to přibližně o 0,5-1°C.



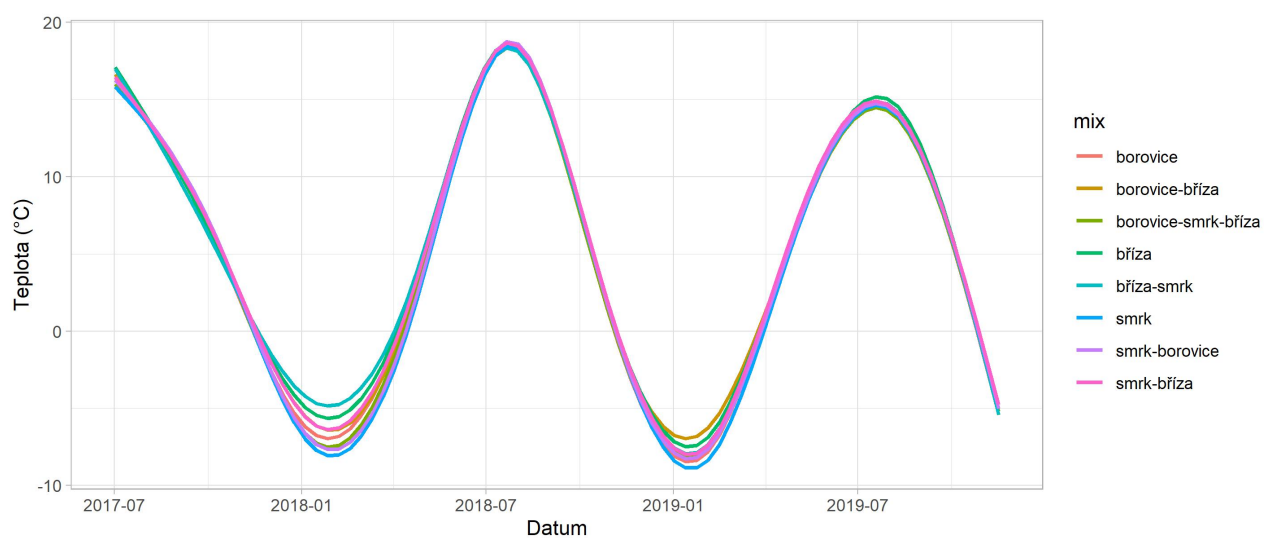
Obrázek 5.4: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkušné ploše.



Obrázek 5.5: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkušné ploše.

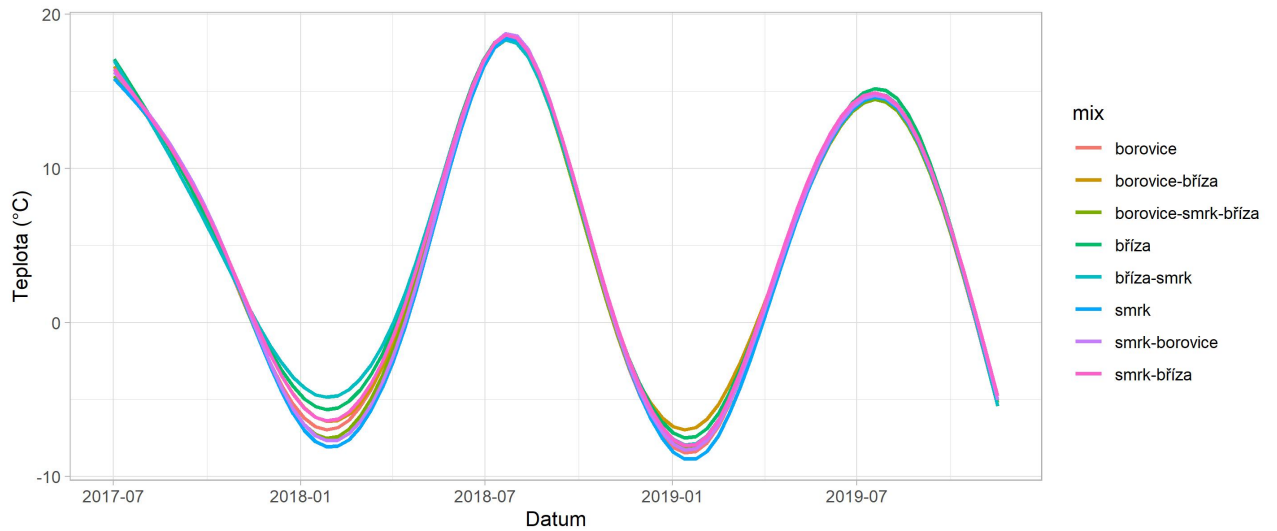
5.1.2 Teploty vzduchu měřené čidlem T3

Průměrná teplota vzduchu v porostech měla největší rozdíly v zimních měsících (viz obr. 5.6). Nejvyšší naměřená teplota v zimě roku 2018 byla ve smíšeném porostu bříza-smrk a nejchladnější v monokulturním smrkovém lese, tento rozdíl činí zhruba 4 °C. V zimě roku 2019 nejvyšší teploty vykazoval smíšený porost borovice-bříza a nejchladnější opět smrkový les. V ostatních měsících průměrné teploty ve všech porostech byly téměř stejné.



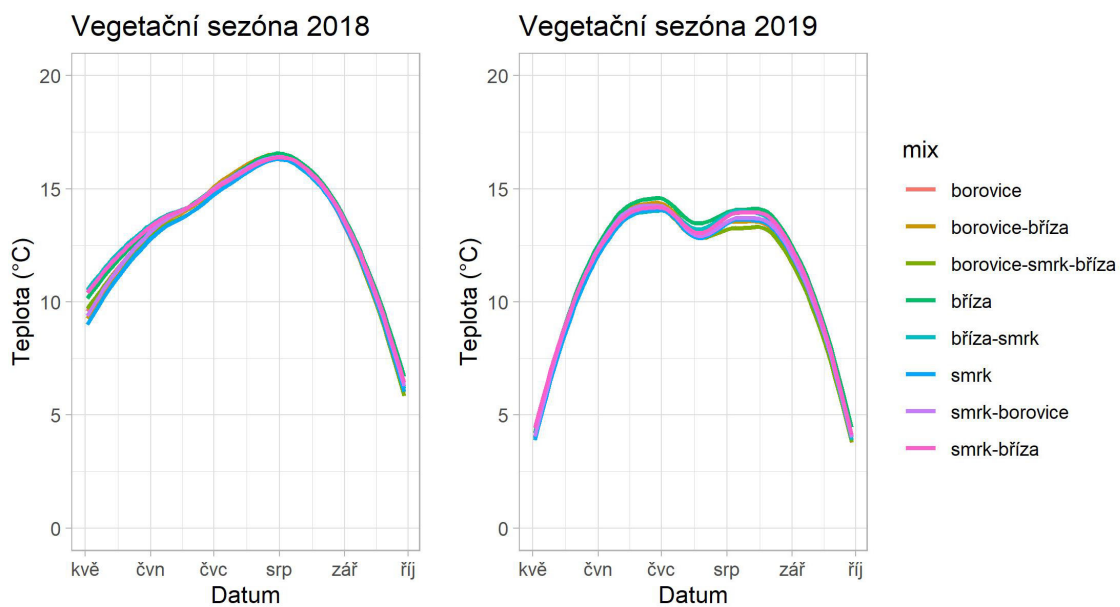
Obrázek 5.6: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.

Při porovnání maximálních naměřených teplot vzduchu jsou rozdíly mezi jednotlivými porosty patrné jak v létě, tak i v zimě. (Obr. 5.7) Například si můžeme povšimnout, že teplota vzduchu v borovém lese v létě 2018 dosahovala vyšších hodnot oproti ostatním porostům a zároveň v zimě 2019 dosahovala nejnižších hodnot.



Obrázek 5.7: Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.

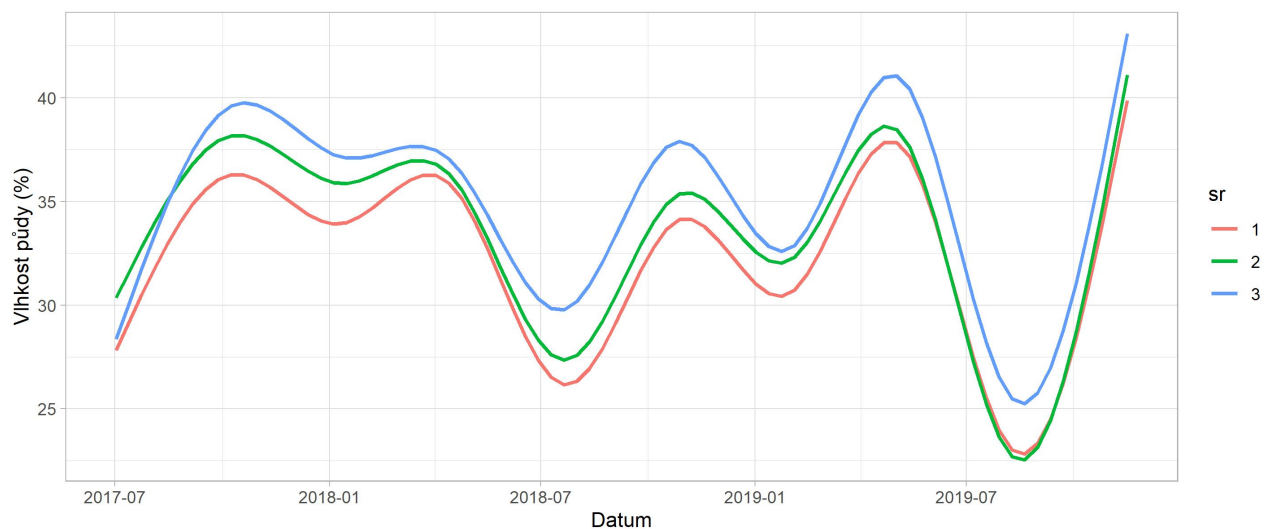
Podrobným prozkoumáním grafů teploty vzduchu pro vegetační sezóny 2018 a 2019 je zřejmé, že průběhy teplot jednotlivých porostů jsou téměř totožné. (Obr. 5.8)



Obrázek 5.8: Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.

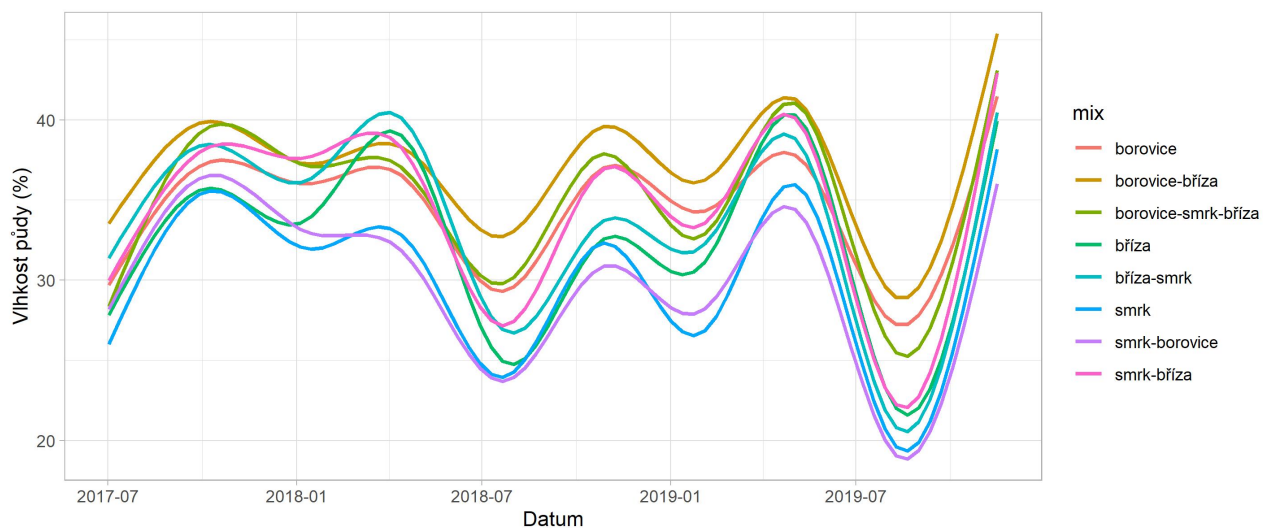
5.1.3 Vlhkost půdy

Další sledovanou veličinou byla půdní vlhkost. Z grafu (Obr. 5.9) porovnávajícím průměrné půdní vlhkosti pro monokulturní a smíšené lesy lze vyčíst, že nejnižší průměrnou vlhkost mají monokulturní porosty. Dále si lze povšimnout, že s narůstající druhovou diverzitou průměrná vlhkost půdy stoupa.



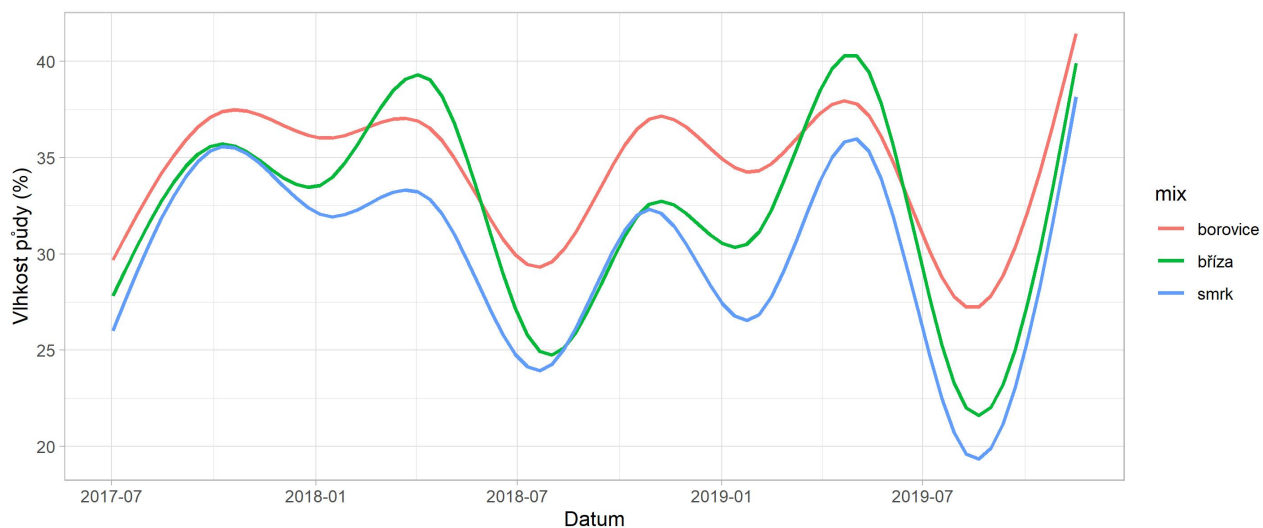
Obrázek 5.9: Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.

Při bližší analýze jednotlivých monokulturních a smíšených porostů jsme získali graf (Obr. 5.10), pomocí kterého můžeme mezi sebou porovnat jednotlivé druhy porostů. V průběhu celého měření nejvyšších hodnot dosahoval smíšený les s druhovou kombinací borovice-bříza. Naopak nejnižších hodnot dosahovala kombinace smrk-borovice a monokultura smrku.



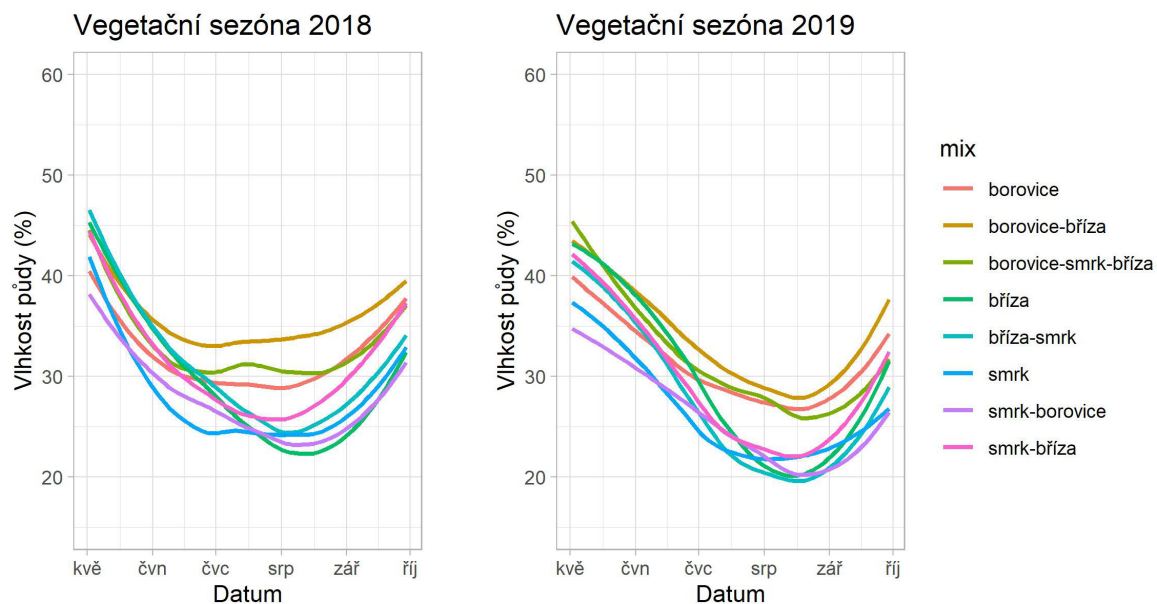
Obrázek 5.10: Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na porostní směsí.

Z grafu (Obr. 5.11) zobrazujícího průběh naměřené vlhkosti pro jednotlivé monokultury můžeme vyčíst, že borové porosty mají nejmenší amplitudu hodnot. Podobný průběh mají i smrkové porosty jen s tím rozdílem, že celková vlhkost je oproti borovým porostům řádově o 5-10 % nižší. Nejvyšší výkyvy hodnot lze pozorovat u březových porostů.



Obrázek 5.11: Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

Při porovnání grafů, zobrazujících hodnoty půdní vlhkosti v průběhu vegetačních sezón 2018 a 2019 (Obr. 5.12) je vidět, že ve vegetační sezóně 2018 byla půda celkově vlhčí než ve vegetační sezóně 2019.

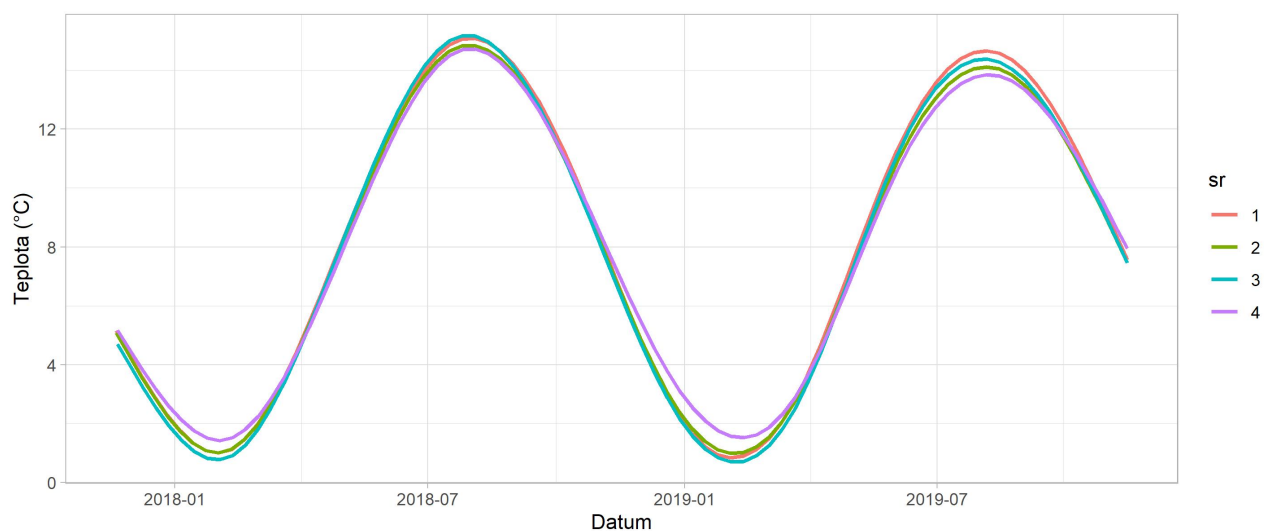


Obrázek 5.12: Průměrné hodnoty půdní vlhkosti naměřené během vegetačních sezón 2018 a 2019 v jednotlivých porostních směsích.

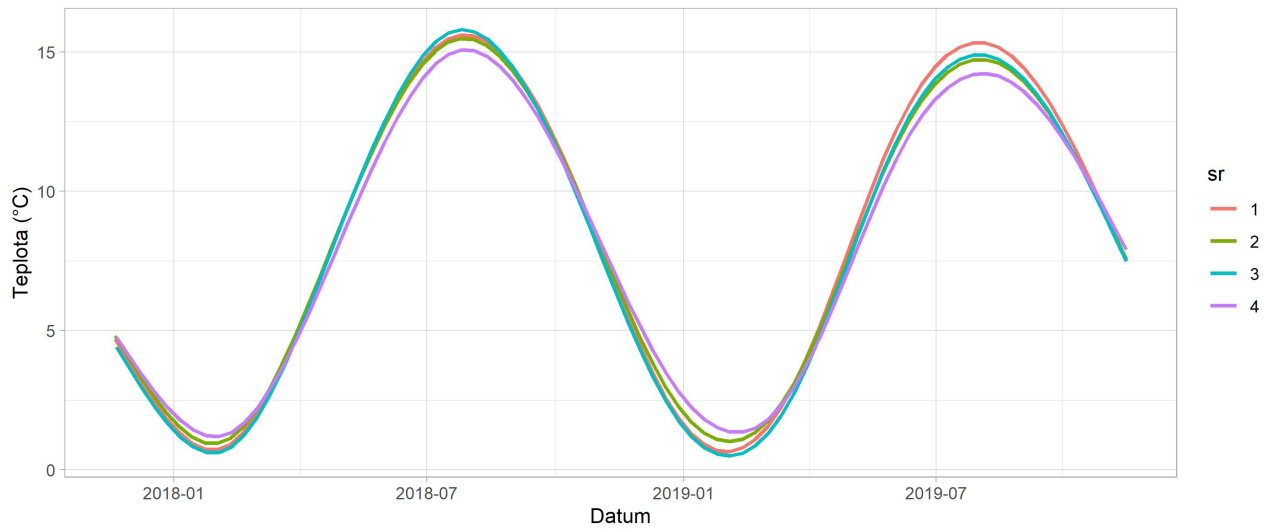
5.2 Rumunsko

5.2.1 Teploty půdy měřená čidly T1 a T2

Průměrné teploty půdy T1 a T2, naměřené v monokulturních a smíšených porostech se nejvíce od sebe odlišovaly v zimních a letních měsících. (Obr. 5.13, 5.14) Největší amplitudu výsledné křivky má porost s třemi druhy dřevin. V zimních měsících v těchto porostech byla zaznamenána nejnižší teplota oproti ostatním zkoumaným plochám a v letních měsících roku 2018 naopak nejvyšší. V létě roku 2019 nejvyšší teplota byla v monokulturách. Můžeme si také povšimnout, že v porostech se čtyřmi druhy dřevin v zimních měsících bylo nejtepleji a v letních naopak nejchladněji.

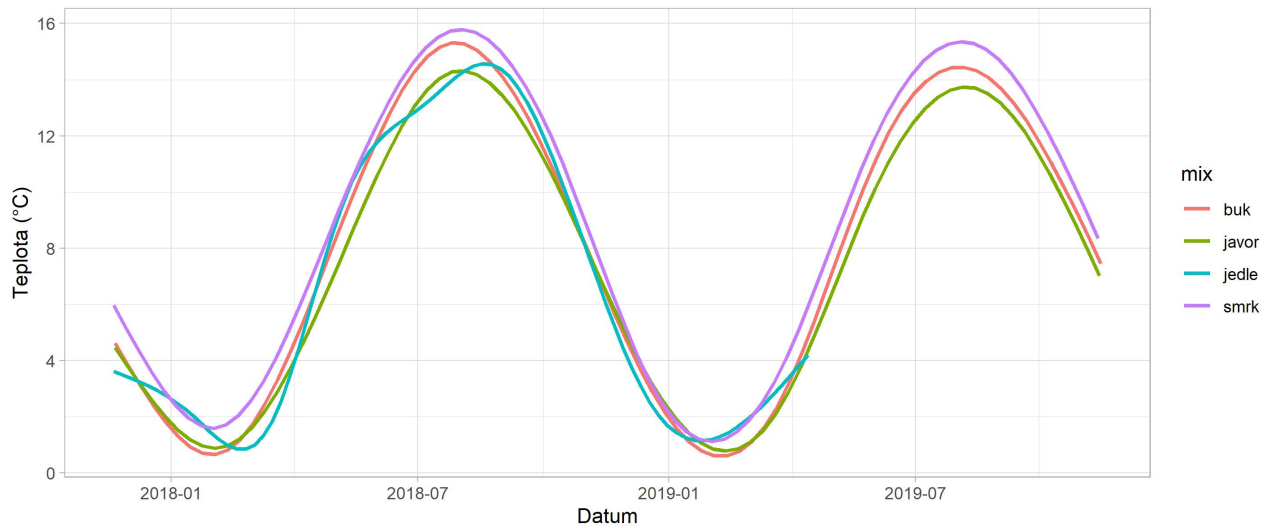


Obrázek 5.13: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.

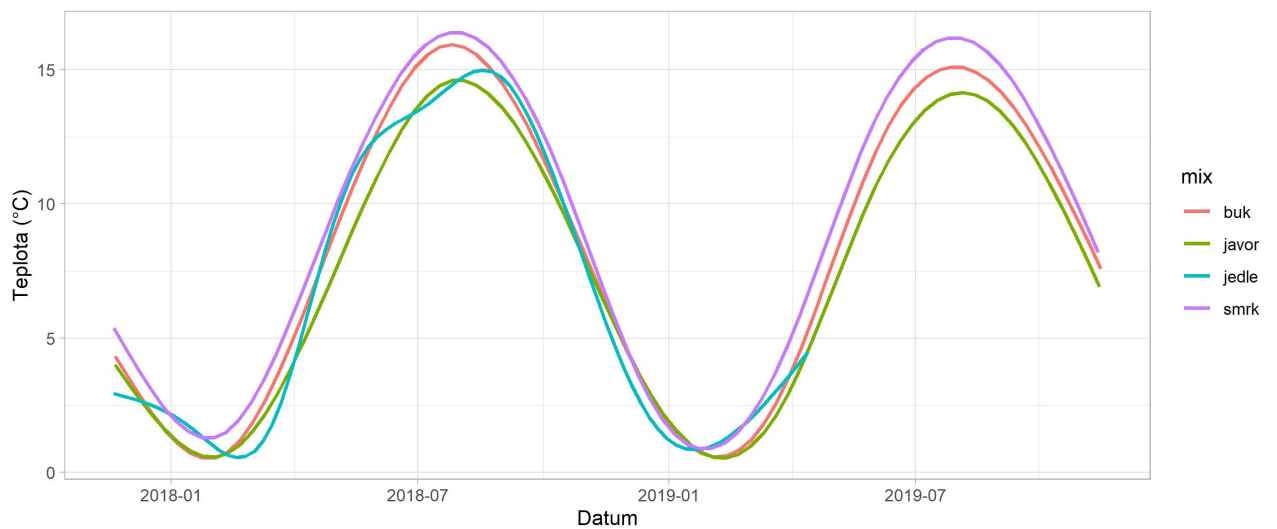


Obrázek 5.14: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkušné ploše.

Když se podíváme na grafy, zobrazující průměrné teploty půdy T1 a T2 v průběhu měření v závislosti na druhu dřeviny (Obr. 5.15, 5.16), můžeme pozorovat, že ve smrkových porostech byla naměřena vyšší teplota oproti ostatním porostům, a to v průběhu celého měření po dobu dvou let. Celkově nejchladnější hodnoty vykazovaly javorové porosty. V letních měsících rozdíl teplot mezi smrkovým a javorovým lesem činil přibližně 2 °C.

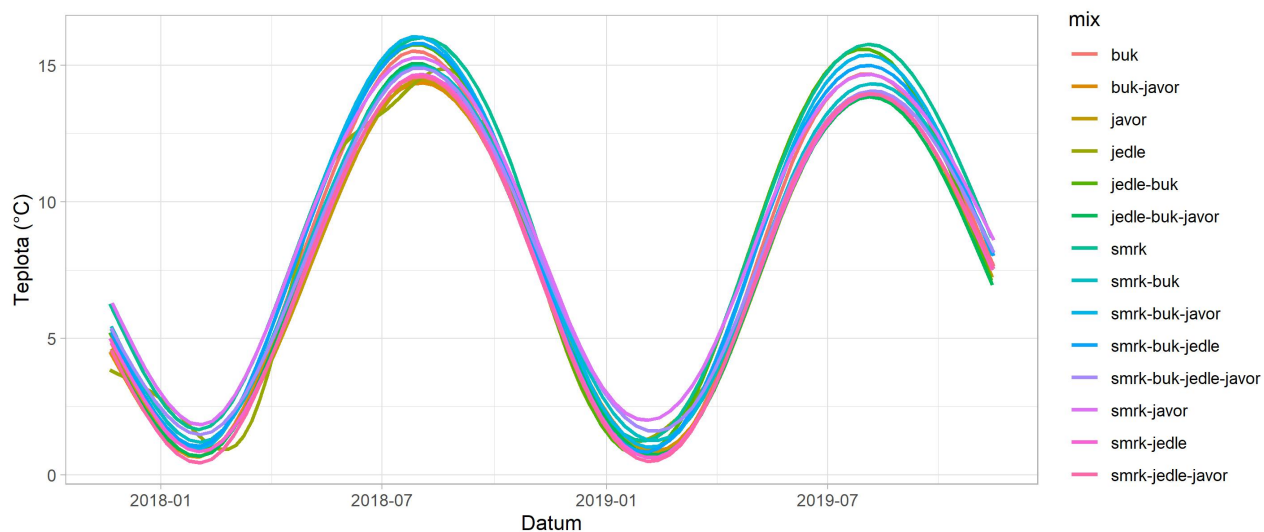


Obrázek 5.15: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

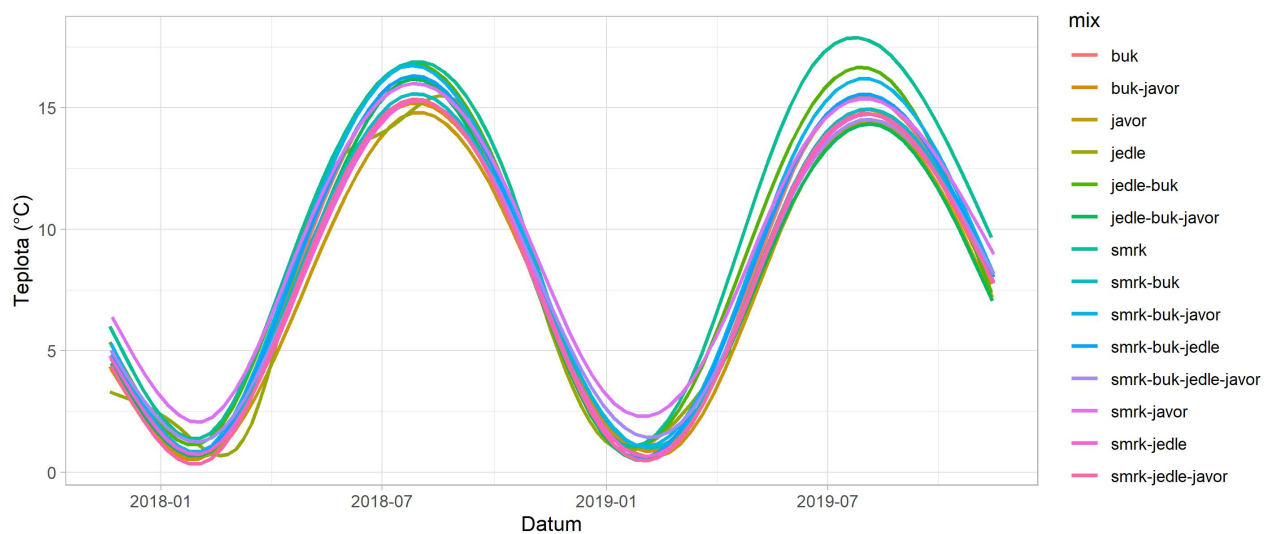


Obrázek 5.16: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

Při pohledu na grafy, které zobrazují maximální teploty T1 a T2 (Obr. 5.17, 5.18) je patrné, že v hloubce 10 cm maximální teplota v letních měsících v monokulturách porostech smrku a ve směsích jedle-buk a smrk-buk-javor dosahovala 16 °C. Oproti tomu porosty směsí jedle-buk-javor, smrk-jedle-javor a smrk-buk-jedle-javor v roce 2019 vykazovali nejnižší maximální teploty. V létě roku 2018 nejnižší teploty byly v javorovém lese. Graf maximální půdní teploty T2 poukazuje na to, že v zimních měsících nejtepleji bylo v porostech směsi smrk-javor, a to jak v zimě 2018 tak i v zimě 2019. V létě roku 2019 hodnota maximální teploty T2 ve smrkovém porostu dosahovala 18 °. V porostu směsí jedle-buk-javor dosahovala maximální teplota pouze 14 °C.

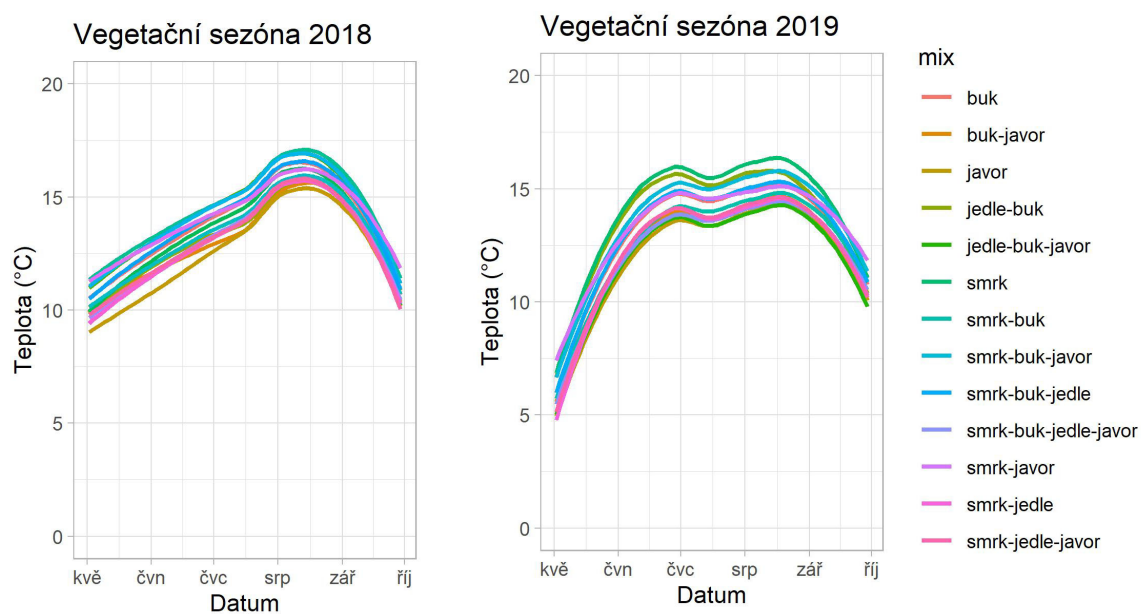


Obrázek 5.17: Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T_1 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.



Obrázek 5.18: Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T_2 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.

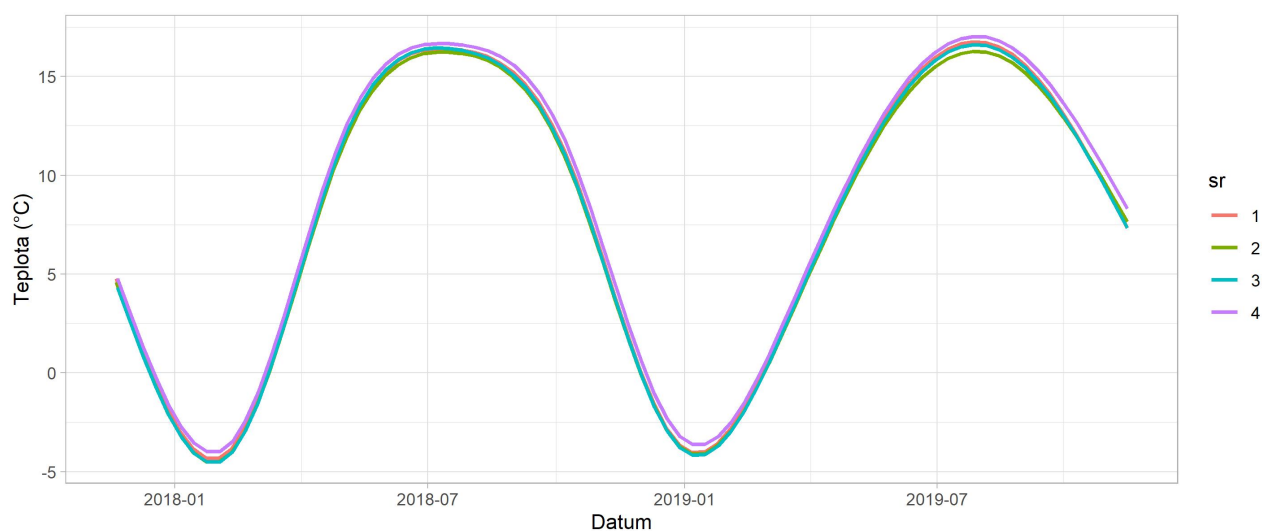
Při podrobnějším prozkoumání vegetačních sezón 2018 a 2019 (Obr. 5.19) se nám potvrdilo to, že porostní směsi s javorem mají tendenci nižších teplot. Smrkové naopak vyšších.



Obrázek 5.19: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu vegetační sezóny 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsí.

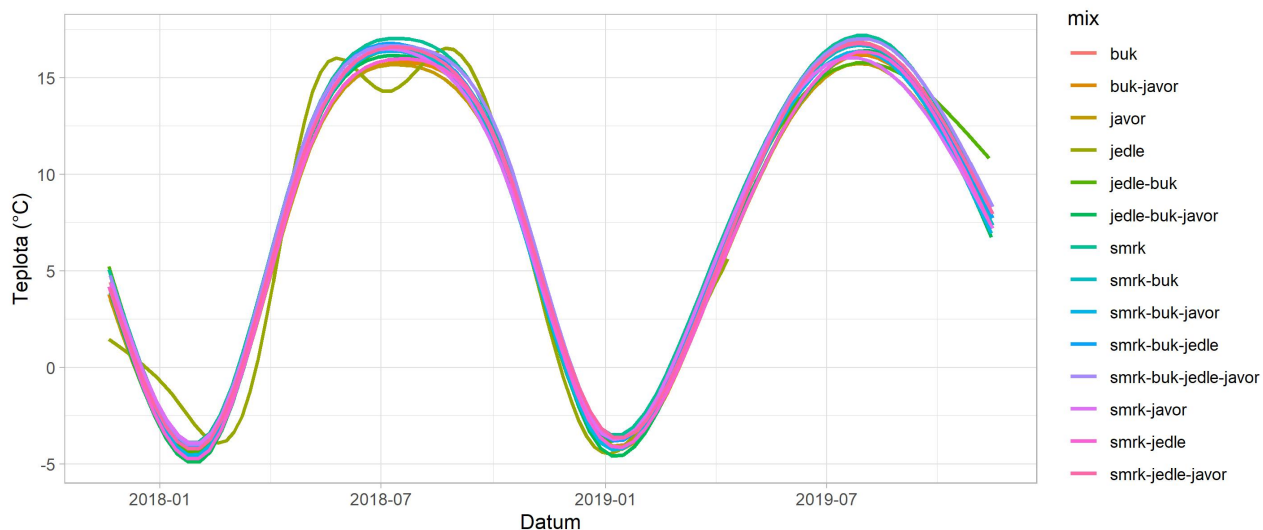
5.2.2 Teploty vzduchu měřené čidlem T3

Na grafu vývoje průměrné teploty vzduchu T3 pro jednotlivé úrovně smíšení (Obr. 5.20) je patrné, že naměřená teplota ve všech porostech je velmi podobná. Porost s čtyř-druhovou kombinací můžeme vyhodnotit jako porost s nejvyšší teplotou, a to po dobu celého měření. V zimních měsících nemůžeme s jistotou říct, který porost vykazoval nejnižší teploty, jelikož všechny zbylé tři druhy porostních směsí vykazovaly téměř stejnou teplotu. V letních měsících nejnižší teploty byly zaznamenané ve dvou-druhovém porostu.



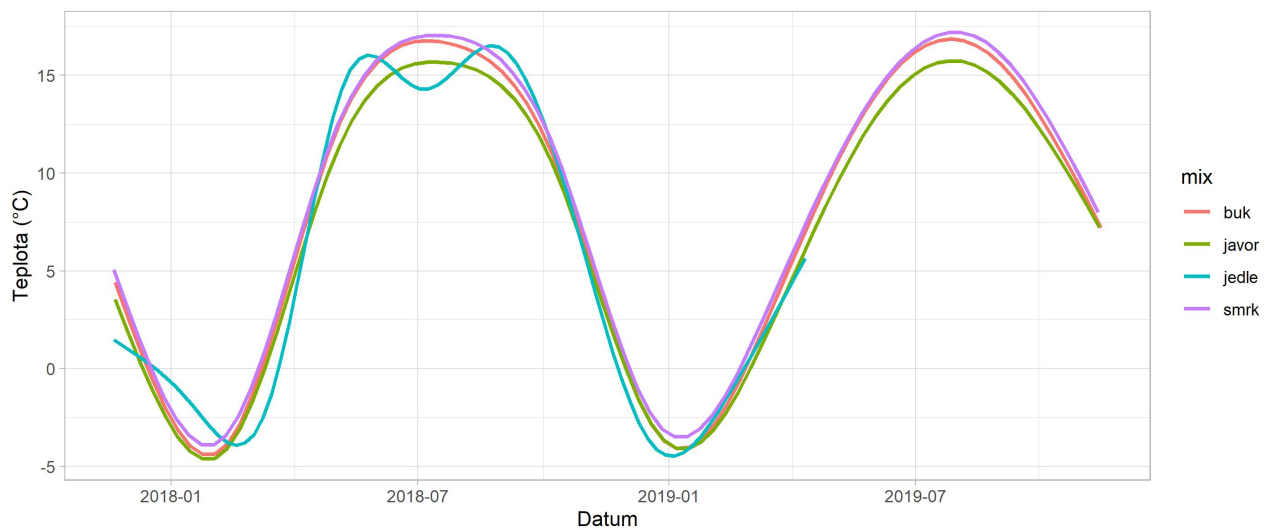
Obrázek 5.20: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.

Na grafu (Obr. 5.21) jsou znázorněny naměřené hodnoty teploty vzduchu T3 pro jednotlivé druhy porostu. Můžeme si povšimnout, že čidlo měřící teplotu v jedlovém porostu v průběhu roku 2019 přestalo snímat. Vzhledem k průběhu dříve naměřených dat a porovnání jejich průběhu s průběhy dat ostatních porostů lze předpokládat, že tato měření byla ovlivněna chybovým signálem a výsledná data pro jedlový porost mohou být tedy zkreslená. Z tohoto důvodu budou tyto data v průběhu vyhodnocování teploty vzduchu měřené čidlem T3 zanedbána. Nejvyšší zaznamenané teploty v letních měsících byly ve smrkovém porostu. V zimních měsících byly nejvyšší teploty naměřeny v monokulturních porostech smrku a ve směsích smrk-javor, smrk-jedle-javor a smrk-buk-jedle-javor. Nejnižší teploty v létě 2018 byly naměřeny v javorovém porostu a v létě 2019 v javorovém porostu a ve směsi jedle-buk. Nejnižší teploty v zimních měsících byly naměřeny ve smíšeném porostu jedle-buk-javor.



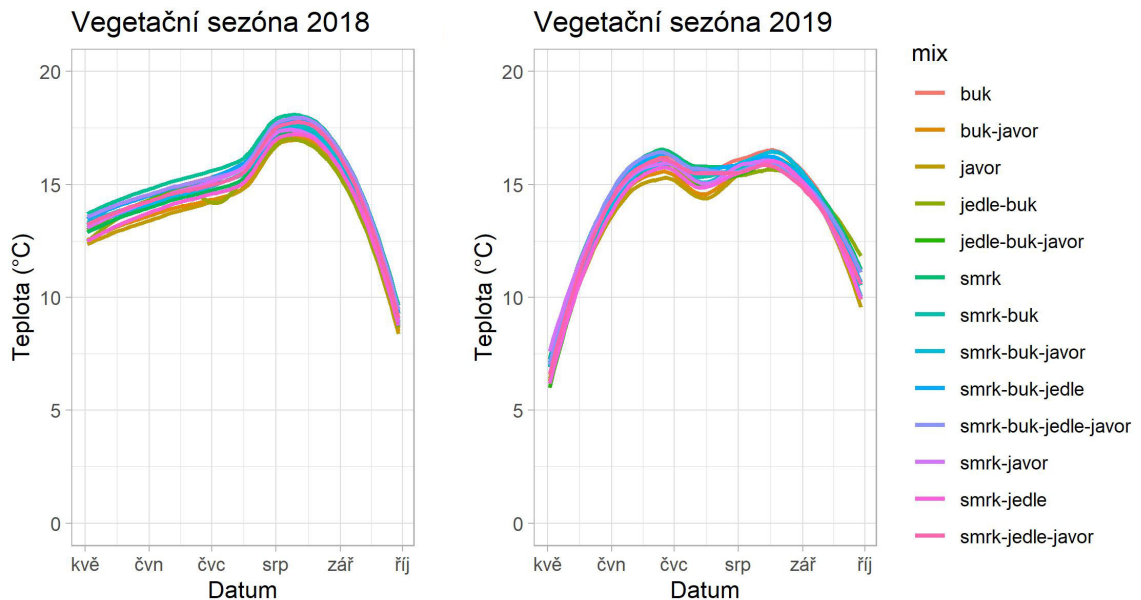
Obrázek 5.21: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsi.

Na grafu (Obr. 5.22) je znázorněn průběh měření teploty vzduchu T3 v závislosti na druhu dřeviny. Znovu bude ve vyhodnocení vynechán jedlový porost z výše zmíněného důvodu. Z průběhů jednotlivých teplot je patrné, že nejvyšší teploty přes celé měření vykazoval smrkový porost. Nejnižší teploty vykazoval porost javorový. V letních měsících byl rozdíl teplot mezi nejteplejším a nejchladnějším porostem přibližně 2 °C.



Obrázek 5.22: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

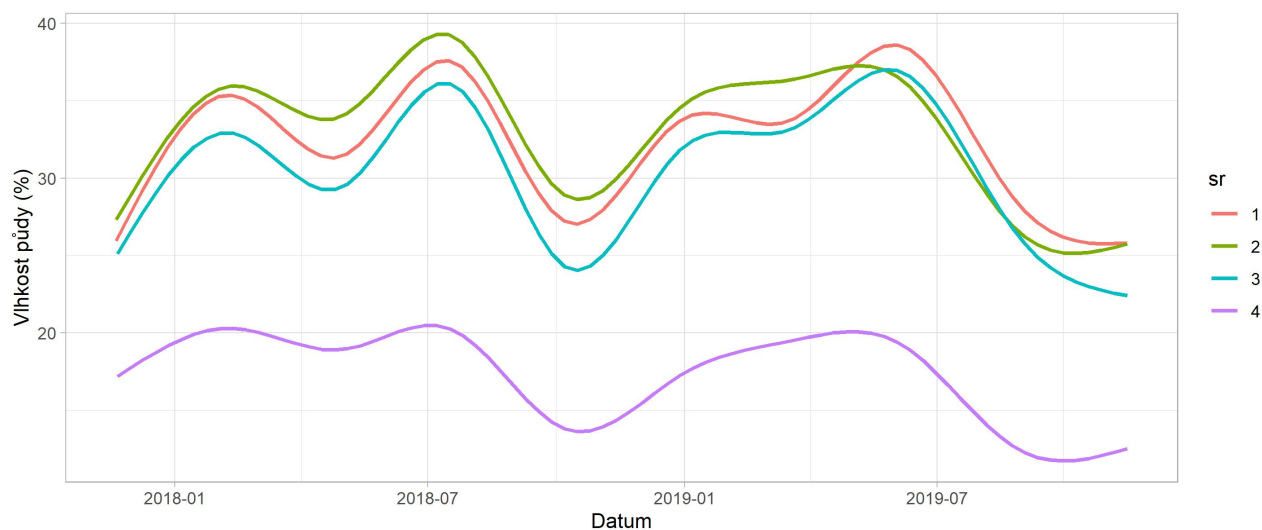
Při podrobnějším prozkoumání vegetačních sezón 2018 a 2019 (Obr. 5.23) si lze povšimnout toho, že v roce 2019 mají křivky teploty ze začátku vegetační sezóny prudší nárůst oproti vegetační sezóně 2018, ale během celé sezóny stálější hodnoty. Naopak průběhy v roce 2018 vykazují mírnější stoupání teplot během začátku vegetační sezóny s prudkým výkyvem v srpnu a rychlejším poklesem teplot ke konci vegetační sezóny. Z grafu je dále patrné, že nejnižší teploty v obou vegetačních sezónách vykazoval javorový porost. Nejvyšší teploty v létě 2018 byly zaznamenány ve smrkovém porostu a v létě 2019 se nejvyšší teploty střídaly mezi několika porosty (monokultury smrku a buku, směsi smrk-buk, smrk-buk-jedle-javor).



Obrázek 5.23: Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu vegetačních sezón 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsi.

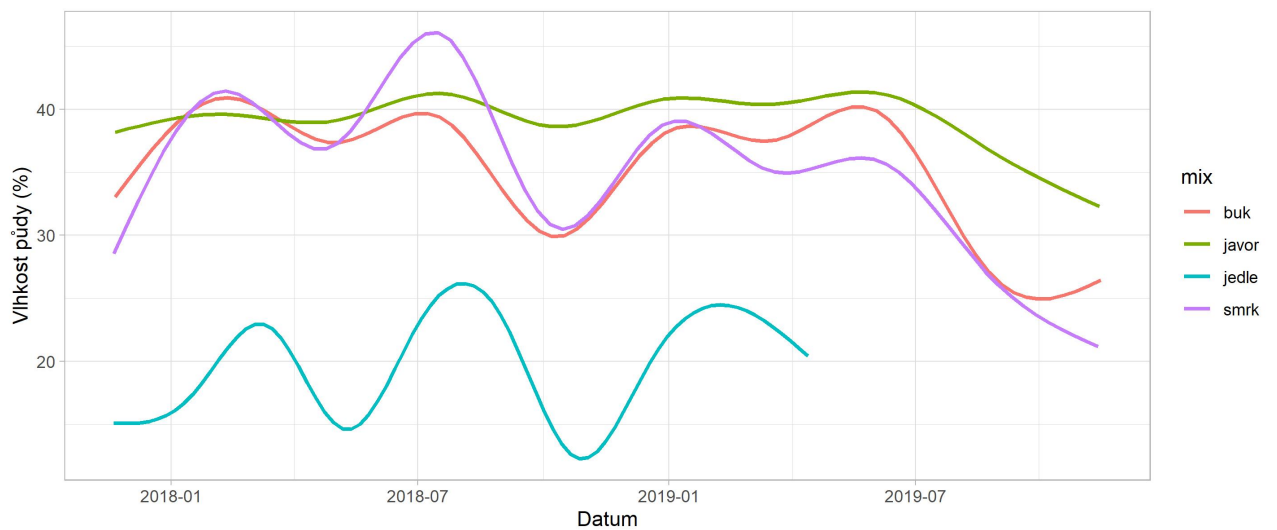
5.2.3 Vlhkost půdy

Na grafu, který zobrazuje průběh hodnot půdní vlhkosti měřené po dobu dvou let v závislosti na počtu druhů v porostu (Obr. 5.24) si lze povšimnout, že ve čtyřdruhovém směsi vykazuje půda výrazně nižší vlhkost než na ostatních zkušných plochách. Průměrná vlhkost po celou dobu měření v tomto porostu nepřekročila 22 %. V ostatních porostech naopak půdní vlhkost neklesla pod 23 %. Křivky půdní vlhkosti ostatních porostů mají podobný průběh. Nejvyšší průměrná vlhkost byla naměřena ve dvou-druhovém porostu s výjimkou léta a podzimu 2019 kdy vykazoval nejvyšší vlhkost monokulturní porost.



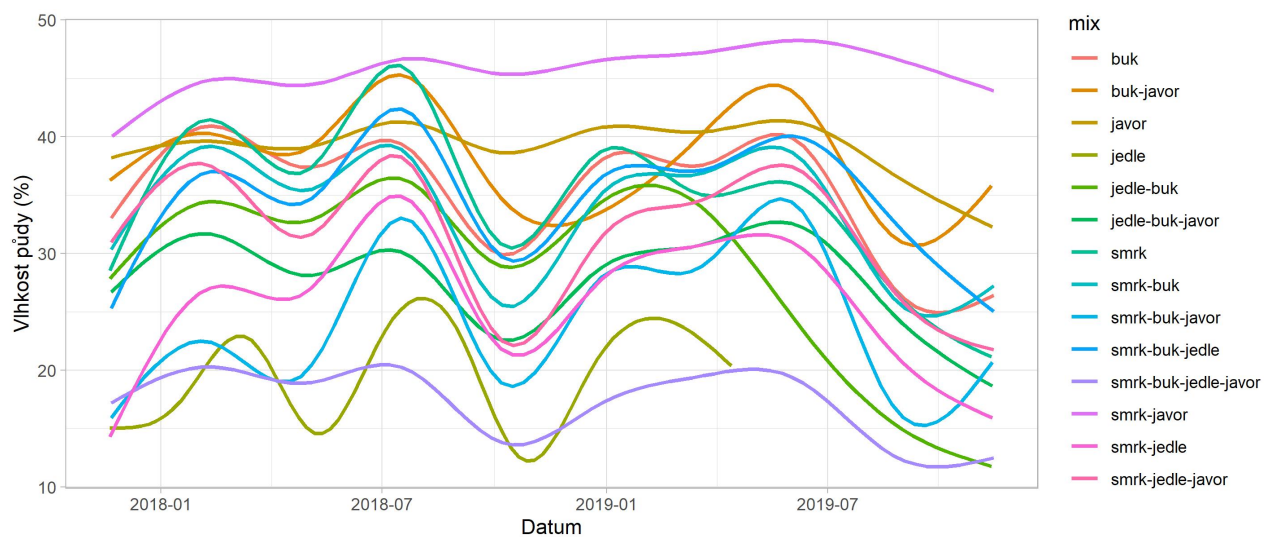
Obrázek 5.24: Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkušné ploše.

Podle grafu, zobrazujícího vývoj půdní vlhkosti v průběhu měření v závislosti na druhu dřeviny v porostu (Obr. 5.25) , můžeme vyhodnotit jedlový porost jako nejsušší porost s pravidelnou amplitudou hodnot v průběhu roku. Javorový porost je naopak nejvlhčí s nejstálejším průběhem a malými výkyvy mezi hodnotami. Také si lze povšimnout, že průběh průměrné půdní vlhkosti s největším rozdílem hodnot má smrkový porost.



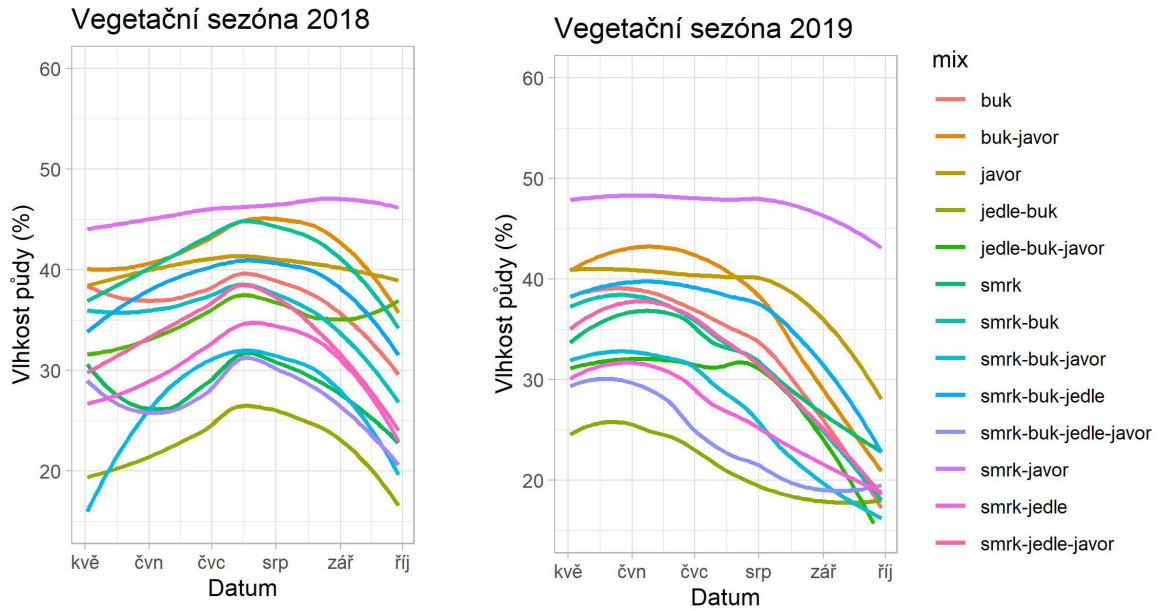
Obrázek 5.25: Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.

Při nahlédnutí do grafu (Obr. 5.26), znázorňujícího průběh průměrné půdní vlhkosti v průběhu měření v závislosti na porostní směsi, je patrné, že nejvlhčí je porost směsi smrk-javor s průměrnou půdní vlhkostí kolem 45 %. Nejnižší hodnoty půdní vlhkosti vykazuje porostní směs smrk-buk-jedle-javor.



Obrázek 5.26: Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na porostní směsi.

Při porovnání průměrných půdních vlhkosti během vegetačních sezón 2018 a 2019 (Obr. 5.27) můžeme vyvodit, že jednoznačně nejvlhčí je smíšený porost smrk-javor. Naopak jako nejsušší porost se ukázal jedlo-bukový porost.



Obrázek 5.27: Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu vegetačních sezón 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsi.

6 Diskuze

6.1 Půdní teplota T1 a T2

Při analýze naměřených dat bylo zjištěno, že naměřené hodnoty z čidel T1 a T2 se od sebe příliš neliší. Teplotní rozdíly naměřené ve Finsku v létě činily přibližně 2 °C, kdežto v ostatních ročních obdobích byl rozdíl minimální. V Rumunsku byl rozdíl naměřených hodnot T1 a T2 téměř zanedbatelný po celou dobu měření. Je možné, že tato skutečnost je způsobena rozdílnými biomy ve Finsku a Rumunsku. V tajze je léto kratší a půda se pravděpodobně nestačí prohřát do takové hloubky, kdežto v mírném pásmu opadavého lesa, do kterého patří horský les v Rumunsku se půda prohřívá hlouběji. Tato hypotéza by mohla být ověřena nebo vyvrácena umístěním čidla T1 do větší hloubky, alespoň 30 cm, nebo přidáním dalšího čidla měřícího teplotu půdy do stejné navrhované hloubky.

Z vyhodnocení údajů naměřených v monokulturních porostech ve Finsku vyplynulo, že v březových porostech byla větší amplituda teplot než v borovicových a smrkových porostech. V letních měsících se březové porosty ukázaly jako nejteplejší, což může být způsobeno odlišnou korunovou strukturou břízy, která má nižší index listové plochy, a proto skrze koruny bříz dopadá více slunečního záření na povrch půdy. Již dříve bylo zjištěno, že teplota půdy a vzduchu v podrostu lesa se mění v závislosti na míře prosvětlení porostu. (Von Arx et al., 2013)

Javorové porosty se během vyhodnocování dat, naměřených v Rumunsku, dle očekávání ukázaly jako nejchladnější porosty, protože javor klen (*Acer pseudoplatanus*) upřednostňuje chladná a vlhká stanoviště.

6.2 Teplota vzduchu T3

Hodnoty teploty vzduchu T3 byly v případě Finska téměř shodné pro všechny pozorované porosty s výjimkou zimních měsíců, kde se ukázalo, že ve směsích smrk-bříza a borovice-bříza byla naměřena nejvyšší teplota. Ve smrkových monokulturách bylo nejchladněji stejně jako v případě půdních teplot T1 a T2. Může to být ovlivněno tím, že při smíšení s břízou se snižuje index listové plochy a tím se zvětšuje množství slunečního záření pronikajícího do porostu, které má vliv na teplotu vzduchu. Oproti tomu smrkové monokultury zachycují více slunečního záření, což způsobuje chladnější teplotu vzduchu a půdy v těchto porostech. (Messier et al., 1998)

Z výsledných dat naměřených v Rumunsku nebyl prokázán vliv počtu druhů v porostu na teplotu vzduchu. Křivky vývoje teplot vykazovaly téměř shodné hodnoty a celkové průběhy. Z vyhodnocení porostních směsí vyplynulo, že nejvyšší hodnoty byly zaznamenané pro smrkové monokultury a jeho směsi (smrk-javor, smrk-jedle-javor a smrk-buk-jedle-javor), a to v průběhu celého měření. Podobné výsledky přinesla i analýza dat závislých na druhu dřeviny, kde se ukázal jako nejteplejší smrkový les. Javorový les byl vyhodnocen jako nejchladnější, stejně jako v případě půdních teplot T1 a T2, což je ovlivněno tím, že tato dřevina preferuje chladná stanoviště. Je zajímavé, že ve směsi smrk-javor tento porost vykazuje teplejší hodnoty vzduchu, to by mohlo poukazovat, že javory nemají velký vliv na mikroklimatické podmínky porostu a nechávají se ovlivňovat jinými dřevinami.

6.3 Půdní vlhkost

Vlhkost půdy je důležitým faktorem pro zdraví lesního ekosystému. Sucho působí jako stresový faktor na lesní porost. Jeho vliv oslabuje odolnost dřevin vůči biotickým a abiotickým činitelům. (Kula, 2014)

Výsledky naměřených dat ve Finsku ukazují, že zde s druhovou diverzitou půdní vlhkost roste, naopak data získaná z Rumunska poukazují na přesný opak. Čtyřdruhový porost se zde ukázal jako nejsušší. Z toho vyplývá, že pro biom tajga je z pohledu vyšší vlhkosti půdy přínosnější druhově bohatší skladba lesa. Pro horské lesy v Rumunsku z výsledků vyplývá, že monokulturní porosty udržují vyšší vlhkost půdy, a to by mohlo znamenat, že monokultury jsou v horských lesích stabilnější než smíšené porosty.

Z pohledu vlhkosti půdy v závislosti na druhu dřeviny se javor v Rumunsku projevil jako dřevina udržující nejvyšší vlhkost půdy. Hodnoty vlhkosti z těchto porostů byly téměř konstantní a držely se kolem 40 %. To znovu poukazuje na to, že tato dřevina preferuje vlhčí stanoviště s vyšší hladinou podzemní vody a tyto porosty jsou pravděpodobně více ovlivňované horizontálními srážkami.

Výsledná data z Finska poukazují na to, že březové porosty mají nejvyšší výkyvy hodnot půdní vlhkosti. To může být zapříčiněno tím, že menší LAI způsobuje větší výpar z povrchu půdy a tím nižší schopnost březových porostu ovlivňovat vlhkostní režim. (Aussenac, 2000)

7 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo zjistit, jak druhová skladba lesa ovlivňuje mikroklima daného porostu. Výzkum byl proveden v rámci projektu FunDivEUROPE ve spolupráci s Natural Resources Institute Finland s pobočkou v Joensuu a Stefan cel Mare University v Suceavě v Rumunsku. Bylo vybráno 28 zkusných ploch ve východním Finsku v okolí města Joensuu a 28 zkusných ploch v severovýchodním Rumunsku v okolí města Rasca. Data pro analýzu byla měřena podobu dvou let v intervalech 15 minut. Zaznamenávané veličiny byly teploty půdy, vzduchu a půdní vlhkost. Zpracování, čištění dat a jejich analýza byly provedeny pomocí skriptovacího jazyka R na základě vytvořených aditivních modelů

Výsledky této diplomové práce poukazují na to, jak dřeviny ovlivňují mikroklima porostu. V případě boreálních lesů ve Finsku se ukázalo, že březové porosty mají větší amplitudu teplot půdy, než borovicové a smrkové. Také bříza ovlivňuje porost celkovým snížením indexové plochy listů a z tohoto důvodu je v podrostu vyšší půdní teplota. V případě horského lesa v Rumunsku nejnižší teploty měly javorové porosty.

Z pohledu teploty vzduchu nejchladnějšími porosty boreálních lesů se jeví smrkové porosty, stejně jako ve výsledcích půdních teplot. V Rumunských horských lesích nebyl prokázán vliv počtu druhů v porostu na teplotu vzduchu. Křivky průběhu teplot vykazovaly téměř shodné hodnoty.

V případě boreálních lesů je z výsledků patrné, že pestřejší druhová skladba porostu udržuje vyšší vlhkost, a tím zdravější a stabilnější porost. Naopak v horských lesích v Rumunsku vyšší vlhkost prokázaly monokulturní porosty.

Vzhledem k tomu, že teploty půdy T1 a T2 nevykazovaly vzájemně velký rozdíl teplot, bylo by vhodné buď čidlo T1 umístit do větší hloubky nebo použít další

snímač v hloubce alespoň 30 cm.

Pro další výzkum této problematiky by z mého pohledu bylo vhodné brát v úvahu i další přírodní podmínky na zkušných plochách a při vyhodnocování využívat data o typech půdy na stanovištích a údaje o množství srážek v průběhu roku v dané oblasti.

Z analýzy vyplývá, že pro horské lesy v Rumunsku v kontextu globálního oteplování a z pohledu zvyšování půdní vlhkosti a snižování teploty půdy se jeví jako výhodnější rozšiřování areálu javorových porostů na úkor smrkových porostů, což by napomohlo i ke snížení kalamitních těžeb. V případě Finska by se dalo doporučit navyšovat druhovou skladbu lesa a snižovat podíl březových monokultur.

Literatura

AUSSENAC, G. Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of forest science*. 2000, 57, 3, s. 287–301.

BAETEN, L. et al. 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*. 2013, 15, 5, s. 281–291.

BUTSIC, V. et al. The effect of protected areas on forest disturbance in the Carpathian Mountains 1985–2010. *Conservation Biology*. 2017, 31, 3, s. 570–580.

CHEN, J. M. et al. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 1997, 102, D24, s. 29429–29443.

CICEU, A. et al. Climate change effects on tree growth from Romanian forest monitoring Level II plots. *Science of The Total Environment*. 2020, 698, s. 134129.

CLEMENTS, F. E. – OTHERS. Plant succession and indicators. 1928.

DE FRENNE, P. et al. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013, 110, 46, s. 18561–18565.

ELLENBERG, H. H. *Vegetation ecology of central Europe*. Cambridge University Press, 1988.

EVANS, G. C. – COOMBE, D. Hemispherical and woodland canopy photography and the light climate. *Journal of Ecology*. 1959, 47, 1, s. 103–113.

FLEISCHER, P. et al. Effects of air pollution and climate change on forests of the Tatra Mountains, Central Europe. 2005, s. 111–121.

FUNDIVEUROPE, P. [online]. 2010. Dostupné z:
<http://project.fundiveurope.eu/>.

GEIGER, R. *Das Klima Der Bodennahen Luftschicht. The Climate Near the Ground. Translated from the 4th German Ed. by Scripta Technica, Inc.* Harvard University Press, 1965.

GROSSIORD, C. et al. Does drought influence the relationship between biodiversity and ecosystem functioning in boreal forests? *Ecosystems*. 2014, 17, 3, s. 394–404.

JUCKER, T. et al. Stabilizing effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes. *Ecology Letters*. 2014, 17, 12, s. 1560–1569.

KOSAREV, V. – ANDRJUSCHENKO, T. *Lesnaja meteorologija s osnovami klimatologii*. 2009.

KULA, E. *Ochrana lesa ve středoevropských podmínkách*. 2014.

MARTYNOV, A. et al. NV Beljaeva *Osnovy lesnogo hozjajstva i taksacija lesa: uchebnoe posobie*. SPb.: SPbGLETU. 2008.

MESSIER, C. – PARENT, S. – BERGERON, Y. Effects of overstory and understory vegetation on the understory light environment in mixed boreal forests. *Journal of Vegetation Science*. 1998, 9, 4, s. 511–520.

MIKOLÁŠ, M. et al. Land use planning based on the connectivity of tree species does not ensure the conservation of forest biodiversity. *Land use policy*. 2019, 83, s. 63–65.

MOROZOV, G. – NESTEROV, V. *Uchenie o lese*. 1949.

MYNENI, R. B. et al. Estimation of global leaf area index and absorbed PAR using radiative transfer models. *IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing*. 1997, 35, 6, s. 1380–1393.

NADROWSKI, K. – WIRTH, C. – SCHERER-LORENZEN, M. Is forest diversity driving ecosystem function and service? *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 2010, 2, 1-2, s. 75–79.

NORRIS, C. – HOBSON, P. – IBISCH, P. L. Microclimate and vegetation function as indicators of forest thermodynamic efficiency. *Journal of Applied Ecology*. 2012, 49, 3, s. 562–570.

- OLSON, D. M. – DINERSTEIN, E. The Global 200: Priority ecoregions for global conservation. *Annals of the Missouri Botanical garden*. 2002, s. 199–224.
- PODRÁZSKÝ, V. *Základy ekologie lesa*. Česká zemědělská univerzita v Praze, 2014.
- PRETZSCH, H. Diversity and productivity in forests: evidence from long-term experimental plots. 2005, s. 41–64.
- SENNOV, S. Lesovedenie i lesovodstvo. *Moskva: Izdatel'skiy tsentr "Akademia", -256 S.* 2005.
- TANȚĂU, I. et al. Vegetation sensitivity to climate changes and human impact in the Harghita Mountains (Eastern Romanian Carpathians) over the past 15 000 years. *Journal of Quaternary Science*. 2014, 29, 2, s. 141–152.
- TOMST. [online]. 2021. Dostupné z:
<https://tomst.com/web/en/systems/tms/tms-4/>.
- VON ARX, G. et al. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of ecology*. 2013, 101, 5, s. 1201–1213.
- WELLES, J. M. Some indirect methods of estimating canopy structure. *Remote sensing reviews*. 1990, 5, 1, s. 31–43.
- WILD, J. et al. Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agricultural and forest meteorology*. 2019, 268, s. 40–47.

Seznam obrázků

4.1	Mapa, na které je označeno město Joensuu, v jehož okolí se prováděl výzkum. Foto: Mapy.cz	19
4.2	Smíšený les se směsí smrk-borovic-bříza	20
4.3	Monokulturní porost břízy	20
4.4	Mapa, na které je označeno město Rasca, v jehož okolí se prováděl výzkum. Foto: Mapy.cz	21
4.5	Jedna ze zkusných ploch smíšeného porostu.	22
4.6	Zkusná plocha v horské bučině.	22
4.7	Popis čidla TMS-4. Zdroj foto: (Tomst)	24
5.1	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	26
5.2	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	26
5.3	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	27
5.4	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	28
5.5	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	28
5.6	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	29
5.7	Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	30

5.8	Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	31
5.9	Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	32
5.10	Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	33
5.11	Graf zobrazující průměrné hodnoty půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	34
5.12	Průměrné hodnoty půdní vlhkosti naměřené během vegetačních sezón 2018 a 2019 v jednotlivých porostních směsích.	35
5.13	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	36
5.14	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	37
5.15	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T1 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	38
5.16	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	38
5.17	Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T1 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	40
5.18	Graf zobrazující vývoj maximálně naměřených hodnot teploty T2 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	40
5.19	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty půdy T2 v průběhu vegetační sezóny 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsí.	41
5.20	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	42
5.21	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na porostní směsí.	43
5.22	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	44

5.23	Graf zobrazující vývoj průměrné teploty vzduchu T3 v průběhu vegetačních sezón 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsi. . . .	45
5.24	Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na počtu druhu na zkusné ploše.	46
5.25	Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na druhu dřeviny.	47
5.26	Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu času v závislosti na porostní směsi.	48
5.27	Graf zobrazující vývoj průměrné půdní vlhkosti v průběhu vegetačních sezón 2018 a 2019 v závislosti na porostní směsi.	49