

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra ekologie lesa**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Vliv druhové skladby stromového patra na mikroklima  
mediteránního lesa ve středním Španělsku**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Klára Lipavská**

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

**2024**



# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Klára Lipavská

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

**Vliv druhové skladby stromového patra na mikroklima mediteránního lesa ve středním Španělsku**

Název anglicky

**The effects of tree composition on microclimate of Mediterranean forests in central Spain**

---

### Cíle práce

V jižní Evropě hrají lesy klíčovou roli v omezování klimatických extrémů a pomáhají významně ochlazovat mikroklima během horkých letních měsíců. Stromové patro lesů rovněž pomáhá omezit negativní dopady globálního oteplování na mikroklima v podrostu, který je domovem většiny lesních organismů. Druhové složení stromového patra má významný vliv na fungování lesních ekosystémů a volba optimální druhové skladby může posílit mikroklimatické funkce lesů. Doposud však existuje jen málo empirických informací o tom, jak hlavní dřeviny mediteránního lesa ovlivňují mikroklima těchto lesů. Cílem bakalářské práce bude využít sítě trvalých výzkumných ploch v oblasti Alto Tajo ve středním Španělsku, kde dlouhodobě probíhají mikroklimatická měření, pro zjištění, jak hlavní druhy dřevin a jejich vzájemné kombinace ovlivňují teploty vzduchu, půdy a půdní vlhkosti v podrostu lesních porostů.

### Metodika

Měření budou prováděna pomocí mikroklimatických čidel TMS4 na síti ploch FunDivEUROPE (1 čidlo na plochu) v oblasti Alto Tajo ve středním Španělsku. Tyto plochy zahrnují hlavní dřeviny této oblasti: *Quercus ilex*, *Quercus faginea*, *Pinus nigra* a *Pinus sylvestris*, a to jak v monokulturách, tak i ve vzájemných, 1-4 druhových směsích. V rámci bakalářské práce budou výzkumné plochy navštíveny, zkontrolována a případně doinstalována čidla a stažena data.

Získaná data budou vyčištěna a analyzována v programu R pomocí balíčku PLOTer. V první fázi budou vy počítány 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, druhová bohatost a diverzita dřevin lesních porostů. Na základě těchto výsledků pak budou formulována praktická doporučení ohledně optimální druhové skladby lesů pro podporu mikroklimatických funkcí lesa.

Harmonogram

---

**Doporučený rozsah práce**

30 stran

**Klíčová slova**

mikroklima, druhová skladba lesa, klimatická změna, mediteránní les

**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.
- Haesen, S., Lembrechts, J. J., De Frenne, P., Lenoir, J., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Kopecký, M., Luoto, M., Maclean, I., Nijs, I., Niittynen, P., van den Hoogen, J., Arriga, N., Brůna, J., Buchmann, N., Čiliak, M., Collalti, A., De Lombaerde, E., Descombes, P., ... Van Meerbeek, K. (2021). ForestTemp – Sub-canopy microclimate temperatures of European forests. *Global Change Biology*, 27(23), 6307–6319.
- Lembrechts, J. J., van den Hoogen, J., Aalto, J., Ashcroft, M. B., De Frenne, P., Kemppinen, J., Kopecký, M., Luoto, M., Maclean, I. M. D., Crowther, T. W., Bailey, J. J., Haesen, S., Klimes, D. H., Niittynen, P., Scheffers, B. R., Van Meerbeek, K., Aartsma, P., Abdalaze, O., Abedi, M., ... Lenoir, J. (2022). Global maps of soil temperature. *Global Change Biology*, 28(9), 3110–3144.
- 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., Brosfokske, 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 understory 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.

květen–září 2023: sběr dat v terénu

květen–listopad 2023: studium literatury, formulace cílů, konzultace

září–prosinec 2023: analýzy dat, tvorba výsledků

leden–duben 2024: psaní práce, finalizace výsledků a textů



---

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra ekologie lesa

**Konzultant**

Ing. Soňa Knířová

Elektronicky schváleno dne 6. 9. 2023

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

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

**prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.**

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2024

1906

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: “Vliv druhové skladby stromového patra na mikroklima mediteránního lesa ve středním Španělsku“ vypracovala samostatně a citovala jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použila, a které jsem rovněž uvedla na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědoma, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědoma, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

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

V Praze dne 5.4.2024 Klára Lipavská

\_\_\_\_\_



## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala doc. Ing Radimovi Matulovi Ph.D. za vedení a cenné rady při zpracovávání této bakalářské práce, za trpělivost a jeho vstřícný přístup.

# Vliv druhové skladby stromového patra na mikroklima mediteránního lesa ve středním Španělsku

## Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá spojitostí mezi druhovou skladbou stromového patra a lokálním mikroklimatem. Výzkum probíhal na stálých zkusných plochách v mediteránním lesa ve Španělsku. Cílem práce je lépe pochopit vztahy mezi lesním ekosystémem, globální změnou klimatu a dílčími veličinami jako je půdní a vzdušná teplota a půdní vlhkost.

Data byla sbírána na 36 zkusných plochách, nacházejících se v přírodní rezervaci Alto Tajo, které spadají do mezinárodní sítě výzkumných ploch FunDiveEUROPE. Ve středním Španělsku jsou významnými dřevinami *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Pinus nigra* a *Pinus sylvestris*. V rámci těchto druhů dřevin jsme zkoumali jejich vliv na lesní mikroklima v různých druhových kombinacích. Měření byla prováděna pomocí TMS4 čidel. Čidla měřila teplotu půdy, teplotu vzduchu a půdní vlhkost v letech 2018 až 2022. Veškerá data byla zpracovávána v programu R.

Z výsledků vyplývá, že nejvyšší půdní i vzdušné teploty jsou v listnatých porostech, konkrétně v monokulturách *Quercus faginea* a *Quercus ilex*. Nejnižší teploty byly naměřeny v monokulturách *Pinus sylvestris*. Teplotně do extrémů nejméně dosahovaly porosty se třemi druhy dřevin, byly tedy nejpříznivější. Vícedruhové směsi měly nízkou vlhkost, což je pravděpodobně způsobeno zvýšenou konkurencí o vodu. Listnaté porosty byly nejsuššími, to může být způsobeno zvýšenou teplotou a propustností světla, která je zde větší než u směsí či jehličnatých porostů.

**Klíčová slova:** mikroklima, druhová skladba lesa, klimatická změna, mediteránní les

# The effects of tree composition on microclimate of Mediterranean forests in central Spain

## Abstract

This bachelor thesis deals with the connection between tree species composition and the local microclimate. The research was carried out in permanent plots of a Mediterranean forest in Spain. The aim of the work is to better understand the relationships between the forest ecosystem, global climate change and sub-variables such as soil and air temperature and soil moisture.

Data were collected in 36 plots located in the Alto Nature Reserve Alto Tajo, which belong to the international network of FunDiveEUROPE research plots. In central Spain, the important tree species are *Quercus faginea*, *Quercus ilex*, *Pinus nigra* and *Pinus sylvestris*. Within these tree species, we investigated their influence on forest microclimate in different species combinations. The measurements were carried out using TMS - 4 sensors. The sensors measured soil temperature, air temperature and soil moisture between 2018 and 2022. All data were processed in R.

The results show that the highest soil and air temperatures are in deciduous stands specifically in monocultures of *Quercus faginea* and *Quercus ilex*. The lowest temperatures were measured in *Pinus sylvestris* monocultures. Temperature extremes were least reached in stands with three tree species and were therefore the most favourable. The multi-species mixtures had low humidity, probably due to increased competition for water. Deciduous stands were the driest, this may be due to the increased temperature and light transmittance, which is greater here than in mixtures or conifer stands.

**Keywords:** microclimate, species composition of the forest, climate change, mediterranean forest



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Cíle práce</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Literární rešerše</b>	<b>18</b>
<b>3.1</b>	<b>Mikroklima lesa</b>	<b>18</b>
3.1.1	Faktory působící na mikroklima lesa	18
<b>3.2</b>	<b>Mediteránní les ve Španělsku</b>	<b>20</b>
3.2.1	Změna klimatu v mediteránním lese ve Španělsku	21
<b>3.3</b>	<b>Biodiverzita</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>Metodika</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Výběr ploch, přírodní poměry a klima</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Sběr dat</b>	<b>27</b>
4.2.1	Zpracování dat	28
4.2.2	TMS čidla	29
<b>5</b>	<b>Výsledky</b>	<b>31</b>
<b>5.1</b>	<b>Půdní vlhkost</b>	<b>31</b>
<b>5.2</b>	<b>Teplota T1</b>	<b>35</b>
<b>5.3</b>	<b>Teplota T2</b>	<b>39</b>
<b>5.4</b>	<b>Teplota T3</b>	<b>41</b>
<b>6</b>	<b>Diskuze</b>	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Půdní vlhkost</b>	<b>45</b>
<b>6.2</b>	<b>Půdní teplota T1 a T2</b>	<b>46</b>
<b>6.3</b>	<b>Vzdušná teplota T3</b>	<b>46</b>
<b>7</b>	<b>Závěr</b>	<b>48</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použitých zdrojů</b>	<b>49</b>

## Seznam obrázků, tabulek a grafů

### Obrázky:

Obrázek 1 Poloha výzkumných oblastí projektu FunDivEUROPE (Beaten et al., 2013) .....	23
Obrázek 2 Ráz krajiny v přírodní rezervaci Alto Tajo (Foto: autor) .....	24
Obrázek 3 Označená oblast znázorňuje plochu přírodní rezervace Alto Tajo (Zdroj: Mapy.cz) .....	26
Obrázek 4 Ilustrační foto čidla TMS-4 a jeho aplikace v terénu (Zdroj: TOMST.com) .....	28
Obrázek 5 Popis čidla TMS-4 (Zdroj: TOMST.com) .....	30
Obrázek 6 Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu.....	31
Obrázek 7 Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé směsi dřevin. ....	32
Obrázek 8 Průměrné hodnoty půdní vlhkosti v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na dané ploše.....	33
Obrázek 9 Průběh půdní vlhkosti v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – Pinus nigra, PINS – Pinus sylvestris, QUEF – Quercus faginea, QUEI – Quercus ilex).....	33
Obrázek 10 Průměrné hodnoty půdní vlhkosti v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů (SR) na ploše.....	34
Obrázek 11 Průběh teploty T1 v čase pro jednotlivé kombinace počtu stromů (SR) na plochu. .....	35
Obrázek 12 Průběh teploty T1 v čase pro jednotlivé směsi dřevin.....	36
Obrázek 13 Průměrná teplota T1 pro plochy s různým počtem druhů (SR) na ploše.....	36
Obrázek 14 Průběh teploty T1 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – Pinus nigra, PINS – Pinus sylvestris, QUEF – Quercus faginea, QUEI – Quercus ilex) .....	37
Obrázek 15 Průměrné hodnoty teploty T1 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů (SR) na ploše.....	38
Obrázek 16 Průběh teploty T2 v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu. ....	39
Obrázek 17 Průběh teploty T2 v čase pro jednotlivé směsi dřevin.....	39
Obrázek 18 Průměrná teplota T2 pro plochy s různým počtem druhů stromů (SR) na ploše. .40	
Obrázek 19 Průběh teploty T2 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – Pinus nigra, PINS – Pinus sylvestris, QUEF – Quercus faginea, QUEI – Quercus ilex) .....	40

Obrázek 20 Průměrné hodnoty teploty T2 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na ploše. ....	41
Obrázek 21 Průběh teploty T3 v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu. ....	42
Obrázek 22 Průběh teploty T3 v čase pro jednotlivé směsi dřevin. ....	42
Obrázek 23 Průměrná teplota T3 pro plochy s různým počtem druhů stromů (SR) na ploše. ....	43
Obrázek 24 Průběh teploty T3 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – Pinus nigra, PINS – Pinus sylvestris, QUEF – Quercus faginea, QUEI – Quercus ilex) .....	43
Obrázek 25 Průměrné hodnoty teploty T3 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na ploše. ....	44

### **Tabulky:**

Tabulka 1 Soupis zkusných ploch s jejich číselným označením, nadmořskou výškou, druhovou skladbou (PINN – Pinus nigra, PINS – Pinus sylvestris, QUEF – Quercus faginea, QUEI – Quercus ilex), a druhovou bohatostí – SR – species richness (počet druhů dřevin na plochu). 25

### **Seznam použitých zkratk**

CBD – Convention on Biological Diversity – Úmluva o biologické rozmanitosti

FunDivEUROPE – Functional Significance of Forest Biodiversity in Europe - – funkční význam biologické rozmanitosti lesů v Evropě

IPCC – intergovernmental panel on climate change – mezinárodní ústav změny klimatu

LAI – Leaf area index – index listové plochy

PINS – Pinus sylvestris – borovice lesní

PINN – Pinus nigra – borovice černá

QUEF – Quercus faginea – dub portugalský

QUEI – Quercus ilex – dub cesmínový

TMS – Temperature Measurement System – systém pro měření teploty

# 1 Úvod

Problematika globální klimatické změny je v posledních několika desetiletích často diskutovaný a zmiňovaný pojem. Týká se rozsáhlých témat nevyjímaje lesní ekosystémy. Vliv, který na ně má je nemalý a v průběhu času se potýkáme se spoustou změn, které nastávají rychleji než se jim lesy stačí přizpůsobovat. To pro lesnictví může znamenat problémy, jako jsou dlouhotrvající období sucha nebo extrémní teploty. Lesy se pak stávají náchylnějšími na jiné škodlivé faktory (Fleischer et al., 2005).

Větší znalost o fungování lesní ekosystémů a jejich reakcí na globální změnu klimatu nám může v budoucnu pomoci umět lépe hospodařit s lesy. Při správné strategii v hospodaření můžeme předejít negativním dopadům této změny, nebo alespoň jejich zmírnění. Patří k tomu mimo jiné správný výběr struktury porostu, který napomáhá ke správnému vodnímu režimu, regulaci teploty a ochraně mladších jedinců v podrostu (Aussenac, 2000).

Výzkumy týkající se klimatické změny a provázání mikroklimatu s druhovou skladbou dřevin v porostu, nebyly často tak přesné, protože data, která pro ně byla sbírána pocházela z meteorologických stanic, kde veličiny jako jsou teplota a vlhkost byly měřeny v otevřeném prostoru a ve vysokých výškách. Prostředí tedy neodpovídalo lesnímu ekosystému a data byla pouze přibližná a mohli jsme na nich pozorovat jen změnu klimatu, a nikoliv jeho vliv. V lese působí na mikroklima spousta jiných faktorů, jako je korunový zápoj, struktura stromového patra a koloběh vody (Zellweger et al., 2020). Pro výsledky, které budou přesnými ukazateli mikroklimatu a faktorů, které ho ovlivňují, musíme data získávat přímo v lesních porostech (Lembrechts et al., 2020).

Tato bakalářská práce má za cíl blíže pochopit jakým způsobem druhové složení stromového patra ovlivňuje lokální mikroklima v podrostu mediteránního lesa. Doposud máme pouze málo empirických informací o vzájemném působení činitelů jako je půdní a vzdušná teplota, půdní vlhkost a druhová skladba, proto jsme využili ke zkoumání vlivu druhové skladby na mikroklima v mediteránním lese, síť trvalých ploch ve středním Španělsku, kde dlouhodobě probíhají mikroklimatická měření.



## 2 Cíle práce

Tato bakalářská práce je zaměřena na zkoumání vlivu hlavních druhů dřevin a jejich kombinací na lokální mikroklima na zkusných plochách v mediteránních lesích středního Španělska v přírodní rezervaci Alto Tajo. Výzkum byl soustředěn na hlavní dřeviny, které měly dominantní zastoupení v těchto lesích a jsou pro ně charakteristické, konkrétně na borovici černou (*Pinus nigra* Arn.), borovici lesní (*Pinus sylvestris* L.), dub cesmínový (*Quercus ilex* L.) a dub portugalský (*Quercus faginea* Lam.)

Hlavním cílem bylo zjistit, jak tyto druhy a jejich kombinace (smíšené lesy či monokultury, listnaté lesy či jehličnaté) ovlivňují teplotu půdy, teplotu vzduchu a půdní vlhkost. Měření mikroklimatu probíhalo v letech 2018–2022 na 36 zkusných plochách a odlišných lokalitách ve středním Španělsku, které jsou součástí mezinárodní platformy FundivEUROPE.

## 3 Literární řešerše

### 3.1 Mikroklima lesa

Mikroklima je možné popsat jako soubor klimatických jevů, dějících se v lokalizované oblasti u zemského povrchu v daný čas nebo periodu (Geiger, 1965).

Mikroklima silně ovlivňuje biologické a ekologické procesy jako je koloběh živin, obnovu a vitalitu dřevin, jejich zdravotní stav a primární produkci. To se úzce týká i následovného zadržování uhlíku a jeho ukládání v půdě (Chen et al., 1999; Porté et al., 2004; De Frenne et al., 2021). Bylo zjištěno, že klimatické gradienty na okraji a uvnitř lesa jsou hnací silou k ukládání uhlíku, například v lesích mírného pásma byl zjištěn mnohem větší obsah uhlíku na okrajích lesa, než uvnitř (De Frenne et al., 2021; Meeussen et al., 2021). Je otázkou, zda právě mikroklima řídí lokální procesy, nebo je důsledkem procesů, na které rostliny dále reagují (De Frenne et al., 2021). S jistotou ale můžeme říct, že mikroklima je velice složitě propojené skrze různé faktory a důležité nejen pro lesní ekosystémy, ale i pro celou škálu dalších ekosystémů.

#### 3.1.1 Faktory působící na mikroklima lesa

Na mikroklima nejvíce působí následující faktory: srážky, sluneční záření, teplota vzduchu a půdy, vzdušná a půdní vlhkost, vítr. Vlhkost a zadržování srážek s ní spojené, závisí na vegetačním zákrytu, zejména na tom stromovém (Aussenac, 2000). Každý z faktorů ovlivňující mikroklima vzájemně působí i na další faktory a tím se stávají na sobě závislé a provázané. Lze změnit pouze jednu proměnnou z dílčích faktorů a ovlivníme tím veškeré hodnoty těch dalších. Proto je důležité si jejich návaznost uvědomit, a brát v potaz. Vegetační kryt tedy modifikuje nejen vlhkost a srážky dopadající na zem, ale také tlumí dopad slunečního záření, reguluje rychlost větru a na místech s vyšším zákrytem snižuje tepelnou zátěž. Tímto způsobem vegetační kryt tvoří lokace, kde jsou extrémní teplotní výkyvy redukovány a v porovnání s otevřenými stanovišti jsou zde podmínky mírnější a přijatelnější. Lesní mikroklima je avšak velice proměnlivým faktorem (Wang et al., 2015; Lembrechts et al., 2020). Jak bylo výše řečeno, vliv na něj má spousta faktorů a stačí málo a lze ho kompletně přeměnit.

Síly působící na změnu klimatu mohou být dvojího rázu, a to horizontálního či vertikálního. K horizontálním patří vzájemné působení vodní bilance, půdy, orientace svahu a topografie krajiny. Dle studie Zellweger et al. (2019) platí, že čím více je topograficky rozmanitá krajina, tím více jsou různorodé mikroklimatické podmínky. Díky tomu je

pravidlem, že je více rozmanitá i druhová skladba rostlin a hmyzu. Na stanovištích pozorujeme horizontální vliv na mikroklima v kontinentálním i globálním měřítku. Například u okrajů lesa je zvýšený vliv větru a slunečního záření a kontinentálně lze lišit i oblasti blíže či dále od pobřeží a hor. V globálním měřítku se mikroklima liší v různých zeměpisných šířkách, protože v oblasti tropických lesů je regulace extrémních teplot mnohem vyšší než v boreálním lese (De Frenne. et al., 2021). Mezi zásadní, mikroklima vertikálně ovlivňující faktory, patří vertikální teplotní gradient. V závislosti na něm je ovlivněna struktura lesa a jeho diverzita, která se mění zejména dle vegetace – korunovým zápojem, intenzitou vegetace a větrnými turbulencemi (Lembrechts et al., 2020; De Frenne et al., 2021). Bylo několikrát prokázáno, že teploty v korunách stromů jsou obecně nižší v létě a vyšší v zimě (Aussenac, 2000; Valladares, 2017; Zellweger et al., 2019; Thom et al., 2020; Haesen et al., 2021). Během slunečných dnů na jaře a v létě je krátkovlnné sluneční záření odráženo korunovým zápojem. To úzce souvisí s evapotranspirací. Proto během dne zaznamenáváme nejvyšší teplotu v horních částech stromu, kde je teplo ze slunečního záření zachyceno a koncentrováno. Na druhou stranu v zimě působí jako izolant tepla při dlouhovlnném slunečním záření. Podle Davise et al. (2019) se evapotranspirační ochlazování při nedostatku vody snižuje. Korunový zápojem má obrovský vliv na teploty v porostech. Velké a náhlé zásahy v lesních porostech, jako jsou třeba disturbance nebo prořezávky (přírozené i umělé zásahy), snižují schopnost porostu vypořádávat se s lokálními dopady oteplování makroklimatu a tím negativně ovlivnit dynamiku a funkčnost lesní biodiverzity. Aussenac, 2000; Zellweger et al., 2019; Thom et al., 2020). Autoři De Frenne et al. (2013) nebo Zellweger et al. (2020) dokázali, že termofilizace v lesích s hustým korunovým zápojem, je značně utlumena.

Vliv stromů na mikroklima u konkrétního porostu se liší v závislosti na druhovém složení a v rámci druhové skladby závisí na věku porostu (Porté et al., 2004; Zellweger et al., 2019). Věkově mladší a hustší porosty mají tendenci mít nižší povrchové teploty půdy než starší a řidší porosty (Aussenac, 2000; De Frenne et al., 2021). Nicméně největší nárazový efekt, tj. změny teploty v podkorunovém prostoru oproti teplotám vzduchu volně se vyskytujícími, přinášejí dospělé porosty s uzavřeným korunovým zápojem a vysokým indexem listové plochy (Aussenac, 2000).

Index listové plochy (LAI), který je definován jako polovina plochy listů na jednotku půdorysné plochy, je veličina, která je využívána k posuzování množství světla v podrostu a ve velké míře ovlivňuje mikroklimatické podmínky v této oblasti. Ty ovlivňují obnovu lesa a prosperitu dřevinných druhů. Aussenac (2000) Jedná se o dynamickou veličinu, která je závislá na ročním období a biologických faktorech, potenciální dostupnosti vody, živinách

v půdě a celkovému zdravotnímu stavu dřevin. Existuje několik dalších parametrů pro přesnější prezentaci, jako je otevřenost korunového zápoje – podíl plochy, která je při pohledu z jednoho místa zakrytá a nelze vidět na oblohu (Gonsamo et al., 2013).

Dalším významným mikroklimatickým parametrem a důležitým faktorem je vlhkost půdy. Hustota korunového zápoje a vlhkost půdy jsou mezi sebou částečně provázány. Lesy s velkým korunovým zápojem transpirují více vody a tím rychleji vyčerpávají půdní vlhkost. U porostů s nízkým nebo vůbec žádným korunovým zápojem je tomu naopak (Aussenac, 2000). Z hlediska rozmanitosti struktury porostů bylo prokázáno, že horizontální heterogenita půdní vlhkosti je větší ve smíšených porostech, nežli u monokultur (Schume et al., 2004).

Charakter a hustota korunového zápoje porostu ovlivňuje také teplotu půdy. Teplota půdy je důležitou proměnou pro definování mnoha ekosystémových funkcí, jako je evapotranspirace, provzdušnění půdy, růst kořenů, dekompozici nebo rozklad (Lembrechts et al., 2020). Na půdu je mimo jiné úzce vázáno spousta organismů – houby, půdní mikroorganismy atd. Obecně platí, že půda v lesním porostu je stejně jako teplota vzduchu v létě chladnější a v zimě teplejší než na volné ploše (Aussenac, 2000). Tím se opět jako u teploty vzduchu vyhýbáme teplotním extrémům půdy.

### **3.2 Mediteránní les ve Španělsku**

Ve srovnání s jinými typy podnebí představují oblasti mediteránního lesa relativně malý podíl kontinentálních oblastí, a navíc se jeví jako rozptýlené v oblastech severní a jižní polokoule (Gil-Pelegrín et al., 2017).

Mediteránní – středomořské klima zahrnuje podtypy se společnými vlastnostmi, jako jsou suchá horká léta a mírné chladné zimy (Lionello et al., 2006). Rozmanitost teplotních extrémů vytváří složitou mozaiku prostředí a vysokou biologickou rozmanitost (Gil-Pelegrín et al., 2017). Například Basin Hotspot ve středomoří je třetím nejbohatším místem, co se týče rozmanitosti rostlin na světě (Mittermeier et al., 2004). Ve středomořských lesích je menší stromová diverzita než v lesích tropických, ale i přesto jsou tvořeny značnou funkční rozmanitostí, například v rámci fotosyntetické kapacity, produktivity, světelné náročnosti, nebo citlivosti na sucho (Grossiord et al., 2015).

Přeměna přirozené vegetace na kulturní a městské plochy, odlišná intenzita při využívání půdy, nebo opouštění dané plochy v důsledku socioekonomické změny, všemi těmito způsoby zasahuje člověk do přirozeného chodu přírody a mění tím celý ráz krajiny, včetně snižování biodiverzity (Valladares et al., 2013). Mezi další antropogenní činitele ohrožující tento biom patří rozvoj infrastruktury vyvolaný turistickým průmyslem a tlak na

omezené vodní zdroje. To vede k izolovanosti populací a jejich sníženému šíření (Mittermeier et al., 2004; Cuttelod et al., 2008; Valladares, 2004; Valladares et al., 2013; Gil-Pelegrín et al., 2017).

### 3.2.1 Změna klimatu v mediteránním lese ve Španělsku

Vzhledem k probíhajícím globálním změnám klimatu byl v poslední době značně studován dopad měnících se podmínek prostředí na středomořské ekosystémy (např. Martínez-Vilalta a Piñol, 2002; Peñuelas a Boada, 2003; García-Ruiz a kol., 2011; Valladares, 2017). Obecně se očekává, že v průběhu následujících let se středomořské klima oteplí a bude sušší než dříve. To se nejvíce projeví zvýšením evapotranspirace a snížením dostupnosti vody pro rostliny (Christensen et al., 2007; Valladares et al., 2013). Vlny extrémních veder budou častější a tím se zvýší rizika požárů (Valladares et al., 2013).

V mediteránním lese stromy soupeří o dva velice důležité zdroje ke svému přežití – světlo a vodu (Poorter et al., 2012; Carnicer et al., 2014). Bylo zjištěno, že strategie komplementarity využívání světla podporuje zvýšení produktivity smíšených lesů (De Cáceres et al., 2021), ale zvýšená konkurence o vodu může tento efekt snižovat (Jucker et al., 2014a).

Dominantní druhy dřevin, borovice a duby, své strategie přizpůsobily prostředí, a proto se očekává, že jejich vývojová adaptace na globální změnu klimatu bude odlišná (Poorter et al., 2012). Rostoucí zastínění může vést ke snížení prostorové heterogenity světla, a tedy postupnému zániku světelně náročných keřových společenstev (Valladares et al., 2004). To může mít značný dopad na přirozenou obnovu lesa, protože fotoinhibice a sucho mohou být ve stínu silnější.

Na Pyrenejském poloostrově již byly zaznamenány výškové posuny lesních typů (Peñuelas a Boada, 2003; Jump a kol., 2006). S tím souvisí i zvyšující se teplota a větší sucho, které koreluje s úbytkem lesů a mortalitou stromů (Carnicer et al., 2011). Zdá se však, že změna klimatu se zde nejvíce podepisuje na stromech rodu *Pinus*. Dle studie, provedené v lesích Španělska, jsou sucho a voda fatálním faktorem pro druhy *Pinus* (Galiano et al., 2010; Poorter et al., 2012). Zvýšená mortalita borovic při vysokých teplotách může být způsobena uzavřením stomat, které zabraňují hydraulickému selhání a následnému nedostatku uhlíku, protože uhlík je odčerpáván rychleji při ztíženém dýchání (RuizBenito et al. 2013). U dubů není reakce na sucho a teplo tak závažná z pohledu uzavírání stomat, ale odumírají kvůli nedostatku vody jako takové. V předešlých letech byla ve Španělsku pozorována zvýšená mortalita u horských populací druhů *Pinus nigra* a *Pinus sylvestris* způsobená suchem

(Galiano, Martínez-Vilalta a Lloret, 2010; Grossiord et al., 2015). To potvrzuje výsledky ve výzkumu Martínez-Vilalta a Piñol (2002). Podle Garcíi-Valdése et al. (2015) máme při těchto klimatických změnách očekávat zvýšený výskyt jehličnanů, ale když vezmeme v potaz další prokázané výsledky, bude toto klima spíše v prospěch širokolistým druhům, který je právě ve Španělsku *Quercus ilex*. Ten prokazatelně v těchto podmínkách negativně ovlivňuje prosperitu druhů rodu *Pinus* (Carnicer et al., 2014).

### 3.3 Biodiverzita

Diverzita je definována jako variabilita živých organismů ze všech oblastí, včetně suchozemských, mořských a jiných vodních ekosystémů jejichž jsou součástí (CBD, 1992). Zahrnuje rozmanitost v rámci druhů, mezi druhy a jejich stanovišti. Biologická rozmanitost není pouze výsledkem interakce mezi druhy, nebo podmínkami prostředí, ale je opakovaně prokázáno, že biodiverzita je do jisté míry ovlivněná fungováním celých ekosystémů (Naeem, 2002; Cardinale et al., 2012).

Většina ekosystémů se potýká s lidskou činností, která je ovlivňuje a narušuje. To má za následek úbytek druhového bohatství (IPCC, 2022). S ohledem na tuto alarmující hrozbu se v posledních desítkách let v ekologickém výzkumu věnuje stále větší pozornost na vliv lidské činnosti na biologickou rozmanitost a fungování ekosystémů (např. Naeem, 2002; Hooper et al., 2005, 2012). Podle Baetena et al. (2013), ranné experimenty postrádaly biologické a environmentální komplexnost a byly prováděny především na travnatých plochách, nikoliv v lesních ekosystémech. Naopak nedávné studie ukázaly, že napříč ekosystémy, převažují ty druhově bohaté. Tak to platí i u ekosystémů lesních (Cardinale et al., 2012; Jucker et al., 2014a). Druhově pestré porosty jsou produktivnější, co se týče růstu a nadzemní biomasy (Jucker et al., 2014a; Baeten et al., 2019). To se ukázalo dlouhodobě v čase výhodné. Porost se stává stabilnější a odolnější vůči negativním faktorům, jako jsou například disturbance a jiné zásahy (Jucker et al., 2014b). U monokultur je tomu naopak. Kromě stability a produkce mají tyto druhově pestré lesy další velkou výhodu, a tou je zachytávání uhlíku. Stromy v těchto porostech nadměrně zachytávají uhlík do svých nadzemních i podzemních částí. Dále lépe recyklují živiny, vykazují menší četnost škůdců a obecně poskytují útočiště větší škále živočichů a rostlin (Cardinale et al., 2012). Nicméně vzhledem k tomu, jak složité, propletené a pestré lesní ekosystémy jsou, máme zatím pouze okrajovou představu toho, jak asi fungují.

## 4 Metodika

Výzkum probíhal na 36 výzkumných plochách. Zkusné plochy, byly situovány v mediteránním smíšeném lese v přírodním parku Alto Tajo. Tento výzkum je součástí sítě ploch FunDivEurope (Baeten et al., 2013). Instalace čidel proběhla na konci roku 2017. V této bakalářské práci bylo pracováno s daty od roku 2018 až 2022. Projekt se zabývá hodnocením významu funkční biodiverzity lesů v celé Evropě (Baeten et al., 2013; Jucker et al., 2014a). Zkusné plochy byly založeny dohromady v 6 zemích (Finsko, Německo, Polsko, Rumunsko, Itálie, Španělsko). Plochy díky svému rozmístění pokrývají velkou část klimatického gradientu a zahrnují evropské lesní typy, jako je boreální les, hemiboreální les, bukové lesy, horské bučiny, teplomilné listnaté lesy a mediteránní lesy (Baeten et al., 2013; Jucker et al., 2014a). Veškeré plochy byly zakládány ve vyspělých porostech a probíhalo na nich pouze omezené množství prořezávek a jiných hospodářských zásahů (Baeten et al., 2013; Jucker et al., 2014a).



Obrázek 1 Poloha výzkumných oblastí projektu FunDivEUROPE (Baeten et al., 2013)

## 4.1 Výběr ploch, přírodní poměry a klima

Jak již bylo výše řečeno, oblast výběru ploch byla v oblasti Národního parku Alto Tajo ve středním Španělsku (Obr. 2.). Nachází se mezi jihovýchodní Guadalajarou a severovýchodní Cuencou. Alto Tajo je park rozprostírající se podél pohoří Sistema Ibérico s nadmořskou výškou od 960 m.n.m. do 1400 m.n.m. Ráz krajiny je velmi členitý a různorodý. K diverzitě nemalým podílem přispívají i podmínky kolem řeky Tajo, která stejnojmenným kaňonem v oblasti Národního parku protéká. K dalším důležitým rysům této oblasti patří soutěsky a terasy, rozsedliny a monolity. Značnou převahu ve výskytu zde má půdní typ kambizem na vápencovém podloží. S ohledem na mocnost půdy (20-40 cm) mohou kořeny prorůstat mnohem hlouběji skrze rozpukané horniny, jak tomu je často u borovic (Peñuelas and Filella (2003)).

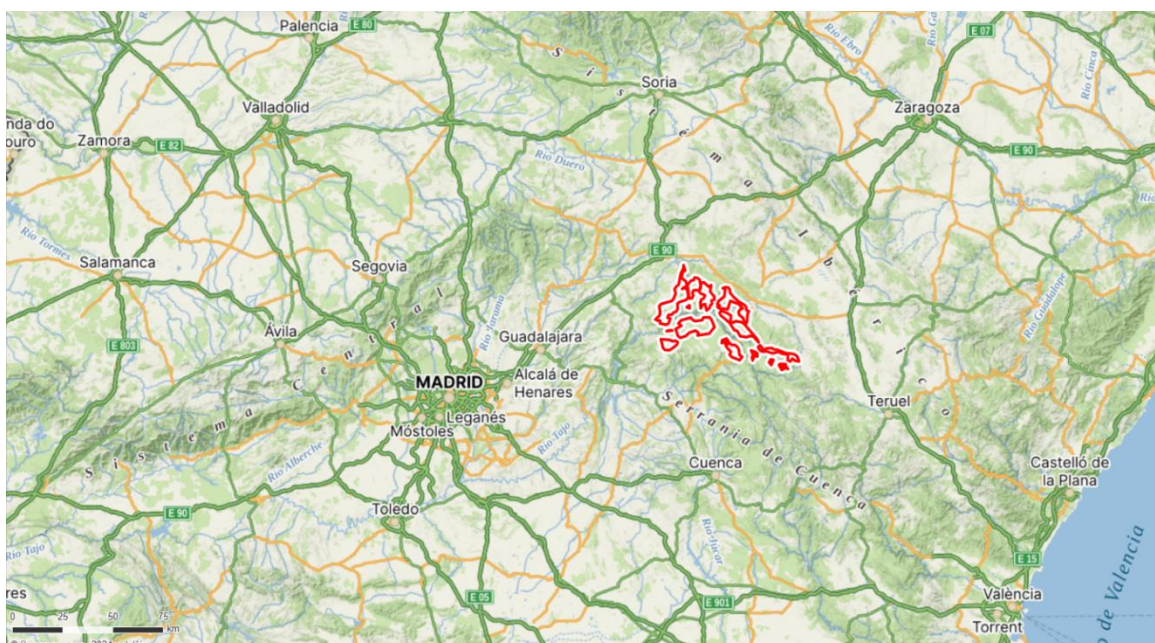


*Obrázek 2 Ráz krajiny v přírodní rezervaci Alto Tajo (Foto: autor)*



Tabulka 1 Soupis zkusných ploch s jejich číselným označením, nadmořskou výškou, druhovou skladbou (PINN – *Pinus nigra*, PINS – *Pinus sylvestris*, QUEF – *Quercus faginea*, QUEI – *Quercus ilex*), a druhovou bohatostí – SR – species richness (počet druhů dřevin na plochu).

Plocha	Nadmořská výška m.n.m.	Druhová skladba	SR	Typ	Souřadnice x	Souřadnice y
1	1224	PINS.QUEF	2	smíšený	40,659	2,270
2	1238	PINS.QUEF.PINN	3	smíšený	40,660	2,274
3	1228	QUEF.PINN	2	smíšený	40,663	2,279
4	1286	PINS.QUEF	2	smíšený	40,664	2,276
5	1290	PINS.QUEF	2	smíšený	40,665	2,278
6	1306	QUEF.PINN	2	smíšený	40,664	2,281
7	1291	PINS.PINN	2	jehličnatý	40,668	2,276
8	1207	QUEF.PINN	2	smíšený	40,667	2,288
9	1211	QUEF	1	listnatý	40,668	2,293
10	1270	QUEF	1	listnatý	40,667	2,293
11	1187	QUEF	1	listnatý	40,666	2,294
12	1073	PINN	1	jehličnatý	40,766	2,326
13	1010	QUEF.QUEI.PINN	3	smíšený	40,776	2,328
14	999	QUEI.PINN	2	smíšený	40,778	2,329
15	980	PINN	1	jehličnatý	40,780	2,330
16	1032	QUEI.PINN	2	smíšený	40,782	2,330
17	960	PINN	1	jehličnatý	40,783	2,331
18	1403	PINS	1	jehličnatý	40,682	2,165
19	1310	PINS	1	jehličnatý	40,698	2,138
20	1311	PINS	1	jehličnatý	40,699	2,132
21	1404	PINS.PINN	2	jehličnatý	40,712	2,123
22	1325	PINS.PINN	2	jehličnatý	40,722	2,113
23	1388	PINS.PINN	2	jehličnatý	40,724	2,121
24	1377	PINS.QUEF.QUEI.PINN	4	smíšený	40,679	1,949
25	1314	PINS.QUEF.PINN	3	smíšený	40,678	1,949
26	1387	PINS.QUEF.QUEI.PINN	4	smíšený	40,678	1,949
27	1322	QUEF.QUEI.PINN	3	smíšený	40,677	1,950
28	1360	QUEF.QUEI	2	listnatý	40,672	1,931
29	1354	PINS.QUEF.QUEI.PINN	4	smíšený	40,673	2,929
31	1342	QUEF.QUEI	2	listnatý	40,674	2,919
32	1236	QUEI	1	listnatý	40,816	2,214
33	1251	QUEI	1	listnatý	40,814	2,212
34	1250	QUEF.QUEI	2	listnatý	40,814	2,208
35	1267	QUEI.PINN	2	smíšený	40,817	2,121
36	1211	QUEI.PINN	2	smíšený	40,814	2,218



Obrázek 3 Označená oblast znázorňuje plochu přírodní rezervace Alto Tajo (Zdroj: Mapy.cz)

Nadmořská výška a tok řeky Alto Tajo ve vnitrozemí poloostrova ovlivňuje jeho klimatické charakteristiky. Oblast má mírné teploty a srážky s kontinentálním vlivem v rámci středomořského prostředí. Většina území má supramediterránní bioklima s výjimkou nižších oblastí, kde se vyskytuje mezomediterránní klima. Nad 1 500-1 600 m n. m. přechází do oromediterránního pásma. Zimy jsou chladné, s nejnižšími teplotami v prosinci a lednu. Léta jsou krátká a mírná, s nejvyššími teplotami v červenci, nepřesahujícími 20 °C.

Srážky v oblasti jsou ve srovnání s jinými regiony s podobnou orografií relativně vzácné, což je způsobeno postupným úbytkem srážek od západu k východu v důsledku degradace atlantických proudů. Nejdeštivějším obdobím je jaro (květen a červen), zatímco nejsušší jsou červenec a srpen. Převládající klima v oblasti je subhumidní, v některých oblastech s nižšími polohami humidní. Tato klimatická variabilita, kombinovaná s dalšími zdroji ekologické variability, jako je charakter podloží a expozice, je příčinou velké rozmanitosti rostlinných formací v této oblasti (Ferrero et al., 2006)

Diverzita se projevuje například u rostlinné vegetace. Najdeme zde celou škálu rostlin typickou pro jižní část Španělska. V oblasti se setkávají vápencové a křemičité varianty krajiny. Zde najdeme různé druhy rostlin, které se přizpůsobily od suchého prostředí až po vlhčí oblast, včetně horských oblastí se subhumidním klimatem. Přírodní rezervaci Alto Tajo

se říká malá oblast s velkým přínosem. Za důvod tomu jsou výjimečné oblasti se specifickým mikroklimatem, kde můžeme nalézt významné druhy rostlin a dřevin pro biodiverzitu.

Kolem řeky Alto Tajo rozlišujeme několik typů krajiny: teplomilná zóna na západě, centrální oblast s vřesovišti, severní zalesněná zóna, křemité výchozy na jihovýchodě, vysokohorská oblast na jihu a fluviální kaňony (Ferrero et al., 2006).

Zkusné plochy, kterých bylo dohromady 36, měly rozměry 30 x 30 m. Na plochách se nachází od jednodruhových až po čtyřdruhové směsi dřevin. Celková rozloha měřila 50 x 50 km (Baeten et al., 2013).

## 4.2 Sběr dat

Stahování naměřených dat pro bakalářskou práci z čidel TMS4 probíhalo v březnu roku 2023. Pomocí souřadnic byly nalezeny jednotlivé plochy označené červenými kolíky v každém rohu. Po nalezení zkusné plochy byla pomocí adaptéru TMD přenesena data do tabletu či notebooku s připraveným programem Lolly Manager od společnosti TOMST. Konektor u čidla byl k dosažení po sejmutí ochranného plastového kloboučku. Po stažení byla vidět vyobrazená data (teplota a vlhkost) v grafu, tím lze provést prvotní kontrolu čidla a úspěšnost stahování dat. Stahování dat je rychlé, trvá přibližně několik desítek vteřin až minuty, záleží na velikosti souboru. Když byla úspěšně získána potřebná data z čidla, zkontrolovala se i mechanická poškození a stav zvenčí. Docházelo zde k povysunutí spodní části čidla ven z půdy, nebo k úplnému vytažení. Na více plochách docházelo k výměně plastového ochranného kloboučku. K obměně čidel docházelo minimálně, a i v těchto případech jsme z poškozených čidel data dokázali získat.



*Obrázek 4 Ilustrační foto čidla TMS-4 a jeho aplikace v terénu (Zdroj: TOMST.com)*

#### **4.2.1 Zpracování dat**

Stažená data se separovali od těch, která byly chybná a pro bakalářskou práci by se využít nedala. Jak už bylo v kapitole výše řečeno, poškození čidel a následovné znehodnocení dat bývá nejčastěji způsobeno zvěří. Při velkém poškození se do čidel dostane voda a data se stávají zcela nečitelnými. Z tohoto důvodu je důležité, aby prvním krokem byla kontrola dat a odstranění chybných měření.

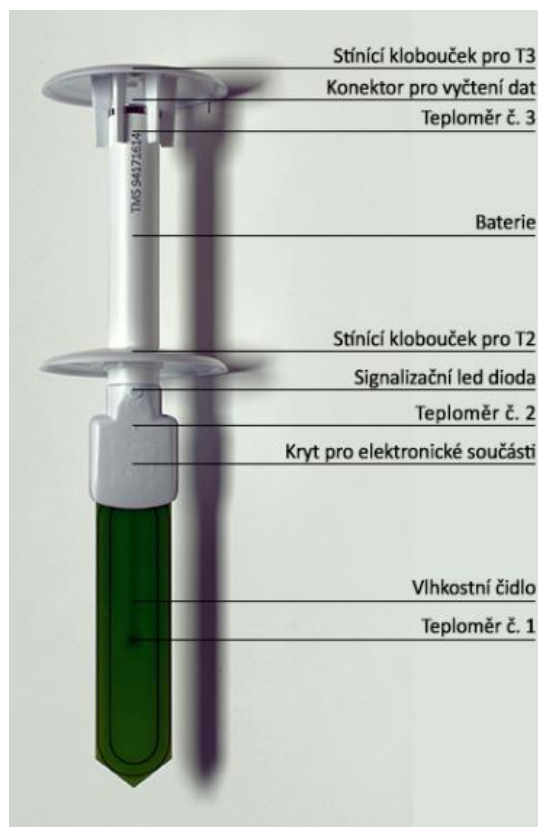
Základem analýzy dat byly nafitované zobecněné aditivní modely (GAM), jejich výsledky byly zobrazeny v závislosti na čase nebo na složení druhů v grafech pomocí balíčku ggplot2. Sledované veličiny byly: půdní vlhkost, půdní teplota 10 cm pod povrchem, teplota 2 cm pod povrchem a teplota 15 cm nad povrchem. Křivky v grafech reprezentují nafitované modely. Výsledky jsou vyobrazené pro čtyři roky 2018, 2019, 2020, 2022 Rok 2021 byl vynechán z důvodu zkreslení dat.

Rozdíly v mikroklimatických proměnných v závislosti na druhovém složení a druhové bohatosti byly vyhodnoceny pomocí lineárních modelů v programu R. Výsledky pak byly zobrazeny v grafech pomocí balíčku ggplot2.

#### 4.2.2 TMS čidla

K získávání dat pro výzkum byly použity datalogery TMS – v angličtině Temperature Measurement System. Z jejich měření získáváme údaje o teplotě a vlhkosti. Čidla byla navržena společností TOMST, která vznikla v Česku roku 1995 a zaměřuje se na výrobu elektronických zařízení na bázi iButton čipů.

Pro naše měření byl využíván konkrétně model TMS4. Čidlo je složeno ze dvou částí – podzemní a nadzemní. Nadzemní část dosahuje patnácti centimetrů a umožňuje nám tak získávat informace o teplotě, které jsou výškově blízko rostlinám. Tento snímač je označený jako T3. Na vrchní části je plastový klobouček, který slouží jako ochrana proti mechanickému poškození a slunečnímu záření, které by mohlo výsledky ovlivnit. Na vrchní části pod kloboučkem se nachází konektor, skrze který se data z čidla stahují. Uvnitř jsou vysokokapacitní lithiové články – baterie – které dokážou vydržet až 10 let bez vymazávání paměti či umazávání dat (Wild et al., 2019). Pod kloboučkem se nachází tělo čidla oválného tvaru, v kterém je baterie uložena. Snímač teploty T2 je umístěn na úrovni povrchu nebo lehce pod úrovní, asi 2 cm. Nad snímačem T2 je druhý klobouček, který nejen zabraňuje poškození, ale také nám určuje hloubku zaboření čidla do země. Vrchní i spodní část čidla jsou propojeny kabely s ochranou vrstvou proti mechanickému poškození a vodě. Podzemní část má tvar obdélníkové placky s hrotem na konci. Touto platformou se čidlo zaboří opatrně do země, aby nedošlo k poškození či zlomení. Čidlo by mělo směřovat kolmo k zemi. Data tím budou co nejméně zkreslena a dají se lépe porovnávat. Poslední senzor T1 je na této placičce a snímá teplotu i půdní vlhkost v hloubce 10 cm pod povrchem



Obrázek 5 Popis čidla TMS-4 (Zdroj: TOMST.com)

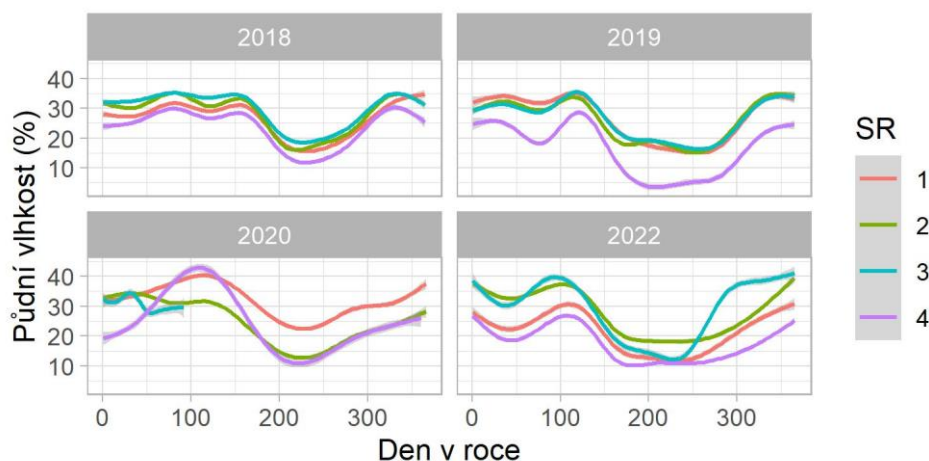
Jak již bylo výše řečeno, TMS čidla mají vysokokapacitní baterie a velkou paměť. V běžných podmínkách vydrží až 10 let. Senzory na čidle zaznamenávají hodnoty každých 15 minut. Při této periodě je paměť dostatečná až pro 524 288 měření. Perioda měření se může nastavit. Čidlo je vhodné do terénů, protože je zcela samostatné a nezávislé na údržbě. Ačkoliv je čidlo odolné, je lepší provádět pravidelné kontroly. Nejčastějším faktorem poškození čidla je zvěř, proto v některých lokalitách můžeme vidět kolem nadzemních částí čidel ochranné klece. Teplotní rozmezí, které jsme jimi schopni měřit je  $-40$  až  $+60$  °C (Wild et al., 2019).



## 5 Výsledky

### 5.1 Půdní vlhkost

Z celkového hlediska můžeme říci, že nejvíce různorodě vyšly GAM modely s půdní vlhkostí. Hodnoty u této veličiny se navzájem nejvíce lišily.

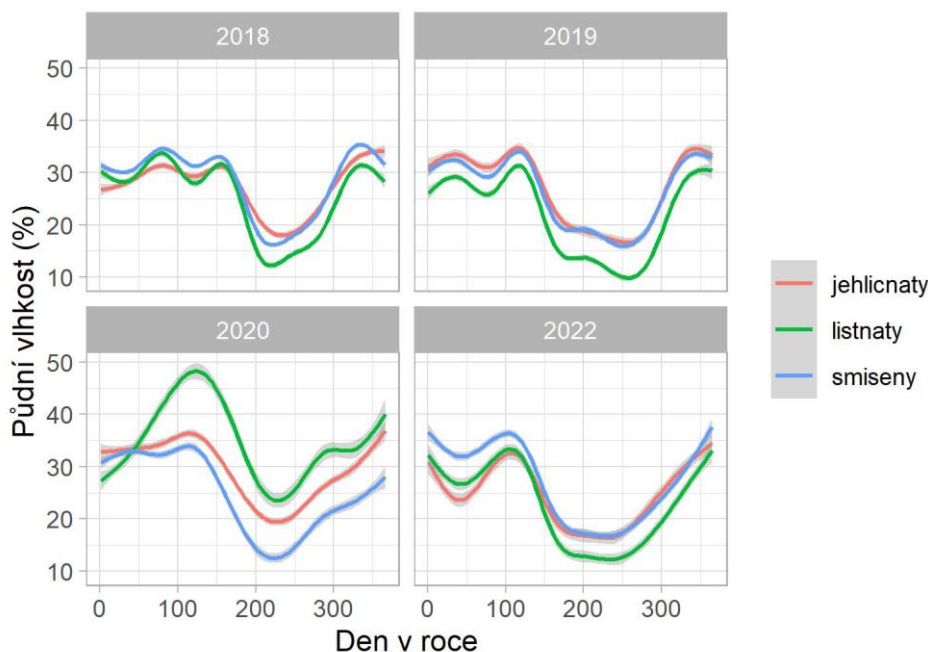


Obrázek 6 Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu.

Na výsledném grafu (Obr. 6) je demonstrován zajímavý vývoj půdní vlhkosti. Ukázalo se, že rok 2018 charakterizovala podobná tendence napříč různými druhovými kombinacemi. V tomto období byl patrný obecný pokles vlhkosti kolem období měsíců července a srpna, tedy období nejvyšších such v centrálním Španělsku. Tento trend se opakoval i v následujících letech. Nicméně, v roce 2018, ačkoliv se hodnoty jevíly podobně, byla nejnižší úroveň vlhkosti zaznamenána u čtyřdruhových směsí s velkým odskokem. Nejvýraznější rozdíly byly pozorovány v roce 2019, kdy půdní vlhkost u čtyřdruhových směsí klesla až o 10 % ve srovnání s ostatními kombinacemi. V průběhu sledovaného období byly křivky půdní vlhkosti monokultur a dvoudruhových směsí sobě nejbližší, zároveň vykazující nejvyšší vlhkosťní úrovně, dosahující až 35 % půdní vlhkosti během chladných měsíců. V roce 2020 došlo k výraznému nárůstu půdní vlhkosti u jednodruhových směsí, překračující hodnoty v ostatních letech. Tento rozdíl byl místy až o 10 %. Avšak v roce 2022 se vlhkost v monokulturách opět ustálila k jejímu normálu, v některých dnech dokonce klesla ještě o něco níže a protínala se s křivkou čtyřdruhových směsí.

V roce 2020 je křivka půdní vlhkosti třídruhových směsí ukončena v průběhu. Je tomu

tak kvůli tomu, že čidla, která měřila na tříduhových směsích byla od určitého data nefunkční anebo jejich naměřené hodnoty nebyly adekvátní k použití pro tuto bakalářskou práci.

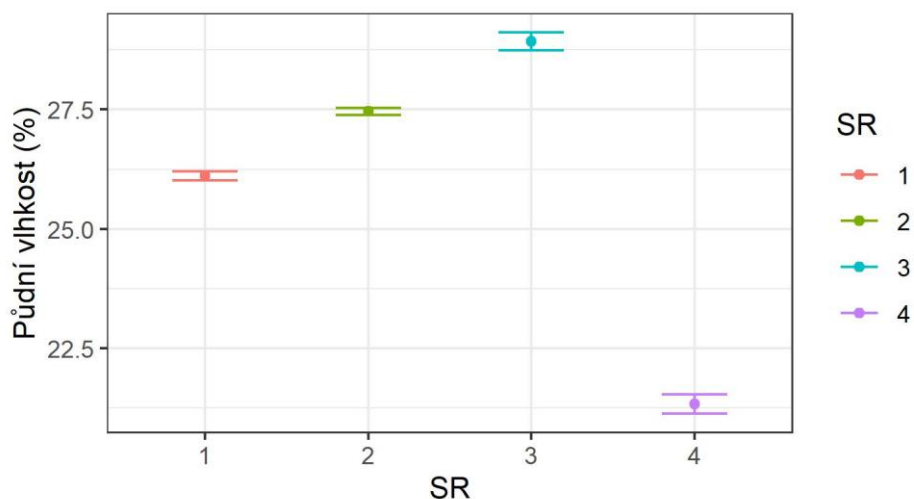


Obrázek 7 Průběh půdní vlhkosti v čase pro jednotlivé směsi dřevin.

Graf na obrázku 7 nám na křivkách ukazuje hodnoty půdní vlhkosti v závislosti na tom zda jsou jehličnaté, listnaté nebo smíšené.

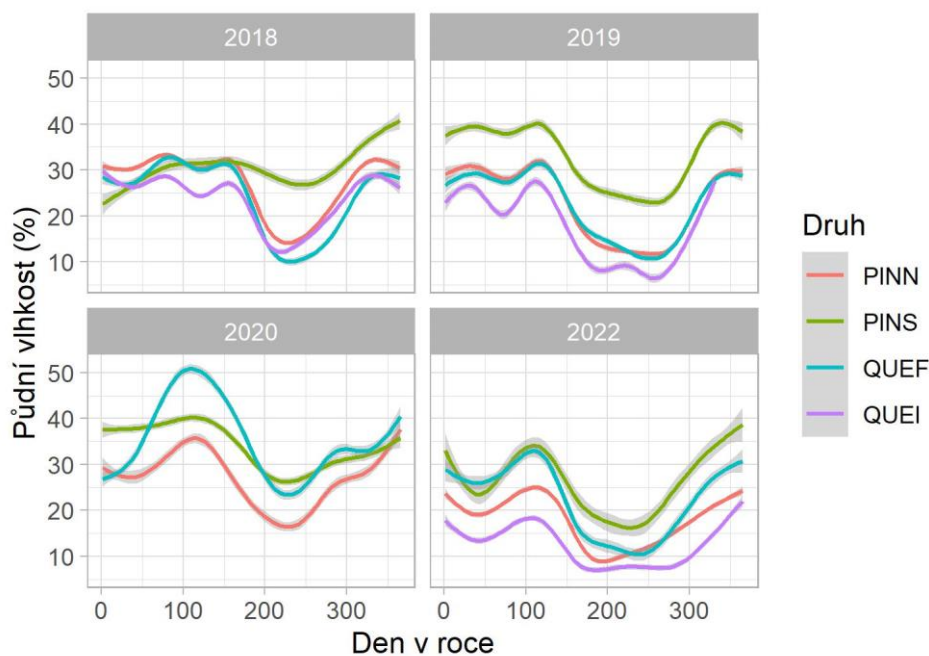
V každém roce vidíme podobnost v hodnotách vlhkosti až na výrazně různorodý rok 2020, kde se průběh půdní vlhkosti lišily od sebe navzájem nejvíce. V roce 2020 byla půdní vlhkost nejvyšší v listnatých lesích. V ostatních letech tomu je právě naopak a plochy s výhradně listnatými dřevinami vykazují nejnižší vlhkost. Jehličnatým a smíšeným lesům se křivky protínají a mají je k sobě nejbližší. V roce 2018 a 2020 se rozrůznily nejvíce v počátcích roku, kdy smíšené lesy dosahovaly vyšší půdní vlhkosti. Roku 2020 se odlišují až v pozdějších měsících a to tak, že smíšené lesy s hodnotami půdní vlhkosti výrazně klesnou pod svůj normál, který vykazují v ostatních letech.





Obrázek 8 Průměrné hodnoty půdní vlhkosti v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na dané ploše.

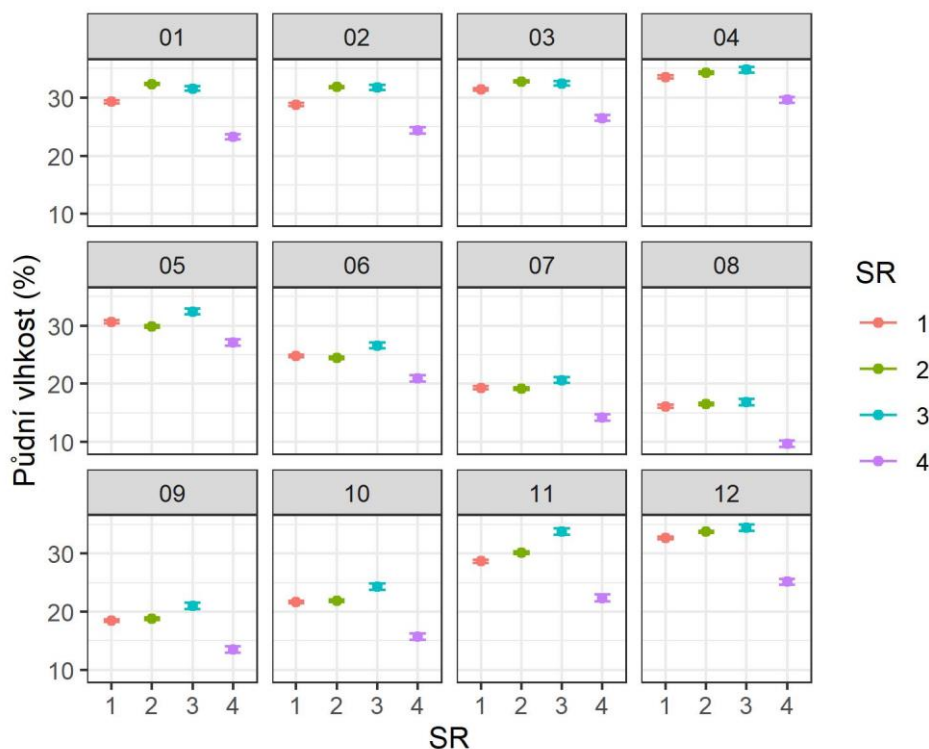
Na obrázku 8 vidíme průměrné hodnoty půdní vlhkosti pro každou různě druhově početnou skupinu ploch zvlášť. Nejvyšší půdní vlhkost se vyskytovala u třídruhových směsí. V závěsu jsou dvoudruhové a jednodruhové směsi. Nejnižší půdní vlhkost byla naopak u čtyřdruhových ploch.



Obrázek 9 Průběh půdní vlhkosti v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – *Pinus nigra*, PINS – *Pinus sylvestris*, QUEF – *Quercus faginea*, QUEI – *Quercus ilex*)

Na obrázku 9 vidíme průběh půdní vlhkosti v jednotlivých dnech, ale v závislosti na

průměrných hodnotách vlhkosti pro jednotlivé druhy dřevin. Ve většinové části grafů vede v hodnotách nejvyšší půdní vlhkosti *Pinus Sylvestris*. Nejvýraznější odskok můžeme sledovat roku 2019, kde hodnoty dosahovaly až o 10 % vyšších hodnot. V ostatních letech má křivka *Pinus sylvestris* podobný průběh. *Pinus nigra* měla v letech 2018, 2019 a 2020 srovnatelné hodnoty. V roce 2022 došlo k výraznějšímu poklesu hodnot půdní vlhkosti, a to hlavně v letních měsících, kdy klesla pod 10 %. Trend poklesu půdní vlhkosti v roce 2022 se projevil napříč všemi druhy. Největší dopad měl u dřeviny *Quercus ilex*. *Quercus ilex* byl z roku 2020 vynechán z důvodu nedostačujících dat. *Quercus faginea* (QUEF) se kromě poklesu půdní vlhkosti napříč všemi druhy dřevin roku 2022 vylišil nejvíce roku 2020 a to náhlým nárůstem půdní vlhkosti v měsíci březnu. Hodnoty zde dosahovaly až nadpoloviční procentuální vlhkosti.

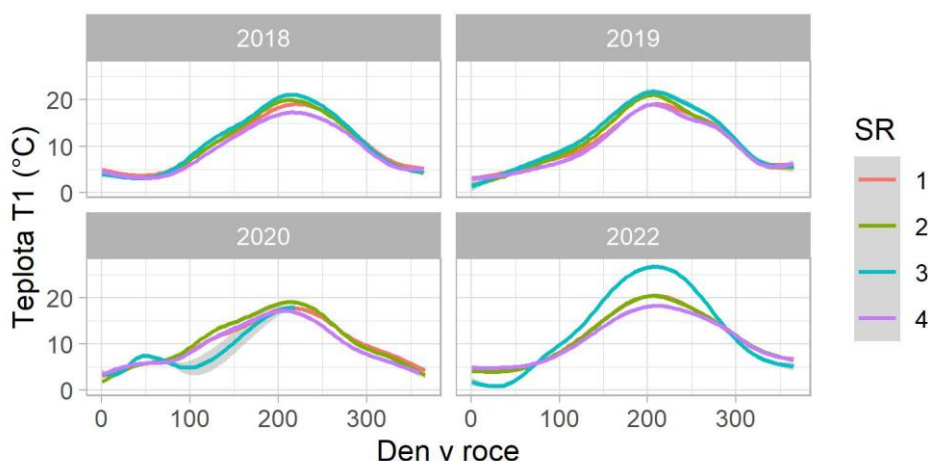


Obrázek 10 Průměrné hodnoty půdní vlhkosti v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů (SR) na ploše.

V dílčích měsících můžeme pozorovat trend čtyřdruhových směsí, kde je půdní vlhkost vždy nejnižší. Nejvlhčími jsou třídruhové a dvoudruhové směsi. Jednodruhové směsi u půdní vlhkosti dosahují extrémů nejméně. Nejvlhčím měsícem v roce pro všechny druhy dřevin je duben, naopak nejsušším je srpen.

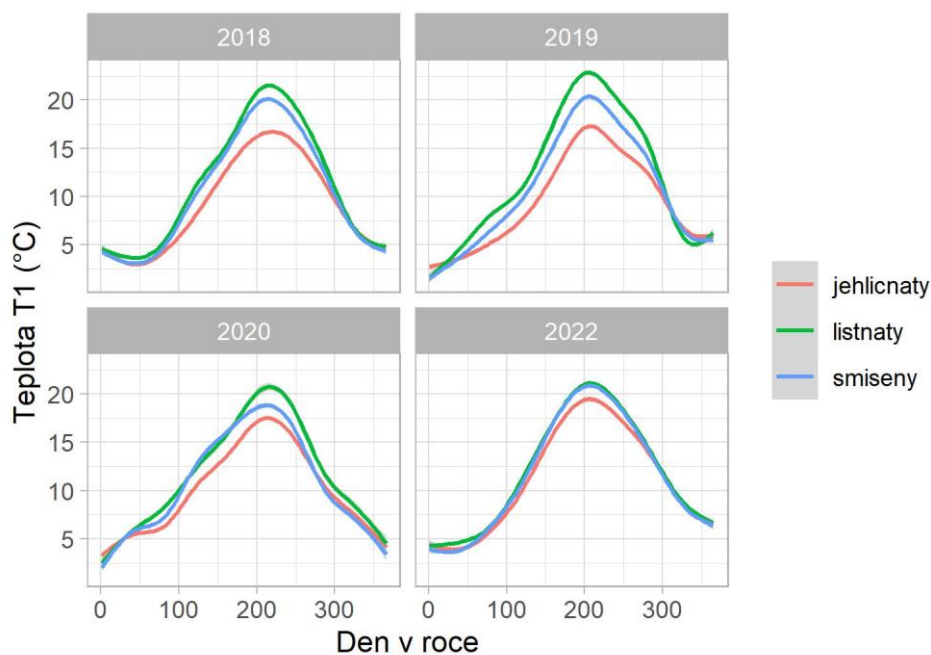
## 5.2 Teplota T1

Teplota T1 byla měřena 10 cm pod zemským povrchem. V teplotě T1 a teplotách celkově nenalezneme takové rozdíly, jako jsou třeba u půdní vlhkosti. Variabilita teplot je, jak můžeme vidět níže v grafech v obrázcích 11, 12, 13, 14 a 15 u teploty T1 relativně nízká, a to jak u porovnávání rozdílů mezi různými druhy, tak i mezi plochami s odlišnými počty druhů dřevin.



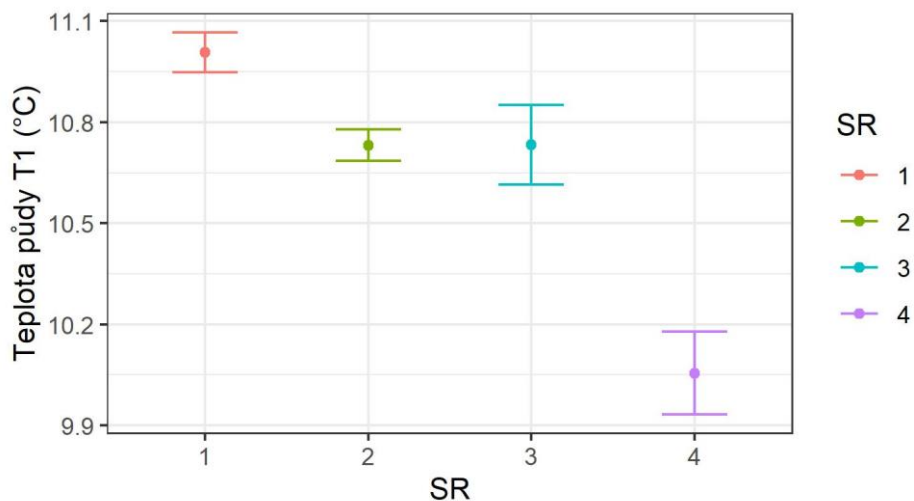
Obrázek 11 Průběh teploty T1 v čase pro jednotlivé kombinace počtu stromů (SR) na plochu.

Jak vidíme na obrázku číslo 11, teplotní trend pro rozdílné plochy v počtu druhů na plochu je ve všech letech téměř shodný. U čtyřdruhových a dvoudruhových ploch jsme v průběhu všech čtyř let nezaznamenali žádný větší výkyv v teplotách. V roce 2020 u třídruhových ploch teplota ve třetím měsíci poklesla a poté se opět vrátila do normálu. Křivka 3 je v grafu přerušená a nepokračuje. Důvodem byla chybná data, která nelze do práce použít. Teplota třídruhových směsí na počátku roku více klesala a při přechodu k jarním měsícům vystoupala do opačného extrému a jejich teplota dosahovala až k 29 °C. U ostatních ploch v tomto roce dosahovala teplota maximálně 21°C. V posledním roce si také můžeme všimnout, že je z grafu vynechána křivka s daty z jednodruhových ploch.



Obrázek 12 Průběh teploty T1 v čase pro jednotlivé směsi dřevin.

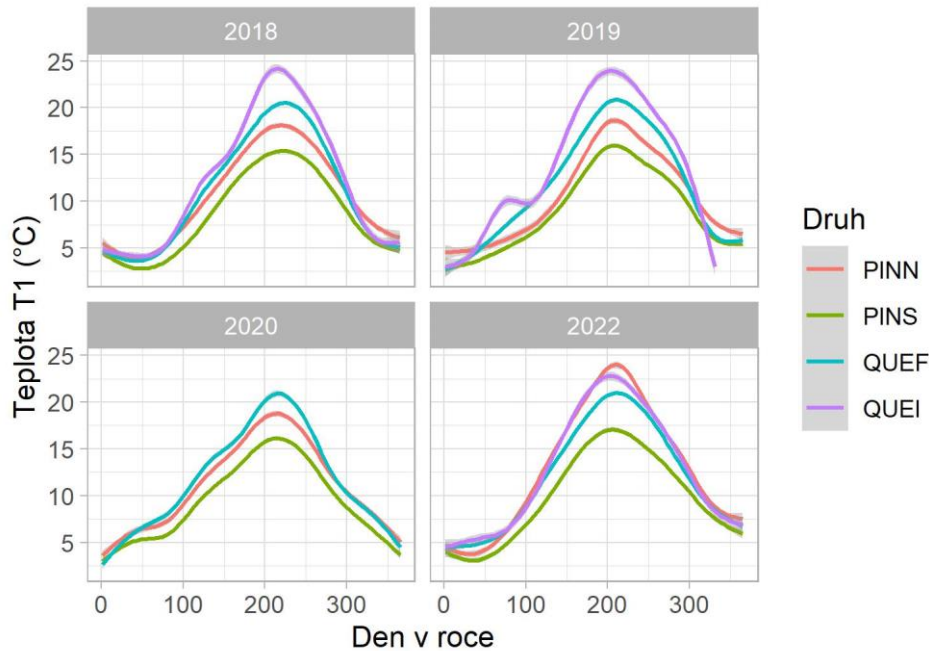
Průběh teplot je podobný pro všechny typy porosty (Obr. 12). Jako nejstudenější se jeví plochy s jehličnatými dřevinami (*Pinus nigra*, *Pinus Sylvestris*). Naopak nejteplejší byly plochy listnaté (*Quercus ilex*, *Quercus faginea*).



Obrázek 13 Průměrná teplota T1 pro plochy s různým počtem druhů (SR) na ploše.

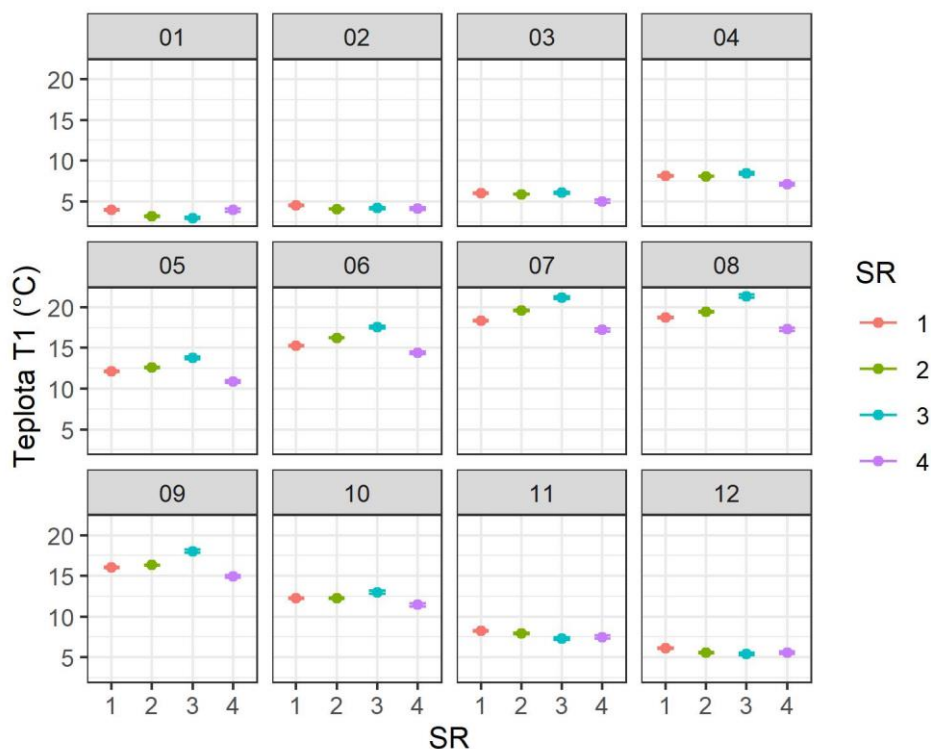
Když se podíváme na teplotní průměry za všechny roky pro plochy s různým počtem druhů dřevin na ploše, vidíme na obrázku číslo 13, že jednodruhové plochy mají nejvyšší teploty. Naopak nejchladnější jsou čtyřdruhové. Jak jsme viděli i na grafu na obrázku číslo 11,

dvoudruhové a tříruhové plochy mají podobné teplotné trendy, proto i u tohoto grafu se prolínají.



Obrázek 14 Průběh teploty T1 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – *Pinus nigra*, PINS – *Pinus sylvestris*, QUEF – *Quercus faginea*, QUEI – *Quercus ilex*)

Teploty T1 sledované v závislosti na druhu dřeviny, se nám v průběhu let rozrůznily, jak můžeme vidět více na grafu na obrázku číslo 14. Nejvyšších hodnot dosahoval *Quercus ilex*, který jsme z grafu roku 2020 vynechali kvůli chybným datům. O pár stupňů chladnější byly plochy s výskytem dřeviny *Quercus faginea*. Poté následovala *Pinus nigra*, která v roce 2022 dosáhla mnohem většího teplotního extrému než obvykle. S teplotou v letních měsících předčila i *Quercus faginea* a dosáhla až 28 °C. Za dřevinu s nejnižšími teplotami T1 můžeme považovat *Pinus sylvestris*. Ta nedosáhla u T1 ani v jednom roce více jak 17 °C.

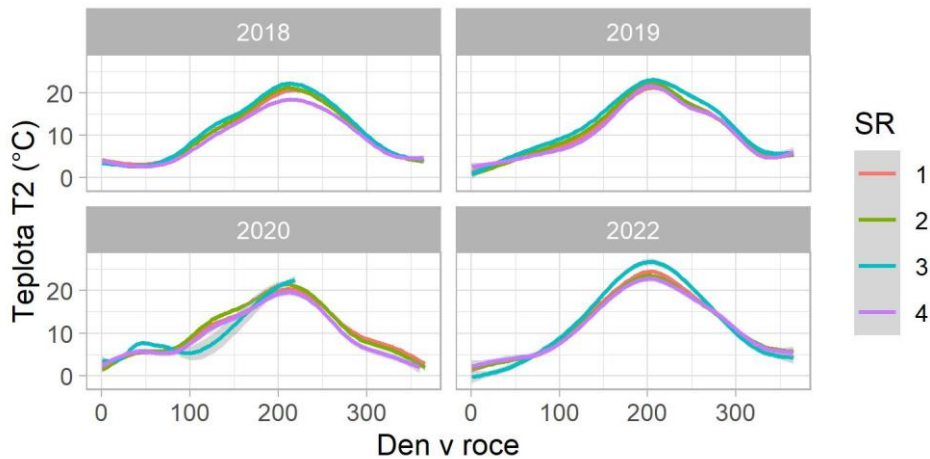


Obrázek 15 Průměrné hodnoty teploty T1 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů (SR) na ploše.

Obrázek číslo 15 vykresluje průměrné hodnoty teplot T1 za každý měsíc zvlášť, kde čtyřdruhá směs je sice nejchladnější, ale v chladných měsících klesá do menších extrémů než ostatní směsi. Jednodruhá a dvoudruhá směs mají téměř stejný průběh teplot. Podobně je tomu tak i u třídruhé směsi, až na teplejší měsíce červen až září, kde se od směsí vylišuje více k vyšším teplotním extrémům.

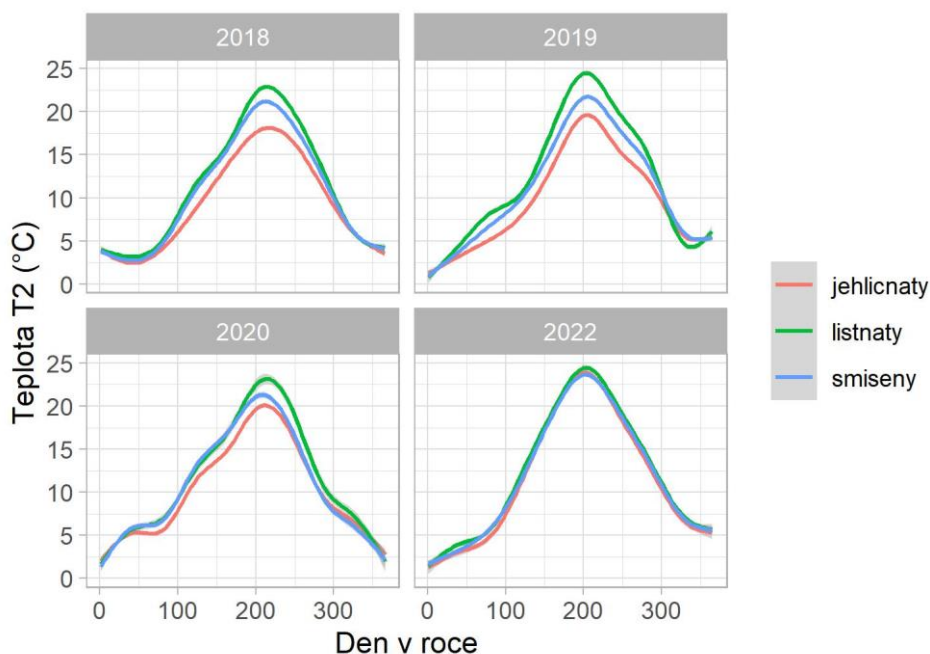
### 5.3 Teplota T2

Teplotní čidlo pro měření teploty T2 se nachází na povrchu až dva cm pod povrchem. Pozorované teplotní rozdíly u teplot T2 jsou ještě menší, než tomu bylo u hodnot naměřených u teploty T1.



Obrázek 16 Průběh teploty T2 v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu.

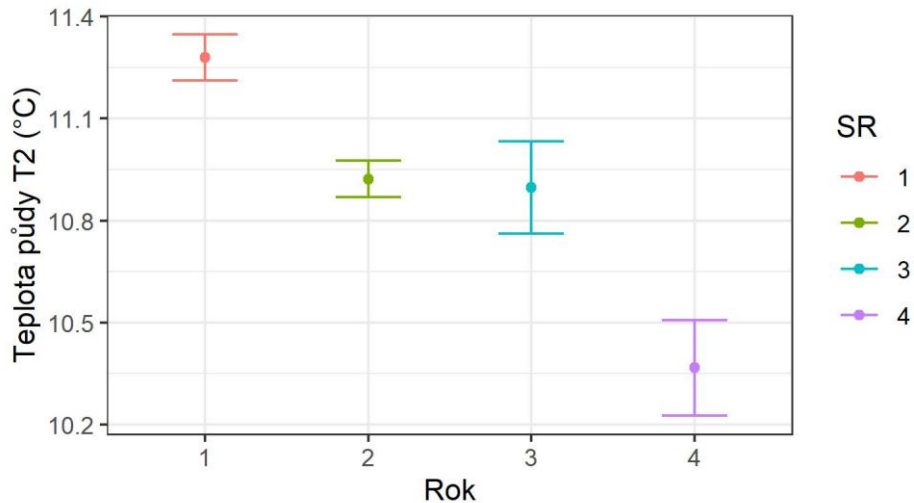
Na obrázku číslo 16 lze vidět graf, kde můžeme demonstrovat podobnost teplot T2 v průběhu let na všech plochách. V roce 2020 byly opět z části vynechány údaje o tříduhových směsích z důvodu chybnosti sebraných dat. Při podrobnějším zkoumání grafu lze potvrdit, že stejně jako u T1 byly tříduhové plochy nejteplejší.



Obrázek 17 Průběh teploty T2 v čase pro jednotlivé směsi dřevin.

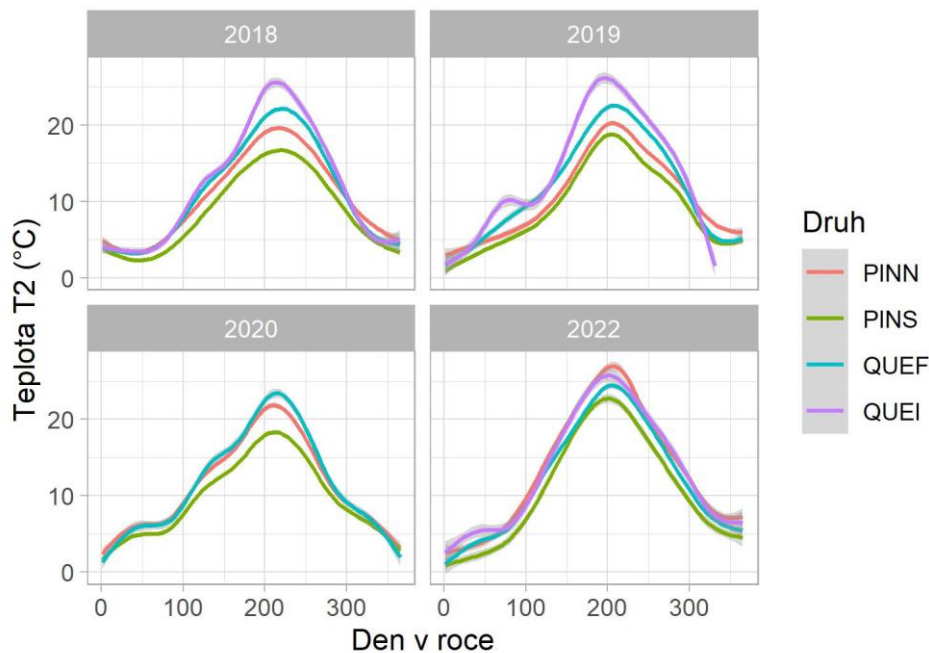


Na obrázku 17 vidíme další grafy průběhu teploty T2, v závislosti na směsi dřevin na plochách. Nejteplejšími porosty jsou listnaté lesy a nejchladnější jehličnaté, obdobně jako u T1. V roce 2022 se teploty na veškerých plochách téměř sjednotily a jen těžko z grafu vyčteme rozdíly.



Obrázek 18 Průměrná teplota T2 pro plochy s různým počtem druhů stromů (SR) na ploše.

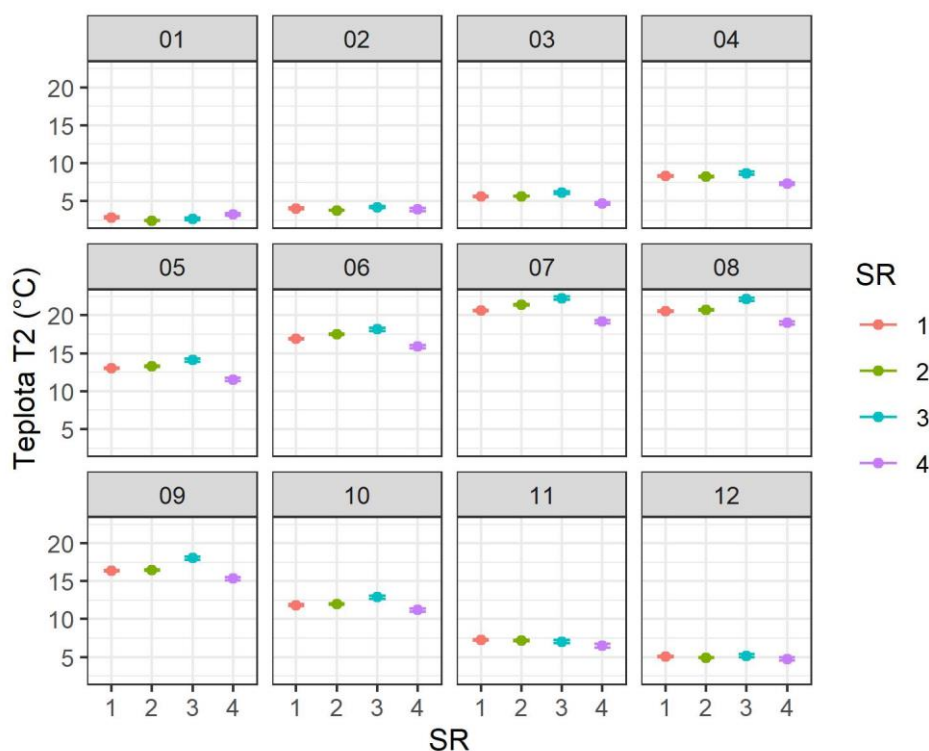
Na obrázku číslo 18 můžeme vidět dvoudruhové a třídruhové směsi se prolínají, zatímco čtyřdruhové jsou nejchladnější a jednodruhové nejteplejší.



Obrázek 19 Průběh teploty T2 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – *Pinus nigra*, PINS – *Pinus sylvestris*, QUEF – *Quercus faginea*, QUEI – *Quercus ilex*)



Na obrázku 12 můžeme vidět rozdíly větší. Odlišnosti v teplotách T2 mezi druhy dřevin jsou podstatně větší než na směsích nebo různě početných plochách. Jako nejteplejší je zde vykreslen *Quercus ilex*, který byl z roku 2020 opět odstraněn z důvodu chybných dat. Jako druhá nejteplejší dřevina je *Quercus faginea*. Po listnatých dřevinách následuje *Pinus nigra*, která v roce 2022 svými extrémy předčila i listnaté dřeviny. Nejchladnější je pak *Pinus sylvestris*, tak jako v teplotě T1.

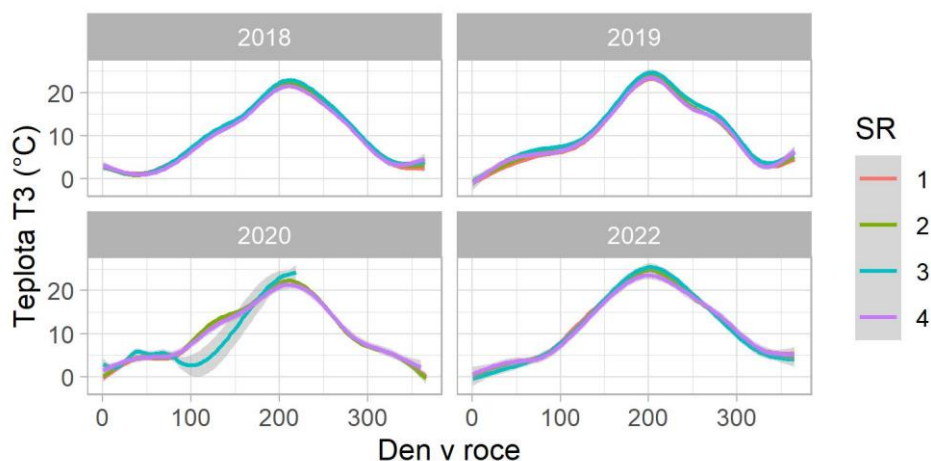


Obrázek 20 Průměrné hodnoty teploty T2 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na ploše.

Na obrázku 20 se teplota T2 během měsíců u ploch s různým počtem druhů dřevin vyrovnala a jejich průběh byl velice podobný. O května do října vidíme jedno větší vylišení, a to u čtyřdruhových směsí, které v těchto měsících dosahovaly výrazněji nižších teplot než ostatní plochy s menším počtem druhů dřevin.

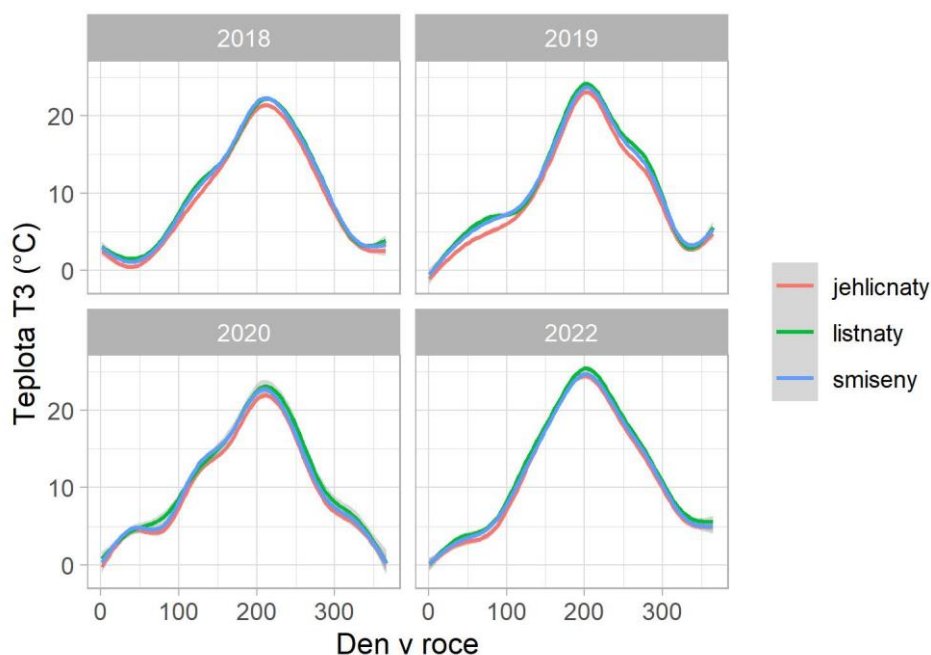
## 5.4 Teplota T3

Teplota T3 byla měřena ve výšce 15 cm nad zemí. Naše měření mezi jednotlivými plochami nebyly příliš rozlišné.



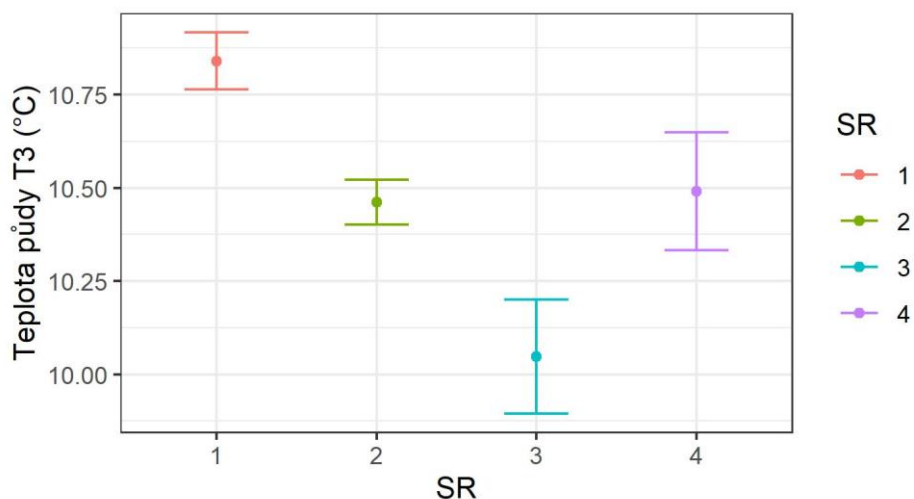
Obrázek 21 Průběh teploty T3 v čase pro jednotlivé kombinace počtu druhů stromů (SR) na plochu.

Na grafech na obrázku 21 můžeme vidět, že průběh teplot T3 se u všech ploch téměř nelišil. V roce 2020, jak tomu bylo i u předchozích půdních teplot T1 a T2, je přerušena křivka třídruhových směsí, kvůli nepoužitelným datům.



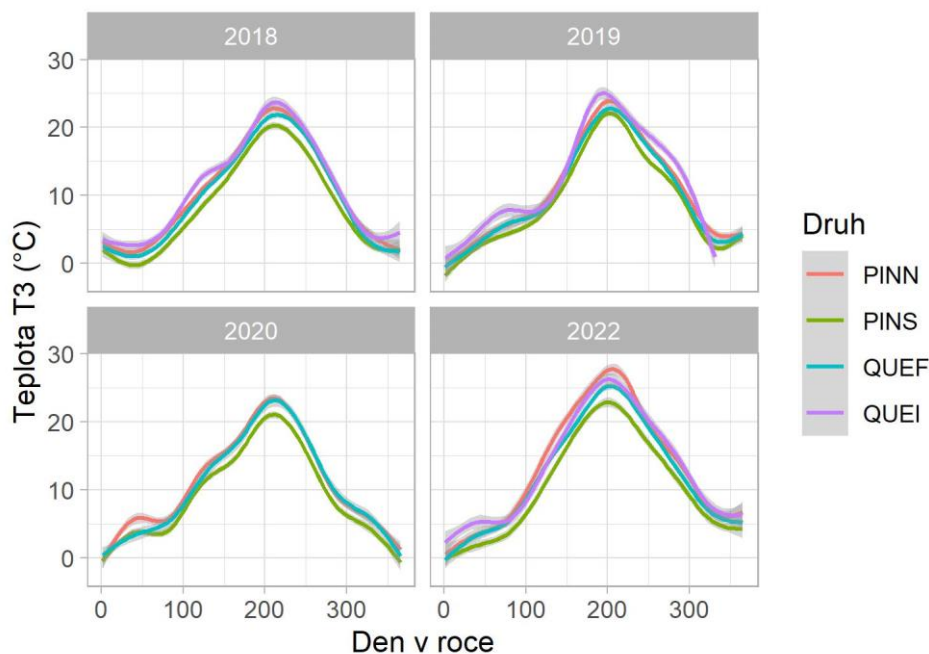
Obrázek 22 Průběh teploty T3 v čase pro jednotlivé směsi dřevin.

Na grafech výše, na obrázku 22 vidíme, že rozdíly ve směsích nejsou tak velké, jako například u rozdělení ploch dle druhů. Průběh teploty T3 je u všech směsí stejný, menší pokles teploty lze vidět u chladnějších jehličnatých ploch.



Obrázek 23 Průměrná teplota T3 pro plochy s různým počtem druhů stromů (SR) na ploše.

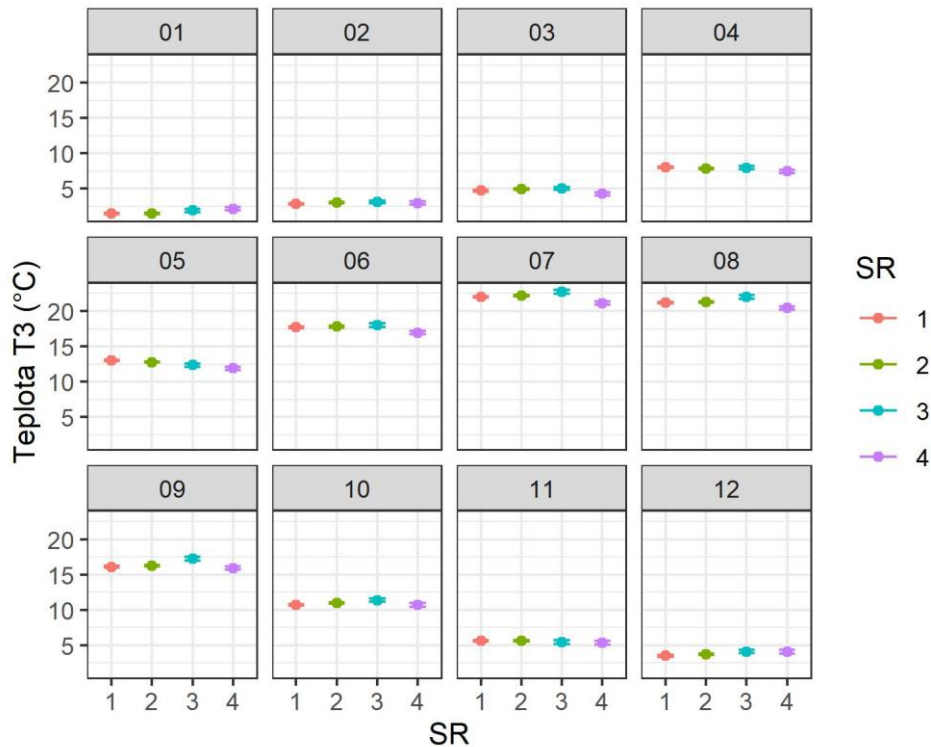
Na grafu v obrázku 23 vidíme, že jednodruhové plochy se značně ochladily oproti teplotě T2, a to až o 0,5 °C. Stále jsou však nejteplejší. Dále se nám zde prolínají dvoudruhové a čtyřdruhové plochy, kde dvoudruhové si drží podobný trend jako u T2 a T1, avšak čtyřdruhové plochy jsou u teplot T3 teplejší. Třídruhové plochy v teplotách klesly a staly se u teplot T3 nejchladnějšími.



Obrázek 24 Průběh teploty T3 v čase jednotlivě pro druhy dřevin. (PINN – *Pinus nigra*, PINS – *Pinus sylvestris*, QUEF – *Quercus faginea*, QUEI – *Quercus ilex*)

Větší rozdíly teplot zaznamenáváme u druhově rozdílných ploch, jak je tomu vidět na

obrázku 24. Nejvíce viditelný rozdíl vidíme i *Pinus sylvestris*, kde plochy s touto dřevinou jsou nejchladnější. Opakující se trend je viditelný i u dřeviny *Pinus nigra*, která roku 2022 teplotně vystoupá nad ostatní dřeviny.



Obrázek 25 Průměrné hodnoty teploty T3 v jednotlivých měsících v závislosti na počtu druhů stromů (SR) na ploše.

Na obrázku 25 nelze vidět žádné větší rozdíly mezi dílčími různědruhovými plochami. Nejstudenějším měsícem je pro všechny plochy leden a nejteplejším srpen.

## 6 Diskuze

### 6.1 Půdní vlhkost

Výsledky ukázaly, že monokultury, dvoudruhoé i třídruhové směsi mají vyšší půdní vlhkost než čtyřdruhovú porosty, tedy porosty s nejvíce druhy, s kterými jsme pracovali. V této oblasti můžeme tento trend vysvětlit tím, že konkurence u čtyřdruhovúch směsí je o vodu vysoká a tím jí málo zůstává v půdě. U porostů s nižší druhovou rozmanitostí jsme tak výrazné rozdíly nepozorovali, ale kolísání vlhkosti je zde očividné. Jucker et al. (2014a). Studie Jucker et al. (2014a) také poukazuje na fakt, že smíšené porosty v rezervaci Alto Tajo produkují více nadzemní biomasy a efektivně zachycují více uhlíku. Tento proces je ale zvýšenou konkurencí o vodu ohrožen.

U vytvořenúch grafů u různédruhovúch směsí pro dílčí měsíce zvlášt' vidíme, že čtyřdruhovú směsí vykazují nejnižší vlhkost. Nejvlhčím měsícem pro všechny směsí je duben, kdy jsou srážky nejvyšší, a je tak klíčovým měsícem pro lesní ekosystém.

Při porovnávání půdní vlhkosti v závislosti na typu porostu, bylo zjištěno, že až na výjimečně odlišný rok 2020 měli křivky všech typů lesa podobný průběh. Neméně bohatými porosty na vlhkost byly listnaté lesy. Výjimkou byl právě rok 2020, kde hodnoty půdní vlhkosti u listnatých porostů vystoupaly nejvýše. Smíšené a jehličnaté lesy mají půdní vlhkost většinou vyšší. To je pravděpodobně způsobeno hustějším korunovým zápojem, který zabraňuje výparu vody z půdy (Aussenac, 2000). Druhy rodu *Pinus* jsou na vodu mnohem náročnější než druhy rodu *Quercus* a to pro ně může být v budoucnu při klimatické změně nevýhodou při boji o vodu a způsobit fatální následky na jejich vitalitě (Galiano et al., 2010; Poorter et al., 2012). To podporuje naše výsledky, kde se druhy rodu *Pinus* mohou vyskytovat na přirozeně skrze vodu bohatších stanovištích.

Druhy rodu *Pinus* byly vlhčí než druhy rodu *Quercus*. U dřeviny *Pinus Sylvestris* bylo potvrzeno, že hodnoty půdní vlhkosti byly trvale nejvyšší, až na výjimku u roku 2020, kde křivka dřeviny *Quercus faginea* překročila křivku *Pinus sylvestris*. Tento rok byl pro půdní vlhkost zajímavý, protože se nám zde vymykají hodnoty půdní vlhkosti od normálu, který vidíme na grafech z ostatních let. Nejsušším rokem byl rok 2022.

## 6.2 Půdní teplota T1 a T2

U teploty T1 a T2, nalézáme velmi malou variabilitu. Křivky mají oproti půdní vlhkosti velice podobný průběh a teplotní rozdíly mezi jednotlivými plochami se tolik neodlišují. U teploty T1 byly viditelné rozdíly největší, naopak u teploty T3 se rozdíly podstatně zmenšily. To může být způsoben malým rozdílem v poloze senzorů na čidlech. Podobnost dat T1 a T2 nám také ukazuje, že porost značně rozdílně teplotu v 10 a 2 cm pod povrchem neovlivňuje.

Z vyhodnocených dat pro teplotu T1 lze vyčíst, že nejteplejšími plochami v průběhu let jsou třídruhové směsi. Naopak nejchladnější jsou právě čtyřdruhové směsi. Nejteplejšími lesními porosty jsou listnaté plochy, tedy plochy s dřevinami rodu *Quercus*, konkrétně u druhu *Quercus faginea* zaznamenáváme jednoznačně nejvyšší hodnoty. Smíšené porosty byly teplejší než ty listnaté, což koreluje se studií Porté et al. (2004). Nejchladnější jsou porosty jehličnaté. Nejnížší teploty zaznamenáváme v monokulturách *Pinus sylvestris*. Vysvětlením by v tomto případě mohly být hodnoty LAI jehličnatých dřevin, které do porostu nepropouštějí tolik slunečního záření, jako listnaté porosty. Půda se tak příliš neohřívá. Průkaznost toho, že na teplotu půdy v lese má přímý vliv množství pronikající záření skrze vegetaci, potvrdil ve své práci Von arx et al. (2013). Navazující myšlenku potvrzuje i další výzkum, který tvrdí, že jehličnaté porosty opravdu propouštějí méně světla a jsou tmavší (Teske & Thistle, 2004). V roce 2022 se monokulturní plochy *Pinus sylvestris* dostali před jinak nejteplejší *Quercus faginea*. To se projevilo jak na grafech teploty T1, tak i u teploty T2 akorát s menším rozdílem na druhý nejteplejší *Quercus faginea*.

Čtyřdruhové směsi jsou poměrně teplotně stabilní. V zimních měsících jsou mírné, v letních jsou naopak nejchladnější. Během listopadu až ledna padají do nejchladnějších extrémů třídruhové směsi. Nejteplejšími jsou monokultury.

## 6.3 Vzdušná teplota T3

U teploty T3 nebyly patrné tak velké rozdíly mezi odlišnými různědruhovými směsi, jako tomu bylo u teplot T1 a T2. Data tedy neprokázala podstatný vliv druhové bohatosti porostu na teplotu vzduchu. Přesto nám ale výsledky ukázaly, že nejteplejšími jsou v průměru monokultury.

Nejteplejšími v rámci typu lesa se jevily plochy listnaté, ačkoliv s malým teplotním rozdílem oproti smíšeným, nebo jehličnatým plochám. Opět to může být ovlivněno propustností slunečního záření neboli LAI. Listnaté porosty propouštějí slunečního záření

více a vzduch se ohřívá na vyšší teploty, než je tomu u jehličnatých a smíšených porostů Von (arx et al., 2013).

V rámci monokultur jsou opět nejteplejší porosty s *Quercus faginea* a nejchladnější *Pinus sylvestris*. To odpovídá výsledkům půdních teplot, kde byly porosty rodu *Pinus* chladnější a porosty rodu *Quercus* teplejší. U teplot T3 ale vidíme mnohem menší rozdíly mezi jednotlivými monokulturami.

## 7 Závěr

V této bakalářské práci bylo hlavními cíli pozorovat dominantní dřeviny středomořského klimatu v mediteránním lese ve středním Španělsku, kterými jsou borovice černou (*Pinus nigra* Arn.), borovice lesní (*Pinus sylvestris* L.), dub cesmínový (*Quercus ilex* L.) a dub portugalský (*Quercus faginea* Lam.), a vliv jejich kombinací v druhovém složení na zkusných plochách na lokální mikroklima v podrostu. Za pomoci instalovaných čidel TMS4 na každé jednotlivé ploše, jsme se mohli v rámci výzkumu věnovat hned dvěma veličinám, a to půdní teplotě, teplotě vzduchu a půdní vlhkosti. Půdní vlhkost byla měřena v 10 cm a teploty pak 2 a 10 cm pod povrchem, a 15 cm nad povrchem. Celkem těchto zkusných ploch bylo 36 a díky takovému množství těchto ploch jsme získali data pro všechny různé kombinace dřevinných směsí. Tento výzkum spadá pod FunDivEUROPE, která umožňuje na těchto plochách provádět různé výzkumné projekty.

Sběr dat probíhal ze zmiňovaných čidel v terénu do programu Loly. Dále se data zpracovávala, čistila a dle potřeby upravovala v programu R. Ve stejném programu jsme dále tvořily zobecněné aditivní modely a grafy promítnuté v závislosti na čase.

Nejnižší teploty v oblasti Alto Tajo byly pozorovány v jehličnatých porostech. Největší kolísání teplot, v létě často do extrémních hodnot vykazovaly data z čistě listnatých porostů. Z tohoto ukazatele bychom mohli vyvodit, že stabilnější vůči klimatické jsou v tomto případě jehličnaté porosty. V roce 2022 nám *Pinus nigra* ukazuje, že tomu nemusí vždy tak být, a svou teplotou napříč všemi čidly převyšuje listnaté dřeviny. Teplejší klima v listnatých porostech v této oblasti je pravděpodobně způsobeno větší propustností světla, které pak půdu i vzduch ohřívá. V teplotách T1 a T2 byly minimální rozdíly.

Listnaté směsi jsou oproti jehličnatým podstatně vlhčí a tím že druhy rodu *Pinus* vykazují nižší vlhkost, by pro ně do budoucna mohl být při klimatické změně problém. Výhodnou kombinací by tedy mohly být smíšené lesy, které si ve vlhkosti udržují příznivá optima. To by vyžadovalo další pozorování konkrétních kombinací druhů. Při porovnávání různě druhově početných ploch nám totiž porosty se čtyřmi druhy na ploše vyšly jako nejsušší, a naopak se třemi druhy na ploše jako nejvlhčí. Vhodné by tedy bylo rozdělit je do skupin dle konkrétních druhových směsí.

Vzhledem k očekávaným změnám klimatu, které nastanou i ve středomoří se dá předpokládat, že větší prosperitu za takových podmínek budou mít smíšené porosty, které se dokážou lépe vyrovnávat s teplotními extrémy a vodním nedostatkem. Další výhodou těchto porostů je i vysoká stabilita a odolnost vůči dalším škodlivým a kalamitním činitelům.



## 8 Seznam použitých zdrojů

- AUSSENAC, Gilbert, 2000. Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science* [online]. **57**(3), 287-301 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1286-4560. Dostupné z: doi:10.1051/forest:2000119
- BAETEN, Lander, Kris VERHEYEN, Christian WIRTH, et al., 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* [online]. **15**(5), 281-291 [cit. 2024-03-22]. ISSN 14338319. Dostupné z: doi:10.1016/j.ppees.2013.07.002
- CARDINALE, Bradley J., J. Emmett DUFFY, Andrew GONZALEZ, et al., 2012. Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* [online]. 2012-06-07, **486**(7401), 59-67 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature11148
- CARNICER, Jofre, Marta COLL, Miquel NINYEROLA, Xavier PONS, Gerardo SÁNCHEZ a Josep PEÑUELAS, 2011. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2011-01-25, **108**(4), 1474-1478 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1010070108
- CARNICER, Jofre, Marta COLL, Xavier PONS, Miquel NINYEROLA, Jordi VAYREDA a Josep PEÑUELAS, 2014. Large-scale recruitment limitation in Mediterranean pines: the role of *Quercus ilex* and forest successional advance as key regional drivers. *Global Ecology and Biogeography* [online]. **23**(3), 371-384 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1466-822X. Dostupné z: doi:10.1111/geb.12111
- CHEN, Jiquan, Sari C. SAUNDERS, Thomas R. CROW, Robert J. NAIMAN, Kimberley D. BROSOFSKE, Glenn D. MROZ, Brian L. BROOKSHIRE a Jerry F. FRANKLIN, 1999. Microclimate in Forest Ecosystem and Landscape Ecology. *BioScience* [online]. 1999-4-01, **49**(4), 288-297 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1525-3244. Dostupné z: doi:10.2307/1313612
- CHRISTENSEN, J., SOLOMON S., QIN D., MANNING M., CHEN Z., MARQUIS M., 2007. Regional Climate Projections: The physical science bases: Cambridge and New York: *Cambridge University Press* [online]. 847–943 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://www.researchgate.net/publication/216812920>
- CUTTELOD A. et al. 2008. The Mediterranean: a biodiversity hotspot under threat, Wildlife in a changing world: an analysis of the 2008 IUNC red list of threatened species [online]. 89-101 [cit. 2024-03-22]. ISBN 9782831710631

- DAVIS, Kimberley T., Solomon Z. DOBROWSKI, Zachary A. HOLDEN, Philip E. HIGUERA a John T. ABATZOGLOU, 2019. Microclimatic buffering in forests of the future: the role of local water balance. *Ecography* [online]. **42**(1), 1-11 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0906-7590. Dostupné z: doi:10.1111/ecog.03836
- DE CÁCERES, Miquel, Maurizio MENCUCCINI, Nicolas MARTIN-STPAUL, et al., 2021. Unravelling the effect of species mixing on water use and drought stress in Mediterranean forests: A modelling approach. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **296** [cit. 2024-03-22]. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2020.108233
- DE FRENNE, Pieter, Francisco RODRÍGUEZ-SÁNCHEZ, David Anthony COOMES, et al., 2013. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences* [online]. 2013-11-12, **110**(46), 18561-18565 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0027-8424. Dostupné z: doi:10.1073/pnas.1311190110
- DE FRENNE, Pieter, Jonathan LENOIR, Miska LUOTO, et al., 2021. Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology* [online]. **27**(11), 2279-2297 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1354-1013. Dostupné z: doi:10.1111/gcb.15569
- FERRERO L.M., MONTOUTO O., HERRANZ J.M, 2006. Flora amenazada y protegida del Paraque Natural del Alto Tajo. *Junta de Comunidades de Castilla-La Mancha*. 17-21 [cit. 2024-03-22]. ISBN: 84-7788-429-3
- FLEISCHER P., BICAROVA B., BYTNEROWICZ A. 2005. Effects of air pollution and climate change on forests of the Tatra Mountains. *Central Europe BT-Plant Response to Air Pollution and Global Change*. [cit. 2024-03-22]. 111-121 Dostupné z: Doi:[10.1007/4-431-31014-2\\_13](https://doi.org/10.1007/4-431-31014-2_13)
- FunDivEUROPE Project. [online] K nalezení na: <http://project.fundiveurope.eu> [cit. 2024-03-22].
- GALIANO L., MARTÍNEZ.VILALTA J., LLORET F. 2010. Carbon reserves and canopy defoliation determine the recovery of Scots pine 4 yr after a drought episode. *New Phytologist* [online]. 190(3), 750-759. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1469-8137.2010.03628.x.
- GARCÍA-VALDÉS, Raúl, Nicholas J. GOTELLI, Miguel A. ZAVALA, Drew W. PURVES a Miguel B. ARAÚJO, 2015. Effects of climate, species interactions, and dispersal on decadal colonization and extinction rates of Iberian tree species. *Ecological Modelling* [online]. **309-310**, 118-127 [cit. 2024-03-22]. ISSN 03043800. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolmodel.2015.04.003

GEIGER, Rudolf, Robert H. ARON, Paul TODHUNTER, Rudolf GEIGER, Robert H. ARON a Paul TODHUNTER, 1995. Forest Climatology. In: *The Climate Near the Ground* [online]. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, s. 259-325 [cit. 2024-03-18]. ISBN 978-3-322-86584-7. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-322-86582-3\_7

GIL-PELEGRÍN, Eustaquio, Miguel Ángel SAZ, Jose María CUADRAT, José Javier PEGUERO-PINA a Domingo SANCHO-KNAPIK, 2017. Oaks Under Mediterranean-Type Climates: Functional Response to Summer Aridity. In: GIL-PELEGRÍN, Eustaquio, José Javier PEGUERO-PINA a Domingo SANCHO-KNAPIK, ed. *Oaks Physiological Ecology. Exploring the Functional Diversity of Genus Quercus L* [online]. Cham: Springer International Publishing, s. 137-193 [cit. 2024-03-22]. Tree Physiology. ISBN 978-3-319-69098-8. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-69099-5\_5

GONSAMO A., D'ODORICO P., PELLIKA P. 2013. Measuring fractional forest canopy element cover and openness – definitions and methodologies revisited, *Oikos* [online]. 122(9), 1283-1291. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1600-0706.2013.00369.x.

GROSSIORD, Charlotte, Arthur GESSLER, André GRANIER, Martina POLLASTRINI, Filippo BUSSOTTI a Damien BONAL, 2014. Interspecific competition influences the response of oak transpiration to increasing drought stress in a mixed Mediterranean forest. *Forest Ecology and Management* [online]. **318**, 54-61 [cit. 2024-03-22]. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/j.foreco.2014.01.004

HAESEN, Stef, Jonas J. LEMBRECHTS, Pieter DE FRENNE, et al., 2021. ForestTemp – Sub-canopy microclimate temperatures of European forests. *Global Change Biology* [online]. **27**(23), 6307-6319 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1354-1013. Dostupné z: doi:10.1111/gcb.15892

HOOPER, D. U., F. S. CHAPIN, J. J. EWEL, et al., 2005. EFFECTS OF BIODIVERSITY ON ECOSYSTEM FUNCTIONING: A CONSENSUS OF CURRENT KNOWLEDGE. *Ecological Monographs* [online]. **75**(1), 3-35 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0012-9615. Dostupné z: doi:10.1890/04-0922

HOOPER, David U., E. Carol ADAIR, Bradley J. CARDINALE, et al., 2012. A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature* [online]. **486**(7401), 105-108 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0028-0836. Dostupné z: doi:10.1038/nature11118

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC), 2023. *Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability* [online]. Cambridge University Press [cit. 2024-04-05]. ISBN 9781009325844. Dostupné z: doi:10.1017/9781009325844

JUCKER, Tommaso, Olivier BOURIAUD, Daniel AVACARITEI, Iulian DĂNILĂ, Gabriel DUDUMAN, Fernando VALLADARES, David A. COOMES a Matthew TURNBULL, 2014. Competition for light and water play contrasting roles in driving diversity–productivity relationships in Iberian forests. *Journal of Ecology* [online]. **102**(5), 1202-1213 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0022-0477. Dostupné z: doi:10.1111/1365-2745.12276

JUCKER, Tommaso, Olivier BOURIAUD, Daniel AVACARITEI, David A. COOMES a Johannes KNOPS, 2014. Stabilizing effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes. *Ecology Letters* [online]. **17**(12), 1560-1569 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1461-023X. Dostupné z: doi:10.1111/ele.12382

JUMP A.S., HUNT J.M., PEÑUELAS J., 2006. Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology* [online]. **12**(11), 2163-2174. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x.

LEMBRECHTS, Jonas J., Juha AALTO, Michael B. ASHCROFT, et al., 2020. SoilTemp: A global database of near-surface temperature. *Global Change Biology* [online]. **26**(11), 6616-6629 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1354-1013. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: doi:10.1111/gcb.15123

LIONELLO, P., P. MALANOTTE-RIZZOLI, R. BOSCOLO, et al., 2006. The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. In: *Mediterranean* [online]. Elsevier, s. 1-26 [cit. 2024-03-22]. Developments in Earth and Environmental Sciences. ISBN 9780444521705. Dostupné z: doi:10.1016/S1571-9197(06)80003-0

MARTÍNEZ-VILALTA, Jordi a Josep PIÑOL, 2002. Drought-induced mortality and hydraulic architecture in pine populations of the NE Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* [online]. **161**(1-3), 247-256 [cit. 2024-03-22]. ISSN 03781127. Dostupné z: doi:10.1016/S0378-1127(01)00495-9

MEEUSSEN, Camille, Sanne GOVAERT, Thomas VANNESTE, et al., 2021. Drivers of carbon stocks in forest edges across Europe. *Science of The Total Environment* [online]. **759** [cit. 2024-03-22]. ISSN 00489697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2020.143497

NAEEM, Shahid, 2002. Ecosystem Consequences of Biodiversity Loss: The Evolution of a Paradigm. *Ecology* [online]. **83**(6) [cit. 2024-03-22]. ISSN 00129658. Dostupné z: doi:10.2307/3071972

PEÑUELAS J., BOADA M. 2003. A global change-included biome shift in the Montesy mountains (NE Spain): A global change-included biome shift. *Global Change Biology*, **9**(2), 131-140. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: doi:10.1046/j.1365-2486.2003.00566.x.

- PEÑUELAS, Josep a Iolanda FILELLA, 2003. Deuterium labelling of roots provides evidence of deep water access and hydraulic lift by *Pinus nigra* in a Mediterranean forest of NE Spain. *Environmental and Experimental Botany* [online]. **49**(3), 201-208 [cit. 2024-03-22]. ISSN 00988472. Dostupné z: doi:10.1016/S0098-8472(02)00070-9
- POORTER, Lourens, Elena LIANES, Mariano MORENO-DE LAS HERAS a Miguel A. ZAVALA, 2012. Architecture of Iberian canopy tree species in relation to wood density, shade tolerance and climate. *Plant Ecology* [online]. **213**(5), 707-722 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1385-0237. Dostupné z: doi:10.1007/s11258-012-0032-6
- PORTÉ, Annabel, Frédéric HUARD a Philippe DREYFUS, 2004. Microclimate beneath pine plantation, semi-mature pine plantation and mixed broadleaved-pine forest. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **126**(1-2), 175-182 [cit. 2024-03-22]. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2004.06.001
- R Core Team (2024). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>. [cit. 2024-03-22].
- RUIZ-BENITO, Paloma, Emily R. LINES, Lorena GÓMEZ-APARICIO, Miguel A. ZAVALA, David A. COOMES a Andrew HECTOR, 2013. Patterns and Drivers of Tree Mortality in Iberian Forests: Climatic Effects Are Modified by Competition. *PLoS ONE* [online]. 2013-2-25, **8**(2) [cit. 2024-03-22]. ISSN 1932-6203. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0056843
- SCHUME, Helmut, Georg JOST a Herbert HAGER, 2004. Soil water depletion and recharge patterns in mixed and pure forest stands of European beech and Norway spruce. *Journal of Hydrology* [online]. **289**(1-4), 258-274 [cit. 2024-03-22]. ISSN 00221694. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhydrol.2003.11.036
- TESKE M.E., THISTLE H.W. 2004. A library of forest canopy structure for use in interception modeling. *Forest Ecology and Management* [online]. 198(1), 341-350. [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.031>
- THOM, Dominik, Andreas SOMMERFELD, Julius SEBALD, Jonas HAGGE, Jörg MÜLLER a Rupert SEIDL, 2020. Effects of disturbance patterns and deadwood on the microclimate in European beech forests. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **291** [cit. 2024-03-22]. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2020.108066
- VALLDARES F. (2004) Global change and radiation in Mediterranean forest ecosystems, a meeting point for ecology and management. *Millpress, Rotterdam*. 1-4 [cit. 2024-03-22]. Dostupné z: Doi:[10.1017/CBO9781107323506.005](https://doi.org/10.1017/CBO9781107323506.005)

VALLADARES, Fernando, Raquel BENAVIDES, Sonia G. RABASA, Mario DÍAZ, Juli G. PAUSAS, Susana PAULA a William D. SIMONSON, 2014. Global change and Mediterranean forests: current impacts and potential responses. In: COOMES, David A., David F. R. P. BURSLEM a William D. SIMONSON, ed. *Forests and Global Change* [online]. Cambridge University Press, 2014-06-05, s. 47-76 [cit. 2024-04-04]. ISBN 9781107041851. Dostupné z: doi:10.1017/CBO9781107323506.005

VALLADARES, Fernando, 2017. A Mechanistic View of the Capacity of Forests to Cope with Climate Change. In: BRAVO, Felipe, Valerie LEMAY a Robert JANDL, ed. *Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change* [online]. Cham: Springer International Publishing, s. 15-40 [cit. 2024-03-22]. Managing Forest Ecosystems. ISBN 978-3-319-28248-0. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-319-28250-3\_2

WANG, Yafei, Frank BAKKER, Rudolf DE GROOT, Heinrich WORTCHE a Rik LEEMANS, 2015. Effects of urban trees on local outdoor microclimate: synthesizing field measurements by numerical modelling. *Urban Ecosystems* [online]. **18**(4), 1305-1331 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1083-8155. Dostupné z: doi:10.1007/s11252-015-0447-7

WILD, Jan, Martin KOPECKÝ, Martin MACEK, Martin ŠANDA, Jakub JANKOVEC a Tomáš HAASE, 2019. Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agricultural and Forest Meteorology* [online]. **268**, 40-47 [cit. 2024-03-22]. ISSN 01681923. Dostupné z: doi:10.1016/j.agrformet.2018.12.018

ZELLWEGER, Florian, David COOMES, Jonathan LENOIR, et al., 2019. Seasonal drivers of understory temperature buffering in temperate deciduous forests across Europe. *Global Ecology and Biogeography* [online]. **28**(12), 1774-1786 [cit. 2024-03-22]. ISSN 1466-822X. Dostupné z: doi:10.1111/geb.12991

ZELLWEGER, Florian, Pieter DE FRENNE, Jonathan LENOIR, et al., 2020. Forest microclimate dynamics drive plant responses to warming. *Science* [online]. 2020-05-15, **368**(6492), 772-775 [cit. 2024-03-22]. ISSN 0036-8075. Dostupné z: doi:10.1126/science.aba6880