

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa

**Vliv druhové skladby a smíšení dřevin na
mikroklima teplomilného opadavého lesa v Itálii**

Bakalářská práce

Autor: Jan Zrnovský

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

2022

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jan Zrnovský

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

Vliv druhové skladby a smíšení dřevin na mikroklima teplomilného opadavého lesa v Itálii

Název anglicky

The effect of species composition and mixing on microclimate of thermophilous deciduous forest in Italy

Cíle práce

Stromové patro lesů může významně omezit negativní dopady globálního oteplování na lesní mikroklima, čímž snižuje dopady na biodiverzitu a stabilitu těchto lesů. Tento pozitivní vliv lesů na mikroklima se liší dle druhové skladby a smíšení stromového patra, avšak empirická informace o tom, jak hlavní dřeviny středoevropského lesa a jejich směsi ovlivňují lesní mikroklima termofilních lesích Itálie doposud chybějí. Cílem práce tak bude zjistit, jak hlavní druhy dřevin a jejich vzájemné směsi ovlivňují teploty vzduchu, půdy a půdní vlhkost v podrostu teplomilného opadavého lesa na výzkumných plochách FunDivEUROPE v Toskánsku (Itálie).

Metodika

Měření budou prováděna pomocí mikroklimatických čidel TMS4 v rámci trvalých výzkumných ploch FunDivEUROPE v Itálii. V rámci bakalářské práce budou jednotlivé výzkumné plochy navštíveny, zkontrolována a případně doinstalována čidla a stažena data. Nad každým čidlem bude zhotovena hemisférická fotografie pro určení pokrývnosti stromového patra.

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

Harmonogram práce:

duben 2021 – leden 2022 – studium literatury, zpracování literární rešerše

říjen 2021 – prosinec 2021 – návštěva výzkumných ploch, stažení dat z mikroklimatických čidel, doplňková měření

listopad 2021 – leden 2022 – čištění a zpracování dat z mikroklimatických čidel

prosinec 2021 – leden 2022 – statistické analýzy mikroklimatických dat

únor 2022 – předložení výsledků analýz a literární rešerše ke kontrole

březen 2022 – předložení textových částí ke kontrole



Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

mikroklima, druhová skladba lesů, termofilní 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.
- De Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D.A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C.D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G.M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F.S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M.A., Kelly, D.L., Kirby, K.J., Mitchell, F.J.G., Naaf, T., Newman, M., Peterken, G., Petřík, P., Schultz, J., Sonnier, G., Van Calster, H., Waller, D.M., Walther, G.-R., White, P.S., Woods, K.D., Wulf, M., Graae, B.J., Verheyen, K., 2013. Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 110, 18561–5. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>
- Lembrechts, J. et al. 2020. SoilTemp: A global database of near-surface temperature. *Glob. Chang. Biol.* 26, 6616–6629. <https://doi.org/10.1111/gcb.15123>
- Von Arx, G., Graf Pannatier, E., Thimonier, A., Rebetez, M., 2013. Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: Potential implications for seedling establishment in a changing climate. *J. Ecol.* 101, 1201–1213. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12121>
- 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. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2018.12.018>
- 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.
-

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 9. 2. 2022

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 22. 2. 2022

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 26. 03. 2022

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Vliv druhové skladby a smíšení dřevin na mikroklima teplomilného opadavého lesa v Itálii“ vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Radima Matuly, Ph.D. a použil jen prameny, které uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že zveřejněním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách v platném znění, a to bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Praze dne.....

Jan Zrnovský

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval především doc. Ing. Radimovi Matulovi, Ph.D., který mi byl během psaní této závěrečné práce mentorem. Děkuji mu za nespočetné rady a trpělivost při mém dotazování k tématu. Dále děkuji přátelům, rodině a spolužákům za cenné nápady a vytvoření příjemného prostředí pro psaní práce.

Abstrakt

Lesní mikroklima může zmírňovat dopady globálního oteplování planety Země umírněním podnebních extrémů teploty okolí. Teplota a vlhkost lesního mikroklimatu může být významně ovlivněna korunovým zápojem lesních dřevin. Bakalářská práce si klade za cíl doplnit informace o způsobu ovlivňování mikroklimatu sledovanými druhy dřevin, jelikož empirické hodnoty tohoto typu zatím pro italské lesy chybí.

V rámci bakalářské práce byla mezi lety 2018 a 2021 měřena teplota půdy, hrabanky, vzduchu a vlhkost půdy na plochách v italském Toskánsku v rámci projektu FunDivEUROPE. Těchto 36 ploch se nachází v porostech teplomilného opadavého lesa s hlavními dřevinami stromového patra *Quercus cerris*, *Quercus ilex*, *Quercus petraea*, *Ostrya carpinifolia* a *Castanea sativa*. Stupeň smíšení dřevin na plochách se pohyboval od monokultur až po čtyř druhové směsi dřevin. Analýza dat proběhla ve statistickém softwaru R.

Na základě výsledků práce lze tvrdit, že vyšší druhová bohatost směsi pozitivně ovlivňuje mikroklimatické podmínky termofilního opadavého lesa. Nejvíce byla vyšší druhovou bohatostí ovlivněna hodnota půdní vlhkosti, která byla v letních měsících vyšší v porovnání s druhově chudšími porosty. Dále pak denní rozptyl teplotních extrémů, který byl u druhově bohatších porostů nižší, než u porostů s jednou či dvěma dřevinami. Průměrná teplota vzduchu pod zápojem nebyla druhovým složením příliš ovlivněna, teplota půdy a hrabanky byla v letních obdobích nižší u tří a čtyř druhových porostech.

Klíčová slova: mikroklima, teplomilný opadavý les, FunDivEUROPE, druhová skladba

Abstract

Forest microclimate can lessen the impact of global warming by buffering temperature and humidity swings in the area. The temperature and humidity in a forest microclimate can be significantly affected by its canopy cover. This thesis aims to extend the understanding of these phenomena in the case of Italian forests since no empirical data has yet been collected for these.

As part of the research, soil temperature, plant litter temperature, air temperature and soil moisture content data has been gathered over three years between 2018 and 2021 in 36 FunDivEUROPE project plots in Toscana, Italy. These plots are located in regions of thermophillic deciduous forestation with tree layers consisting mainly of *Quercus cerris*, *Quercus ilex*, *Quercus petraea*, *Ostrya carpinifolia* and *Castanea sativa*. The diversities of these forests span from monocultural up to three- to four-species mix. The collected data has been analysed using the R statistical software package.

The results indicate that higher species diversity has a positive impact on the microclimate of a thermophillic deciduous forest. The biggest impact of higher diversity has been observed in the case of soil humidity, being higher in summer compared to that of forests composed of one or two tree species. The swing in temperature between daily high and low extremes has been observed to be lower in more diverse forests as compared to those composed of one or two tree species as well. Average air temperature underneath the canopy cover has not been observed to be significantly affected. Soil and plant litter temperatures in summer has been lower in forests composed of three or four tree species.

Key words: microclimate, thermophilous deciduous forest, FunDivEUROPE, species composition

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1. Úvod | 12 |
| 2. Cíle | 13 |
| 3. Rozbor problematiky | 14 |
| 3.1. Lesní mikroklima a co jej ovlivňuje..... | 14 |
| 3.2. Termofilní opadavý les | 17 |
| 3.3. Hlavní dřeviny teplomilného lesa v oblasti Colline Metallifere | 18 |
| 4. Metodika | 19 |
| 4.1. FunDivEUROPE..... | 19 |
| 4.2. Popis oblasti – Itálie, Toskánsko, Colline Metallifere | 21 |
| 4.3. Tomst TMS-4 | 22 |
| 4.4. Zpracování dat..... | 24 |
| 5. Výsledky měření | 25 |
| 5.1. Půdní vlhkost..... | 25 |
| 5.2. Teploty T1, T2 a T3 | 27 |
| 5.2.1. Půdní teplota T1 | 28 |
| 5.2.2. Půdní teplota T2..... | 30 |
| 5.2.3. Teplota vzduchu T3 | 33 |
| 6. Diskuse | 36 |
| 6.1. Doporučení pro další výzkum | 37 |
| 7. Závěr | 38 |
| Seznam literatury a použitých zdrojů | 39 |
| Seznam příloh | 41 |

Seznam obrázků:

| | |
|--|----|
| Obrázek 1: Jednotlivé plochy projektu FUNDivEUROPE v Itálii, označení IT 1 až 36. Město Livorno (levý horní roh) je od ploch vzdáleno zhruba 80 km severozápadně. Zdroj: https://earth.google.com/web/ | 21 |
| Obrázek 2: Ilustrační obrázek rázu krajiny Colline Metallifere a okolí. | 22 |
| Obrázek 3: Sonda na měření teplot a půdní vlhkosti TMS-4 použita v rámci výzkumu. Zdroj: TOMST s.r.o. | 23 |
| Obrázek 4: GAM model průměrné minimální vlhkosti oblasti v závislosti na čase | 26 |
| Obrázek 5: Minimální denní vlhkost v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)..... | 26 |
| Obrázek 6: GAM model minimální půdní vlhkosti v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)..... | 27 |
| Obrázek 7: GAM model průměrné teploty vzduchu podrostu T3 v závislosti na čase .. | 27 |
| Obrázek 8: Průměrná denní půdní teplota T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness) .. | 29 |
| Obrázek 9: Denní rozptyl minimální a maximální teploty půdy T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)..... | 29 |
| Obrázek 10: GAM model průměrné půdní teploty T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)..... | 30 |
| Obrázek 11: GAM model závislosti půdní teploty T1 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi..... | 30 |
| Obrázek 12: Průměrná denní půdní teplota T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness) .. | 32 |
| Obrázek 13: Denní rozptyl minimální a maximální teploty půdy T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)..... | 32 |
| Obrázek 14: GAM model průměrné půdní teploty T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)..... | 32 |

| | |
|--|----|
| Obrázek 15: GAM model závislosti půdní teploty T2 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi..... | 33 |
| Obrázek 16: Průměrná denní teplota vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness) | 34 |
| Obrázek 17: Denní rozptyl minimální a maximální teploty vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)..... | 35 |
| Obrázek 18: GAM model průměrné teploty vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)..... | 35 |
| Obrázek 19: GAM model závislosti teploty vzduchu T3 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi..... | 35 |

Seznam tabulek:

| | |
|--|----|
| Tabulka 1: Průměrná vlhkost půdy dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty v %, tučně vyznačena nejvyšší letní vlhkost..... | 26 |
| Tabulka 2: Průměrné půdní teploty T1 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota..... | 28 |
| Tabulka 3: Průměrné půdní teploty T2 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota..... | 31 |
| Tabulka 4: Průměrné teploty letních měsíců mezi roky 2018 a 2021 dle jednotlivých druhových bohatostí. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena vždy nejnižší letní teplota .. | 34 |
| Tabulka 5: Průměrné teplota vzduchu T3 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota..... | 34 |

1. Úvod

Rostliny submediteránního klimatu se během evolučního vývoje adaptovaly na život na slunných a výsušných stanovištích. S postupem globálního oteplování je však nutné brát v potaz změnu klimatických podmínek a následný vzrůst teplot, čímž může dojít ke snížení stability a biodiverzity těchto ekosystémů. Celosvětově jsou lesní porosty vystaveny stále silnějšímu stresoru v podobě sucha a vysokých teplot. Tyto stresující podmínky mají za následek snížení obranyschopnosti jedinců i celých porostů, čímž dávají větší šanci uspět podkornímu hmyzu, houbovým onemocněním i abiotickým činitelům jako jsou vichřice či záplavy. Stromové patro lesa však může negativní vliv celosvětového oteplování do značné míry zpomalit a zmírnit. Stromy na své blízké okolí působí nejen velikostí olistěné koruny, kterou zachycuje velké množství srážek a dopadajícího slunečního záření, ale také mohutností kmenů a tvarem kořenového systému. Dá se předpokládat, že vyšší druhová bohatost směsi lesních dřevin, tedy nižší homogenita prostředí porostu, pozitivně ovlivní mikroklimatické podmínky podrostu. Tato práce má za cíl zjistit vliv dřevinné skladby a stupně smíšení na mikroklima lesního ekosystému, jelikož v současnosti empirická data pro termofilní opadavý les v Itálii doposud chybí.

Motivací k výběru zadaného tématu mi, jako autorovi, byla možnost zapojení do celoevropského programu, díky kterému budu moci z první ruky přispět k probíhajícímu bádání, které zkoumá možnost boje s globálním oteplováním. Zároveň pro mě byla lákavá vidina prohloubení znalostí o jiných typech lesa, než je v ČR převažující temperátní. Konkrétně mě nejvíce oslovil, z daného výběru, les dubový v italském Toskánsku.

Výzkum probíhal v rámci projektu FunDivEUROPE, který si dal za cíl spojit vědecké týmy Evropy, aby kvantifikovali vliv biodiverzity na funkce a služby lesa. Monitorování probíhá v šesti hlavních lesních typech evropského kontinentu, do kterých spadá mimo jiné i teplomilný opadavý les pahorkatiny Colline Metallifere v Toskánsku. Nespornou výhodou zapojení do tohoto projektu je možnost výzkumu na již etablovaných plochách, tudíž lze navazovat na předešlá měření a není nutné zjišťovat například podmínky podloží, klimatu, druhovou skladbu a jiné, což znamená úsporu nejen finanční, ale také časovou. Na 36 plochách byla v podrostu měřena půdní vlhkost a teplota půdy, hrabanky a ovzduší.

2. Cíle

Bakalářská práce si klade za cíl zkoumat a kvantifikovat vliv druhové skladby a jejího smíšení na mikroklimatické podmínky v podrostu termofilního opadavého lesa v toskánské pahorkatině v Itálii, konkrétně v oblasti Colline Metallifere.

Cílem bakalářské práce je potvrzení či vyvrácení hypotézy, že vyšší druhová skladba lesa má pozitivní vliv na mikroklimatické podmínky podrostu.

V podrostu byla měřena půdní vlhkost a teplota půdy, hrabanky a ovzduší. Pozorování probíhalo v rámci období od začátku roku 2018, po konec roku 2021.

3. Rozbor problematiky

3.1. Lesní mikroklima a co jej ovlivňuje

Mikroklima je definováno jako klima oblastí o horizontálním rozměru do 1 km a do výšky desítek metrů, či jako klima oblastí s homogenním aktivním povrchem, jde například o lesy, pole, města, ulice ve městech a podobná jednoduše popsatelná stanoviště (Kraus, 2005).

Pojem mikroklima je definován jako klimata určitého a většinou poměrně malého prostředí v porovnání s makroklimatem, které rozlohou přesahuje stovky km². Prostor, pro který se klima zkoumá, vždy záleží na úhlu pohledu daného vědního oboru. Zkoumané fyzikální veličiny jsou nejčastěji teplota, vlhkost a množství dopadajícího slunečního světla (Holton et al., 2003). V této práci se mikroklima zkoumá z pohledu lesní ekologie, bude tedy brán v potaz vždy určitý lesní porost s definovanou druhovou skladbou.

Lesní porost je prostředí velmi proměnlivé, ač se na první pohled může zdát opak pravdou. Interakce mezi biotickými a abiotickými činiteli neustále mění fyzikální parametry a vlastnosti tohoto otevřeného systému. Mezi nejvýznamnější biotické činitele řadíme floru, hlavně tedy stromy a keře, dále pak byliny. Stromy, respektive jejich korunový zápoj, ovlivňují místní podrostní klima, a to ve všech veličinách jej definujících. Ve slunečním ozáření, teplotě půdy i vzduchu v podrostu, vlhkosti vzduchu, množství srážek dopadajících na půdu a rychlosti proudění vzduchu, přičemž nejvýraznější ovlivnění těchto veličin je pozorováno v případě dospělých porostů se silným korunovým zápojem, tedy vysokou hodnotou LAI (Aussenac, 2000)

Hodnotou indexu listové plochy (LAI) můžeme kvantifikovat plochu, kterou korunový zápoj zastíňuje, je to tedy plocha zápoje podělena plochou půdy v podrostu. Nejčastěji se uvádí s jednotkou m²*m⁻², či bezrozměrně. Častou, sice méně přesnou, metodou zjišťování LAI je pořízení takzvané hemisférické fotografie, kdy se pomocí speciálního objektivu pořídí fotografie korunového zápoje proti obloze. Z fotky se následně LAI vyhodnocuje. Mezi přesnější metody zjišťování výše zmíněného indexu patří například metody přímého měření, které mají často destruktivní charakter. Při tomto měření se na zkusné ploše provede sběr listových orgánů rostlin, u kterých se dále počítá jejich plocha. LAI lze také vyhodnocovat nepřímo a nedestruktivně pomocí senzorů dopadajícího slunečního záření (Chianucci & Cutini, 2012).

V případě vysoké hodnoty LAI bylo pozorováno snížení dopadajícího slunečního záření do podrostu, ale zároveň změna spektra v dopadajícím světle. Část spektra dopadajícího záření, která je potřebná pro fotosyntézu, byla pohlcena listovou plochou v korunách. Jde o takzvanou PAR část škály (fotosynteticky aktivní záření), která je složena z červené, oranžové a modré části spektra. Toto má za následek suboptimální dopadané množství PAR pro podrost v keřovém a bylinném patře. Tento efekt je znatelnější u lesů listnatých v porovnání s lesy jehličnatými. (Aussenac, 2000)

U volných prostranství, jako jsou louky, pole a holiny, jsou výkyvy teplot vzduchu v denním i sezónním režimu často znatelné. Oproti tomu lesní porost byl popsán jako jakýsi teplotní regulátor, který dokáže vyvážit rozdíly teplot dnů a nocí, ale také sezónní rozdíl léta a zimy. Podobný jev lze pozorovat, respektive měřit, i u půdní teploty. Půdy, na kterých se nachází lesní ekosystém jsou v zimních obdobích teplejší o průměrně 0,5 °C a v letních chladnější až o 5 °C v porovnání s teplotami půd na holinách. Tato sumarizace je však silně zjednodušená, jelikož problematika výkyvů teploty půdy a vzduchu je taktéž závislá na sezónnosti makroklimatu, nadmořské výšce, půdní vlhkosti, či na členitosti a svažitosti terénu (Aussenac, 2000; von Arx et al., 2013). Bylo však popsáno, že čím hlouběji v lesním porostu je prováděno měření, tím více je podrost ochlazován v horkých měsících, respektive chráněn před chladem v zimních měsících. Tato heterogenita pozorovaného jevu je způsobena vzdáleností od lesního pláště, kdy na plochách blíže okraje lesa je vyšší rychlost proudění vzduchu, nižší hustota olistění a nižší vlhkost vzduchu (de Frenne et al., 2021).

Této regulace teplot hustě olistěnými porosty je možné využít v boji proti globální změně klimatu, je totiž pozorována korelace mezi trendy globálního makroklimatu a lokálních mikroklimat (de Frenne et al., 2013, 2021).

Korunový zápoj silně ovlivňuje vodní bilanci svého okolí. Velké množství dopadajících vertikálních srážek je zachyceno listovou plochou, kde je buď pohlceno nebo se z listové plochy odpaří. Tato vlastnost odpaření z plochy rostliny se označuje jako intercepce. Ze zachycené vody vertikálních srážek tvoří dešťová voda podíl téměř 100 %, sněhové srážky nejsou brány v potaz (Podrázský, 2014). Stromové patro dokáže skrze listovou plochu zadržet mezi 35 a 40 % ročních srážek, bylinné patro zadrží až zhruba 5 % z ročních srážek (Aussenac, 2000). S vyšším korunovým zápojem, a tedy vyšším zastíněním, se snižuje složka evapotranspirace, tedy množství výparu jednak

rostlin, ale také půdy. Zvýšení výparu má za následek ochlazení podkorunové teploty (Podrázský, 2014).

Spadne-li půdní vlhkost pod bod vadnutí (BV), při tomto fenoménu jsou rostliny vystaveny dlouhodobému stresoru v podobě sucha, začínají vadnout. Pokud je překročena hodnota BV pouze krátkodobě, resilientní rostliny dokážou po obnoveném přísunu vody do systému navrátit buněčný turgor a přežívají. Trvalo-li by vystavení rostliny stresu suchem dlouhodobě, pak jedinci ztrácí schopnost navrácení do původního stavu a odumírají. Jedinci, či celé porosty, které jsou dlouhodobě ovlivněny suchem ztrácí taktéž schopnost obrany proti biotickým činitelům, například podkornímu hmyzu (Suchomel et al., 2014).

Opadanka, tvořena převážně mrtvými rozkládajícími se listy a dalším lesním odpadem, hraje důležitou roli v ovlivnění mikroklima podrostu. Vrstva listů, mrtvých rostlin, větví a klacíků pomáhá stabilizovat výkyvy teplot půdy, funguje tedy jako tepelně izolační vrstva. Tato vrstva funguje v horkých měsících jako izolant půdy od horkého vzduchu a v chladných měsících jako bariéra při zpětném vyzařování tepla z půdy do ovzduší. Množství dopadajícího světla na půdu je zmenšeno díky jejímu krytí opadankou. Dále dokáže zadržet velké množství vody a pomáhá postupně uvolňovat vláhu, což má za následek, že půdní vlhkost je vyšší pod vrstvou opadaných listů než na holé půdě. (Kovács et al., 2017)

Lidská činnost má často negativní vliv na tyto interakce v lesním prostředí. Zejména změnou přirozené druhové skladby, prosvětlováním celků až holosečí a následném vysazování ekonomicky výhodných dřevin, které na stanovištích nejsou autochtonní. Při pasečném způsobu hospodaření je po vymýcení svrchní vrstva půdy vystavena skokově vyššímu slunečnímu záření, čímž je vysušena. Zároveň se ale při odebrání stromových jedinců spodní půdní vrstvy často zamokří důsledkem pozastavení odbytu vody kořeny stromů – desukcí. Takovéto zamokření stanovišť má za následek uléhání půd a zpomalení obnovy lesa. Uléhání půd je taktéž lokálně podmíněno využitím těžké techniky při těžbě dříví. Dále je také negativně ovlivněno proudění vzduchu v porostu, jelikož se v zápoji smýcením většího množství jedinců vytvoří mezera. Touto mezerou v zápoji může unikat vzdušná vlhkost, což zvyšuje výpar rostlin, a jednak je narušeno utlumení proudění vzduchu v lesním porostu, což může mít za následek mechanické poškození stromových jedinců (Podrázský, 2014).

3.2. Termofilní opadavý les

Dle EUNIS klasifikace habitatů jsou teplomilné opadavé lesy (T1-9) typy lesů rozkládající se zonálně v regionech submediteránních a extrazonálně ve vyšších polohách mediteránního klimatu. Tyto oblasti se rozprostírají od západu středního Španělska, dále přes jižní Francii, na severní středozevní části Apeninského poloostrova a pokračují na území Slovinska a bývalé Jugoslávie na Balkánském poloostrově, kde se vyskytuje tzv. lesostepní zóna východní Evropy. (Chytrý et al., 2020)

Jde o mezistupeň mezi severnějším klimatem euro-atlantickým, centrálním evropským, kontinentálním evropským a jižním klimatem mediteránním. Oproti klimatu, které je vhodné pro středozevní teplotní lesy, jsou zde mírnější zimy a horká, sušší léta. Na druhou stranu proti lesům stálezeleným tvrdolistým, které jsou typické pro podnebí středozevní, jsou zde tužší zimy, často se sněhovou pokrývkou (Chytrý, 2013).

Lesy tohoto typu bývají většinou světlé opadavé doubravy (*Quercetea pubecentis*) s rozvolněným stromovým patrem, menšinová složka druhové skladby mohou být stromy stálezelené. Podrost stromového patra je z velké části tvořen suchými trávničky a křovinami. Byliny zde rostou světle a teplomilné. Tyto teplomilné doubravy vytváří v oblastech jihoevropských pohoří unikátní vegetační stupeň – tzv. supramediteránní. Tento stupeň se většinou nalézá mezi horskými porosty buku a mediteránními stálezelenými porosty (Chytrý, 2013).

Podloží, která jsou pro růst teplomilných doubrav vhodné, jsou půdy středně hluboké až hluboké s vyšším obsahem živin. V takovýchto půdních podmínkách mohou stromy dosahovat výšky 15 až 20 metrů. Bonita je též ovlivněna dostatečnou vláhou a osluněním. Půdy s vyšším obsahem živin se nalézají na vulkanických horninách, jako je čedič, dále pak na spraších a vápencích (Chytrý, 2013).

Porosty však mohou být situovány i na skeletovitějších chudších půdách, které jsou pro růst méně příznivé. Poté se často jedná o nižší výšky kmenů, nejvíce 10 metrů. Jedinci na těchto mělkých půdách bývají kromě nízkého vzrůstu také pokroucení s prořídlymi korunami. Mezi takto nepříznivá stanoviště se řadí strmé výslunné svahy s kyselým kamenitým podkladem, či slaniska (Chytrý, 2013).

Nejčastějším tvarem porostu teplomilných doubrav je mozaikový, složený z nízkého či středního a vysokého lesa. Historicky se v těchto lesích hospodařilo formou výmladkového hospodářství, které je typické pro nízký les (Chytrý, 2013).

Lesní porosty tohoto typu jsou nejvíce ovlivněny a ohroženy lidskou činností a problémy na ni navazujícími. Největším rizikem u těchto lesů je půdní eroze a postupné snižování živin v půdě, což je způsobeno historickým hrabáním opadu, které sloužilo jako stelivo pro hospodářská zvířata, dále se zde provádělo klučení pařezů a výmladkové hospodářství (Suchomel et al., 2014). Dalším činitelem, který ohrožuje místní vegetaci, je zvěř, a to především divoká prasata či srnci. Zvěř okusuje zejména mladé semenáčky a požírá semennou banku žaludů, čímž oslabuje přirozené zmlazení a dává tak větší prostor konkurenčně silnějším zavlečeným druhům. Duby v porostech jsou nejčastěji vytlačovány akátem (*R. pseudoacacia*). Část původních dubových porostů se nacházela na zemědělsky atraktivních stanovištích, tyto porosty byly v minulosti vytěženy a nahradila je pole či pastviny. Zbytek původních porostů, který se nenachází na takovýchto stanovištích, roste zejména na špatně přístupných místech, jako jsou údolí a svahy zdejší kopcovité krajiny (Drescher-Schneider et al., 2007).

Na území Colline Metallifere je většina těchto lesů součástí místních chráněných oblastí. Zdejší lesní celky byly z většiny dříve obhospodařovány, ale v dnešní době je těžba ukončena. Nejedná se tedy dle definice FAO o lesy primární, ale o lesy přirozeně obnovující se – „naturally regenerating forests“ (FAO, 1967).

3.3. Hlavní dřeviny teplomilného lesa v oblasti Colline Metallifere

Quercus petraea (Liebl., 1784) – dub zimní (drnák). Dvacet až třicet metrů dorůstající strom s válcovitým kmenem a širokou korunou. Dub zimní je teplomilná a světlomilná dřevina uzpůsobena k růstu na stanovištích s nižšími ročními srážkami. Roste na propustných půdách, často kyselých, ale může růst i na vápenci. Na chudých mělkých substrátech často zakrslý. Spolu s ostatními duby má ve stáří soustavu jednoho křovitého kořene s horizontálními a vedlejšími vertikálními kořeny. Rozšířen je po celé Evropě, vyjma severních oblastí (Hejný & Slavík, 2003).

Quercus cerris (L. 1753) – česky dub cer (slovenský). Strom se štíhlým kmenem dorůstající 20 až 30 metrů. V porovnání s dubem zimním je teplomilnější a má nižší nároky na srážky a bohatost půd. Nároky na světlo jsou střední, často se vyhýbá substrátům bohatým na vápník. Původní v submediteránní a mediteránní oblasti JV Evropy, pěstován pro kvalitní dřevo využívané např. na výrobu dřevěného uhlí (Hejný & Slavík, 2003).

Ostrya carpinifolia (Scop. 1772) – česky habrovec habrolistý. Nižší strom dorůstající 10 metrů s kulatou či vejčitou korunou. Habrovec preferuje kamenité svahy a úžlabiny na úpatí dolomitových hor, které jsou bohaté na obsah vápníku. Je to druh odolný vůči suchu a dobře snáší přímé oslunění. Původní v horských a podhorských lesích jižní a jihovýchodní Evropy, kde se vyskytuje v podúrovni lesního porostu. Jde o dřevinu hospodářsky nevýznamnou (Leugnerová, 2008).

Quercus ilex (L., 1753) – česky dub cesmínovitý. Jedná se o jedinou stálezelenou dřevinu zkoumané oblasti. Jedinci dorůstají 20 metrů a mají širokou korunu. Roste často na extrémních stanovištích ve formě zakrslého keře. Tyto stanoviště jsou často strmé kamenité svahy přímořských oblastí. Dominantní dřevina vysoké macchie. Původní oblastí je mediterán západní Evropy (Mrázek, 2009)

Castanea sativa (Mill. 1768) – česky kaštanovník jedlý, je teplomilná dřevina se statným kmenem, dorůstající 20 až 30 metrů, hojně vyskytující se v oblastech s vegetační dobou dlouhou až půl roku. Kořenový systém je ve tvaru jednoho kúlovitého kořene s hustou sítí bočních kořenů. Dřevina stín-tolerantní, stín snáší lépe než duby. Daří se jí na půdách bohatých na draslík a půdní vlhkost. Původní rozšíření v submediteránních oblastech Itálie, Španělska, Řecka a Černého moře. Pro její vzhled a jedlé plody nyní rozšířena v teplých oblastech téměř celé Evropy (Hejný & Slavík, 2003).

4. Metodika

4.1. FunDivEUROPE

Vytvoření zkusných ploch, mimo jiných i toskánských, je výsledek dlouholeté vědecké spolupráce v rámci projektu FunDivEUROPE (Functional Significance of Forest Biodiversity in Europe). Cílem projektu bylo vybudovat zhruba 300 stálých zkusných ploch v 6 hlavních evropských typech lesů, na kterých mohou týmy badatelů z celé Evropy provádět svá pozorování. Plochy byly rozmístěny od lesů boreálního Finska, přes temperátní porosty lesů v Německu až po termofilní opadavé lesy středomořské Itálie. Tato práce využívá 36 vytyčených ploch v Itálii, konkrétně v teplomilném opadavém lese pahorkatiny Colline Metallifere (Baeten et al., 2013).

Hlavním cílem výzkumů by mělo být zkoumání vztahů diverzity a fungování ekosystémů ve strukturálně komplexnějších ekosystémech (Baeten et al., 2013). Jako například v této práci – jak působí druhová skladba na mikroklima.

Výběr míst pro založení ploch byl řízen několika kritérii. Všechny plochy se musely nacházet v porostu, který byl dříve lesnický obhospodařován a v dnešní době se jedná buď o les výběrový nebo les s minimálním až nulovým zasahováním. Dále bylo důležité vybrat takové porosty, kde mají jednotlivé druhy skladby podobný či stejný podíl. Po výběru vhodných míst byly vybudovány čtvercové plochy o straně 30 m (plocha 900 m²). Tyto čtverce byly dále dorozděleny na devět plošek, každá o výměře 100 m². Ke každé ploše byl vypracován schématický nákres s pozicemi stromů a změřena DBH. Vyznačení rohů ploch bylo dřevěnými kolíky (Baeten et al., 2013).

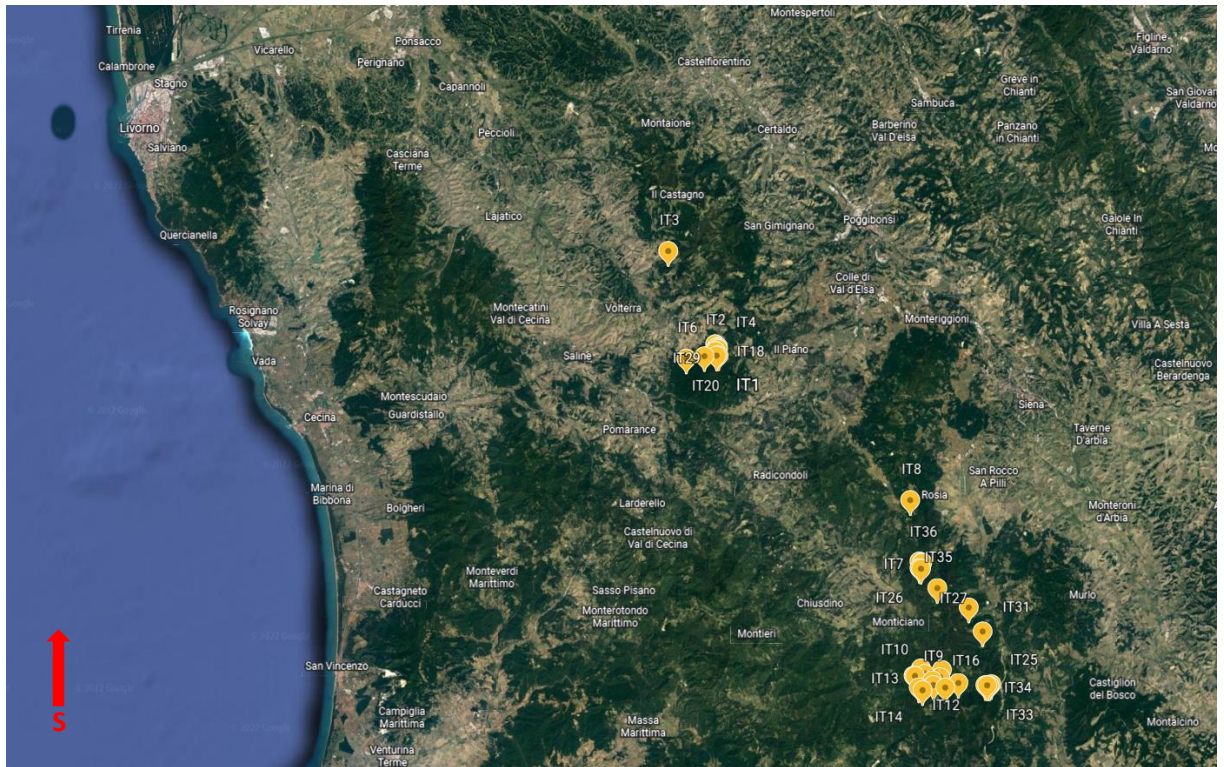
Výhodou takto vytvořených ploch je jejich stálost a možnost navazování výzkumů různých vědeckých týmů na sebe, je-li známo u každé plochy půdní složení, stromové patro, klimatické podmínky. Jednotlivé výzkumy tedy mají pevné základy a nemusí zjišťovat právě takovéto základní informace při novém výzkumu.

4.1.1. Studované území

Výzumné plochy této práce, kterých se na území nachází 36, jsou rozesety v nižších nadmořských výškách, a to od 260 do 525 m. Oblast, na které jsou zkusné plochy rozmístěny, má rozlohu cirká 2500 km² a nachází se zhruba 80 km jihovýchodně od města Livorno. Plochy byly vytyčeny v několika rezervacích na porostech vlastněných státem – jedna v rezervaci „Riserva Naturale di Montenero“, 10 v „Berignone Nature Reserve“, 8 v okolí „Poggio al Gallo“ a 17 v „Riserva Naturale Farma“. Druhové složení stromového patra je na plochách odlišné, od monokulturních až po čtyřdruhové směsi (viz Příloha 1), nejmladší porost je 30 let starý, nejstarší porosty mají cirká 80 let. Všechny sledované porosty byly více etážové, až na jednu výjimku, kde byla struktura porostu jedno etážová. Rozmístění jednotlivých italských ploch v rámci projektu FunDivEUROPE viz Obrázek 1.

Dřevin, které tvoří hlavní stromové patro v oblasti toskánské vrchoviny, je 5. Jsou to *Castanea sativa* (Mill.), *Ostrya carpinifolia* (Scop.), *Quercus robur* (L.), *Q. petraea* (Liebl.), *Q. cerris* (L.) a *Q. illex* (L.), který je jako jediný z nich neopadavý. Porosty byly dříve lesnický obhospodařovány pro těžbu dříví, *C. sativa* byla historicky sázena pro produkci jedlých kaštanů, poté byla postupně ponechána volně růst bez hospodářských zásahů (Baeten et al., 2013).

Matečná hornina pod převážnou většinou ploch je křemičitého původu, nejvíce slepence a pískovce. Průměrná hloubka půdního substrátu byla 68 cm a všechny plochy se nacházely na půdě kambizemního typu.



Obrázek 1: Jednotlivé plochy projektu FUNDivEUROPE v Itálii, označení IT 1 až 36. Město Livorno (levý horní roh) je od ploch vzdáleno zhruba 80 km severozápadně. Zdroj: <https://earth.google.com/web/>

4.2. Popis oblasti – Itálie, Toskánsko, Colline Metallifere

Itálie je stát ležící z větší části na Apeninském poloostrově ve Středomoří, tomu odpovídá středomořské klima, které je typické horkým létem a krátkou mírnou, často deštivou zimou. Na severu je Itálie oddělena bariérou Alp, kde je klima velehorské s mrazivými zimami. (Bateman, G. & Egan V., 1994)

Studijní plochy sledované skrze tuto bakalářskou práci se nacházejí ve středo-východní části italského Toskánska v pohoří Colline Metallifere, v italském překladu „*Kovo-nosné hory*“ či „*Rudo-nosné hory*“ a jsou součástí Antiapenin. Název naznačuje poměrně vysoké nerostné bohatství, které místní hory skrývají a které bylo již od středověku těženo. Krystalický masiv byl těžen převážně pro měď, stříbro, olovo a zdejší lesní porosty byly těženy zřejmě pro potřeby spojené s důlní činností (Benvenuti et al., 2014). Colline Metallifere tvoří středně prudké kopce a nižší hory (viz Obrázek 2), nejvyšší vrchol pohoří je Cornate di Gerfalco s výškou 1060 m. n. m.

Klimatické podmínky Toskánska jsou oceánické – středomořské, na plochách byla naměřena průměrná roční teplota 13 °C a průměrné roční srážky činily 850 mm (viz Příloha 1) (Baeten et al., 2013).



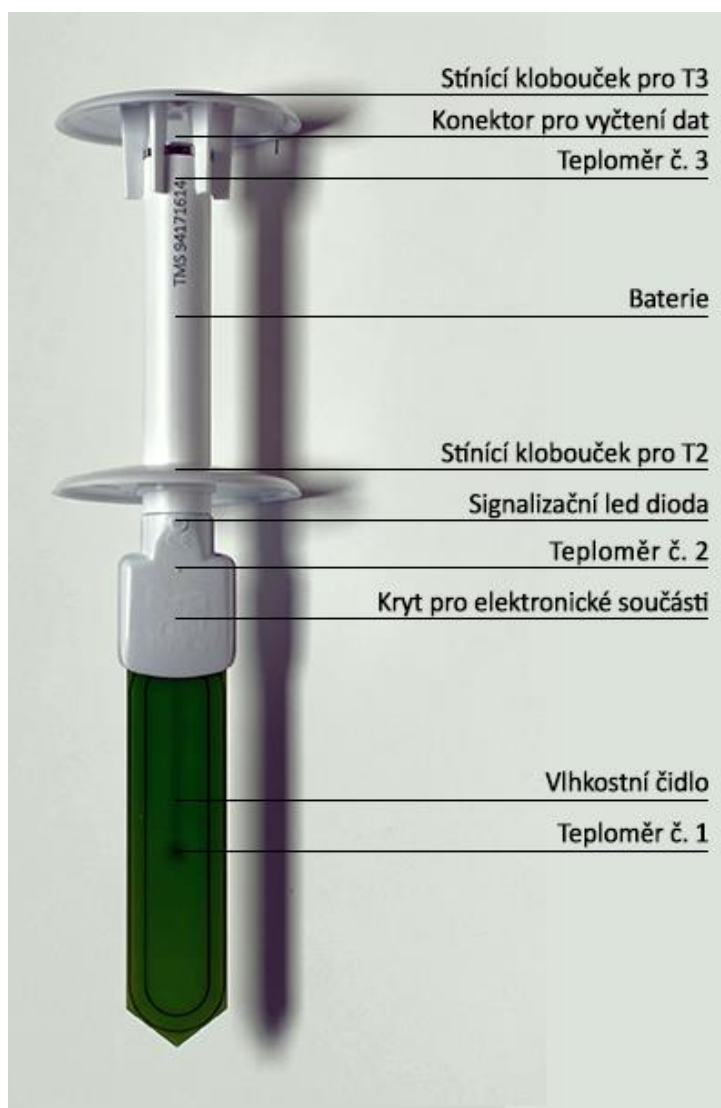
Obrázek 2: Ilustrační obrázek rázu krajiny Colline Metallifere a okolí.

4.3. Tomst TMS-4

Pro získávání dat ze zkušných ploch bylo při tomto výzkumu využito sond od české firmy TOMST s.r.o. A to konkrétně základního modelu TMS-4. Datalogger TMS-4 byl pro tyto účely vybrán hned z několika důvodů.

Pro její malou velikost se sonda vzrůstem podobá nižším bylinám a dokáže tedy lépe hodnotit teplotu a vlhkost právě v tomto přízemním patře lépe než jiné meteorologické stanice, které většinou měří 2 metry nad zemí. Snímána je teplota hned na 3 místech: T3 (vzdušná teplota) – měřena 15 cm nad substrátem; T2 (teplota na povrchu) – měřena 0 až 2 cm pod povrchem substrátu; T1 (půdní teplota) – měřena 8 cm pod povrchem. Další výhodou zvolené sondy je její schopnost snímat půdní vlhkost cca 14 cm pod povrchem, čímž zjišťuje množství vláhy poskytované půdním substrátem rostlinám. Datalogger se na první pohled skládá ze 2 spojených částí. První část je bílá plastická

trubice nad povrchem, která obsahuje lithiovou baterii, senzory teploty pro T2 a T3, kovovou koncovku sloužící jako port pro přenos dat a desku se softwarem, který sondu řídí. Na teplotní čidla vyskytující se nad povrchem se doporučuje zastínění štíty, které chrání senzor před přímým slunečním zářením, jež by mohlo razantně změnit hodnoty. Druhou částí tvořící celek je zelená čepel z poloprůhledného plastu, kterou se sonda umísťuje do země a zároveň obsahuje senzor půdní teploty T1 a senzor pro zjišťování půdní vlhkosti. Celé tělo sondy je vyrobeno z ořezuvzdorných materiálů a je voděvzdorné pro vyšší odolnost před deštěm, povodněmi, ale taktéž před prašným prostředím. Životnost TMS-4 je ovlivněna především délkou života lithiové baterie, která se odhaduje na 10 let, respektive více či méně – záleží na prostředí, kde je sonda umístěna. Velikost paměti je při základním nastavení, které snímá data každých 15 minut, zhruba 14 let. (Wild et al., 2019)



Obrázek 3: Sonda na měření teplot a půdní vlhkosti TMS-4 použita v rámci výzkumu. Zdroj: TOMST s.r.o.

4.4. Zpracování dat

Umísťování sond na sledovaná území probíhalo od jara roku 2018. Dataloggery začaly zaznamenávat data hned po kompletaci v továrně a měřily i při přepravě na plochy, proto bylo nutné data po stažení zanalyzovat a vyčistit tato měření. Stejně tak byla vymazána data chybná či něčím narušená. Prvně však bylo nutné plochy navštívit a data stáhnout. To se dělo v listopadu roku 2021. Pro stažení dat do počítače byl použit TMD adaptér dodávaný firmou TOMST s.r.o., který se spojí s TMS-4 pomocí magnetického konektoru, spolu se softwarem *Lolly Manager*. Data jsou ze sondy stažena ve formátu datového souboru .csv, vždy pojmenovaného číslem, které značí identifikační číslo (ID) sondy.

Pozorované veličiny ve sledovaném období jsou objemová půdní vlhkost, měřena v hloubce zhruba 14 cm. Půdní teploty T1 a T2 byly měřeny v hloubce 8 a 0 až 2 cm pod zemí respektive. Teplota vzduchu T3 byla měřena cirká 15 cm nad povrchem půdy pod ochranným kloboučkem, který čidlo chránil před přímým slunečním světlem.

Čištění a další analýza dat byla provedena v programu *RStudio*, grafické nástavbě pro statistický program R. Pro uživatelsky přívětivé prostředky k práci s daty bylo využito balíčku *PLOTeR*.

Bylo nutné projít data ze všech sond, myšleno u každé sondy teploty T1, T2, T3 a půdní vlhkost, vymazat jednak záznamy před umístěním dataloggeru na plochu a jednak záznamy, které se vychylovaly z předpokládaného trendu. Taková data byla nejčastěji u půdní teploty T1, kdy divoká zvěř vytrhla sondu ze země a půdní teploměr pak měřil teplotu vzdušnou, to se také promítlo do chyb při měření půdní vlhkosti. Dalším často mazaným záznamem byla chyba teploměru, kdy na určitou dobu senzor přestal měřit danou teplotu. Integrovaný software poté úmyslně vložil teplotu -100 °C, aby bylo mazání chybných dat při následné analýze jednodušší. Tato chyba se nejčastěji vyskytovala u senzorů vzdušné teploty T3. Po projití veškerých sad dat všech sond byl výsledek exportován, opět jako datový soubor .csv. Při mazání dat byl veden seznam smazaných časových rozsahů a typů dat pro případnou opravu.

Následně bylo nutné převést data pomocí skriptu v R na data.frame, změnit formát data a přepsat ID loggerů do formátu umožňující zpracování pomocí *PLOTeRu*. Poté byl interval měřených dat pomocí *PLOTeRu* redukován z jednoho snímání za 15 na jedno snímání každou hodinu pomocí integrované funkce pro zprůměrování hodnot.

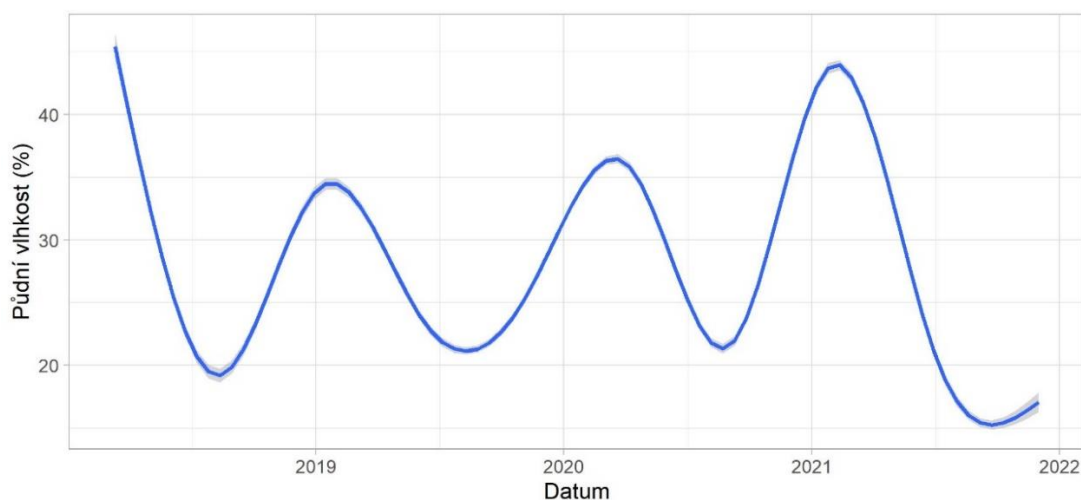
Pomocí dalšího skriptu byla v *RStudio* všechna data sloučena do jednoho souboru a spojena s metadaty – např. pojmenování druhů stromů ve směsi. Z takto spojených dat byla vypočtena denní maxima, minima, průměry a rozptyly hodnot. Před vytvořením grafů byla odmazána data před začátkem roku 2018, díky čemuž se zamezí vlivu nesjednoceného začátku měření sond na plochách. Z takto vyčištěných dat byla pomocí kontingenčních tabulek v MS Excel vyextrahovány čtvrtletní hodnoty a následně vloženy do tabulek.

Posledním krokem bylo vytvoření dvou druhů grafů pomocí balíčku *ggplot2*. Prvním druhem grafů byl čárový pro vlhkosti, teploty a rozptyl teplot dle bohatosti směsi. SR – species richness popisuje počet druhů stromů na zkoumané ploše, číslo 1 představuje monokultury a číslo 4 nejvyšší druhovou bohatost s čtyřmi druhy stromů na ploše. Podíl zastoupení jednotlivých dřevin není brán v potaz, jelikož plochy byly založeny tak, aby byly zastoupení přibližně stejné. Druhým typem grafů je hladký spojnicový graf vytvořený pomocí zobecněných aditivních modelů (GAM). U tohoto modelu je využito flexibilního prediktoru k vytvoření hladké funkce. Tento typ grafu byl využit pro jeho přehlednost. GAM grafy byly vytvořeny nejen pro SR, ale taktéž pro jednotlivé druhové směsi.

5. Výsledky měření

5.1. Půdní vlhkost

Ve sledovaném období byla v oblasti dvě poměrně sušší období, první v létě roku 2018 a druhé v pozdním létě 2021, těmto sušším obdobím předcházely relativně vlhčí zimy. Období let 2019 a 2020 bylo bez větších extrémů, jak je možné sledovat z Obrázku 4.



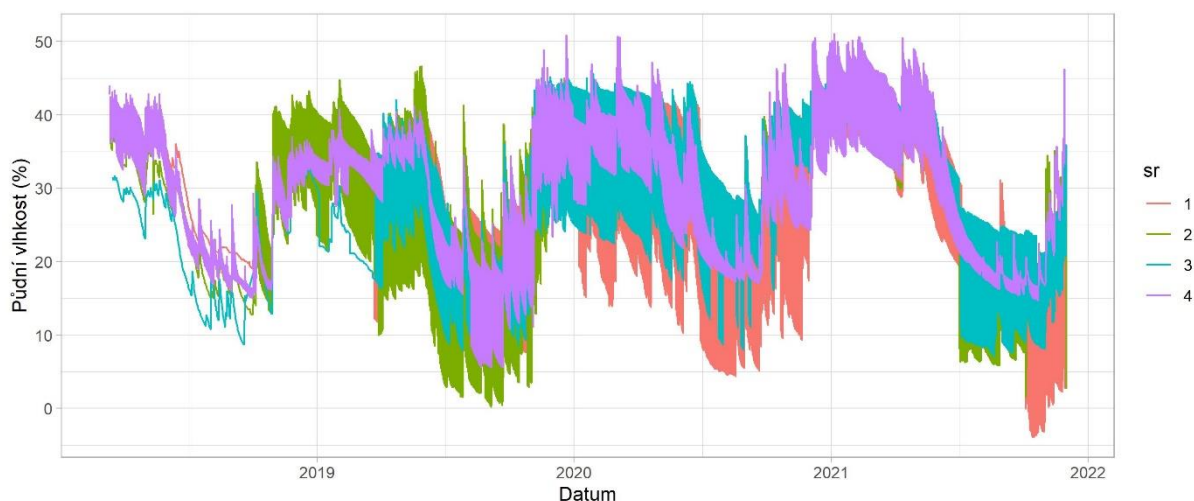
Obrázek 4: GAM model průměrné minimální vlhkosti oblasti v závislosti na čase

Porosty monokultur a dvou druhových směsí prokázaly v letních obdobích největší sucha – půdní vlhkost klesla v roce 2021 až k 10 % (viz Obrázek 5, 6). Naopak porosty bohaté druhové směsí (SR=4) ne vždy prokazují nejvyšší naměřené hodnoty, například v zimách 2019 a 2021 jsou vlhkosti monokultury i čtyřdruhové skladby téměř totožné – 35 a 42 %. Jak je však patrné z rozdílu tloušťky čár na Obrázku 5, porosty s nejvyšší bohatostí směsí vykazují nejmenší rozdíly minimální a maximální vlhkosti navazujících dní. Tento rozptyl je znatelně větší u monokultur i směsí dvou a třídruhových.

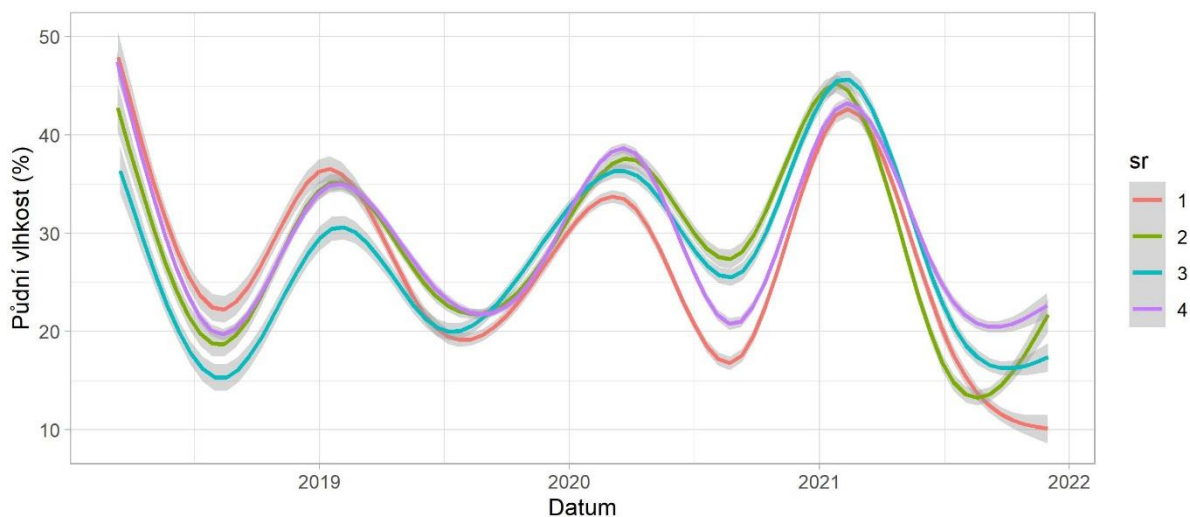
Obecně bylo pozorováno, že půdní vlhkost s rostoucí druhovou bohatostí roste, jak je možné sledovat v Tabulce 1. Průměrná roční vlhkost jednotlivých SR je následující – SR 1 = 26,55 %; SR 2 = 28,52 %; SR 3 = 28,46 %; SR 4 = 29,53 %. Rozdíl průměrné letní vlhkosti monokultur a SR 4 činí 3 %, je-li $Vlh_{SR1} = 15,9 \%$ a $Vlh_{SR4} = 18,9 \%$.

Tabulka 1: Průměrná vlhkost půdy dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty v %, tučně vyznačena nejvyšší letní vlhkost

| Vlh (%) | Čtvrtletí | | | | Průměr |
|----------|-----------|------|-------------|------|--------|
| | SR | 1/4 | 2/4 | 3/4 | |
| 1 | 34,6 | 29,8 | 15,9 | 26,0 | 26,55 |
| 2 | 34,4 | 31,8 | 17,7 | 30,2 | 28,52 |
| 3 | 34,8 | 32,3 | 18,2 | 28,6 | 28,46 |
| 4 | 36,5 | 33,4 | 18,9 | 29,4 | 29,53 |



Obrázek 5: Minimální denní vlhkost v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsí (SR – species richness)

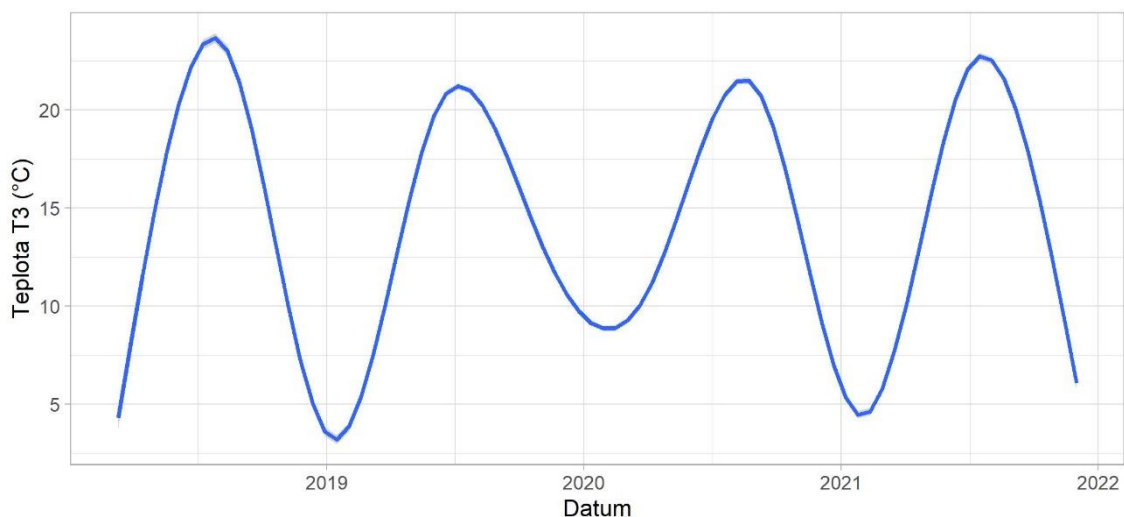


Obrázek 6: GAM model minimální půdní vlhkosti v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)

5.2. Teploty T1, T2 a T3

Průměrná podrostní teplota vzduchu celé sledované oblasti, podobně jako půdní vlhkost, poukazuje na mírnější období mezi zimou 2019 a 2021. Letní období let 2018 a 2021 byla oproti zbytku teplejší, ale rozdíl zde není markantní. Naopak zima 2020 byla oproti jiným měřením teplejší, a to o cirká 5 °C (viz Obrázek 7).

Dále jsou popsány chody měřených teplot v půdě a nad povrchem.



Obrázek 7: GAM model průměrné teploty vzduchu podrostu T3 v závislosti na čase

5.2.1. Půdní teplota T1

Teplota T1, měřena v půdním horizontu kořenového balu bylin, je z pohledu chodu teplot v denním cyklu nejvíce stabilní, myšleno že rozdíl noční a denní teploty je poměrně nízký (viz Obrázek 9). I když je rozptyl celkem stabilní, z dat je možné pozorovat rozdíl mezi monokulturou a druhově bohatšími směsmi. Rozpětí teploty T1 pro čtyřdruhové směsi činí, až na pár výjimek, 1 °C. Pro snižující se počet druhů na ploše se tento rozptyl zvětšuje a pro monokultury je největší (2 °C a v extrémech roku 2021 až 6 °C).

Obecně lze z pohledu půdní teploty tvrdit, že z období 2018 až 2021, kdy byla prováděna měření, byly letní měsíce 2018 nejteplejší. A to cirká o 2,5 až 3 °C než zbytek let, jak je patrné z Obrázku 10.

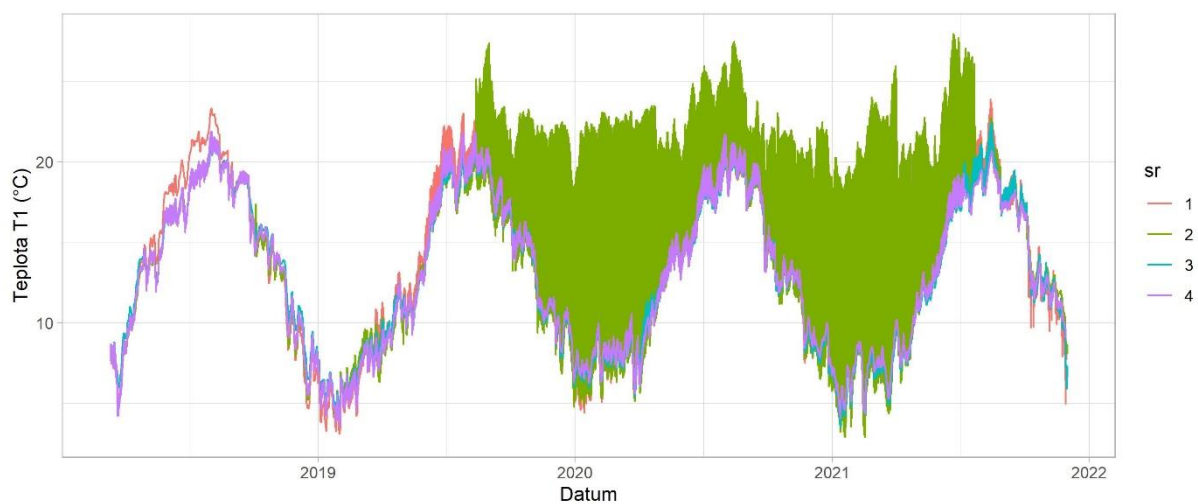
Nejnižší průměrná letní teplota půdy (18,70 °C) byla na plochách o SR 3 (viz Tabulka 2). Celkově se průměrná teplota půdy pohybuje těsně pod hranicí 13 °C.

Počet druhů stromů ve směsi výrazně neovlivňuje roční cyklus teploty T1, jak je patrné z Obrázku 10 a Tabulky 2. Na Obrázku 10 je možné sledovat nepatrně vyšší letní teploty u monokulturních porostů v porovnání se zbytkem hodnot SR. V zimním období jsou hodnoty půdní teploty podobné, až na zimu 2019, kde byla v monokultuře naměřena teplota nižší.

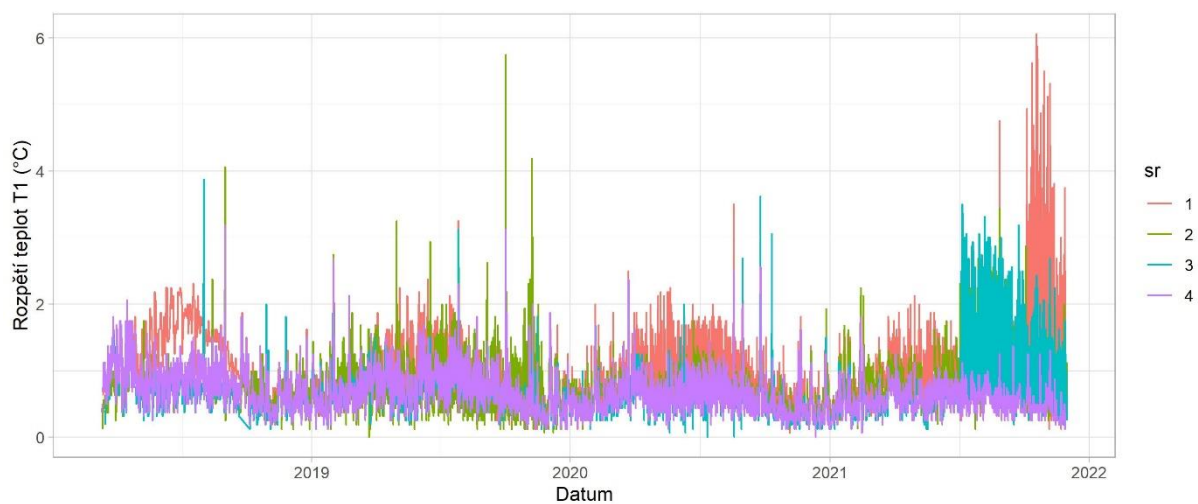
Jediná markantní odchylka od průběhu teplot je na ploše, kde je směs složena z *Q. cerris* a *Q. ilex*, což je z Obrázku 11 patrné ve smyslu posunu průměrných teplot po létě 2019 směrem vzhůru, a to až na cirká 24 °C v létě 2020 a 20 °C v následující zimě.

Tabulka 2: Průměrné půdní teploty T1 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota.

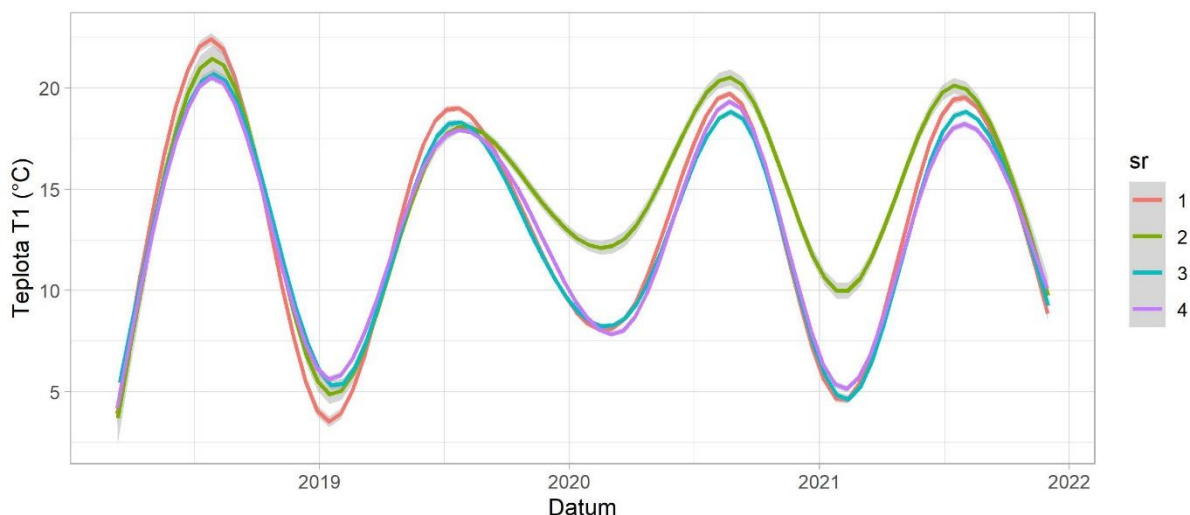
| T1 (°C) | Čtvrtletí | | | | Průměr |
|----------|-----------|-------|--------------|-------|--------|
| | SR | 1/4 | 2/4 | 3/4 | |
| 1 | 7,02 | 13,68 | 19,37 | 11,69 | 12,94 |
| 2 | 10,47 | 14,46 | 19,53 | 13,49 | 14,49 |
| 3 | 7,24 | 12,79 | 18,70 | 11,88 | 12,65 |
| 4 | 7,16 | 13,06 | 18,82 | 12,04 | 12,77 |



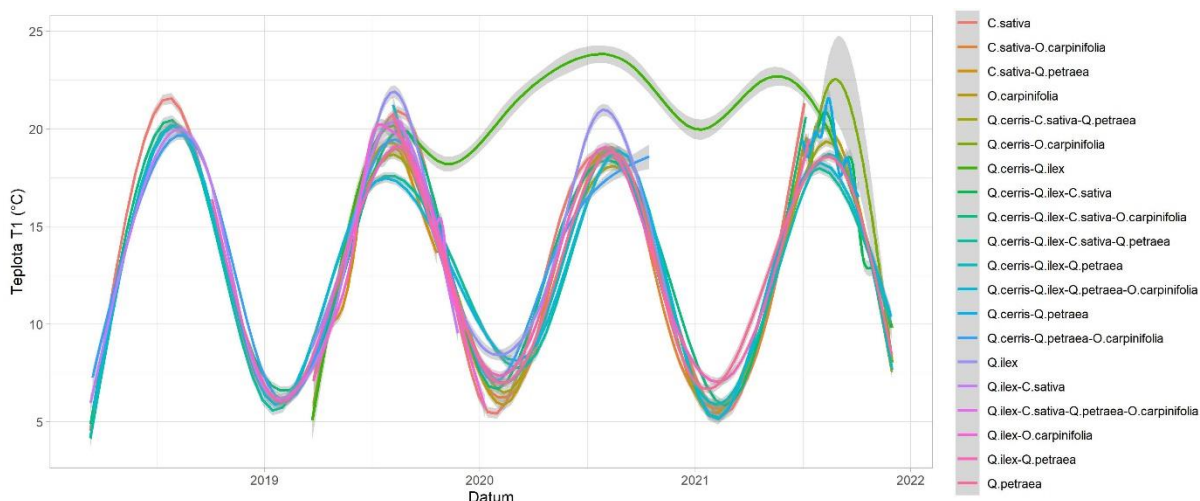
Obrázek 8: Průměrná denní půdní teplota T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 9: Denní rozptyl minimální a maximální teploty půdy T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 10: GAM model průměrné půdní teploty T1 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)



Obrázek 11: GAM model závislosti půdní teploty T1 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi

5.2.2. Půdní teplota T2

Teplota T2 byla měřena cirká 2 cm pod povrchem, dá se tedy tvrdit, že se jedná o pomezí teplot T1 a T3, čemuž také odpovídají zjištěné vlastnosti teploty T2. Občasné odkrytí hrabanky zvěří, a tedy exponování čidla teplotě vzduchu, může vést ke zvýšení rozptylu naměřených hodnot.

Z Obrázku 12 je patrné, podobně jako pro teplotu T1, že SR nemá na chody teplot z pohledu ročního cyklu výrazný vliv. Z Obrázku 14 lze pro SR 3 a 4 pozorovat nižší teplotu letních období a vyšší v zimních, v porovnání se SR 1 a 2. Tento rozdíl je markantní až v případě SR 2, konkrétně u druhové směsi *Q. cerris* a *Q. ilex*,

kde je stejně jako v případě teploty T1 měřena od přelomu let 2019 a 2020 výrazně vyšší teplota.

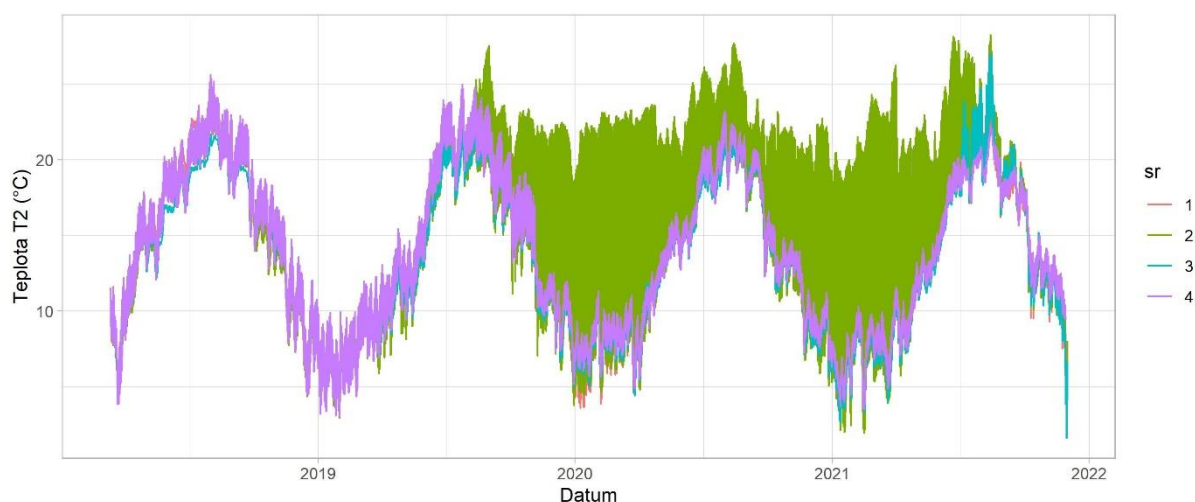
Průměrná letní teplota hrabanky se pohybovala okolo 20 °C. Nejlepších, respektive nejnižších, hodnot teploty T2 dosáhly porosty s 3 druhy ve směsi (viz Tabulka 3).

Na rozpětí teplot denního minima a maxima již druhová skladba vliv má, či spíše její bohatost. Porosty na počet druhů bohaté (SR 3 a 4) ukazují větší teplotní stabilitu než u monokulturních porostů (viz Obrázek 13). Čidla během ročních období zaznamenala větší rozptyl v letních měsících než v zimních. Pro SR 4 byl v letních obdobích rozptyl průměrně 2,5 až 3 °C a pro SR 1 až 5 °C. Data naměřena během zim vykazují podobné vlastnosti pro všechny druhové bohatosti, tedy rozpětí průměrně 1 až 2 °C.

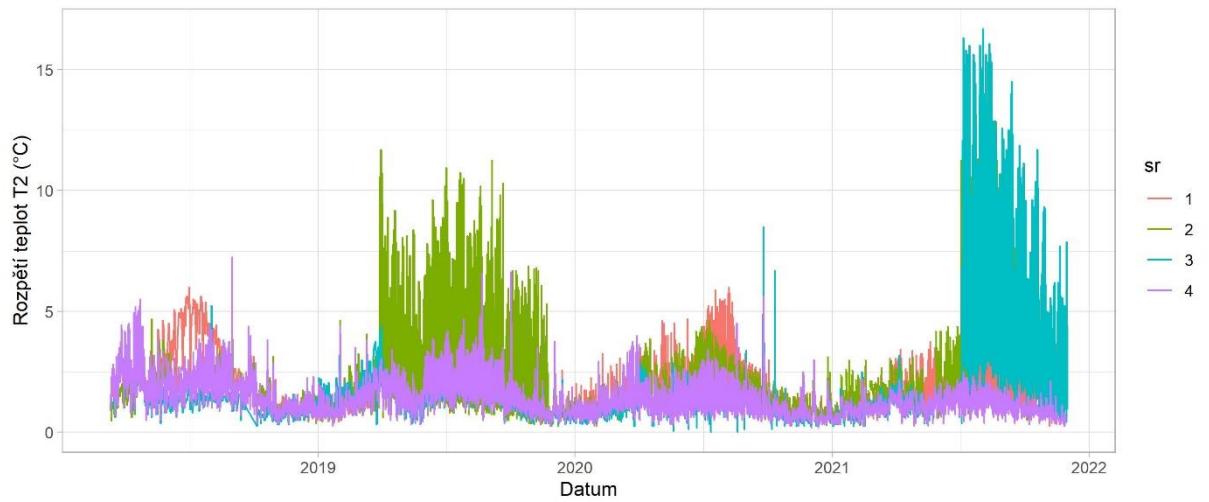
Sledujeme-li teploty na monokulturních stanovištích, pak je možné z Obrázku 15 vyhodnotit, že porosty *C. sativa* a *Q. ilex* vykazují nejvyšší hodnoty teplot v létě. Další nejteplejší hodnoty jsou pozorovány ve směsi *Q. cerris* – *O. carpinifolia*.

Tabulka 3: Průměrné půdní teploty T2 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota.

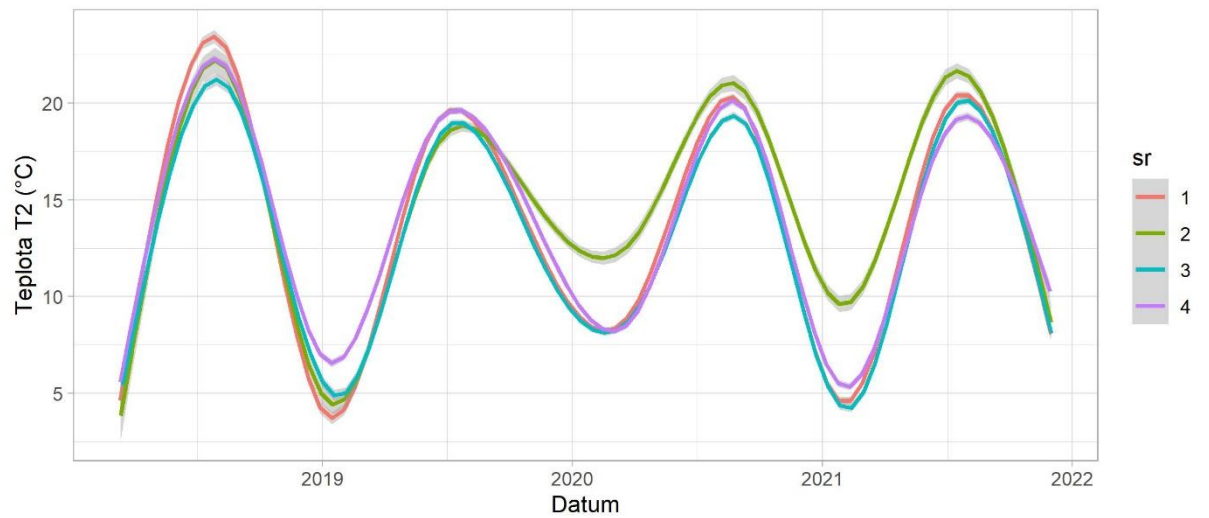
| T2 (°C) | Čtvrtletí | | | | Průměr |
|----------|-----------|-------|--------------|-------|--------|
| | SR | 1/4 | 2/4 | 3/4 | |
| 1 | 7,22 | 14,32 | 20,04 | 11,68 | 13,32 |
| 2 | 10,47 | 14,93 | 20,42 | 13,27 | 14,77 |
| 3 | 7,13 | 13,22 | 19,50 | 11,64 | 12,87 |
| 4 | 7,81 | 14,34 | 20,07 | 12,49 | 13,68 |



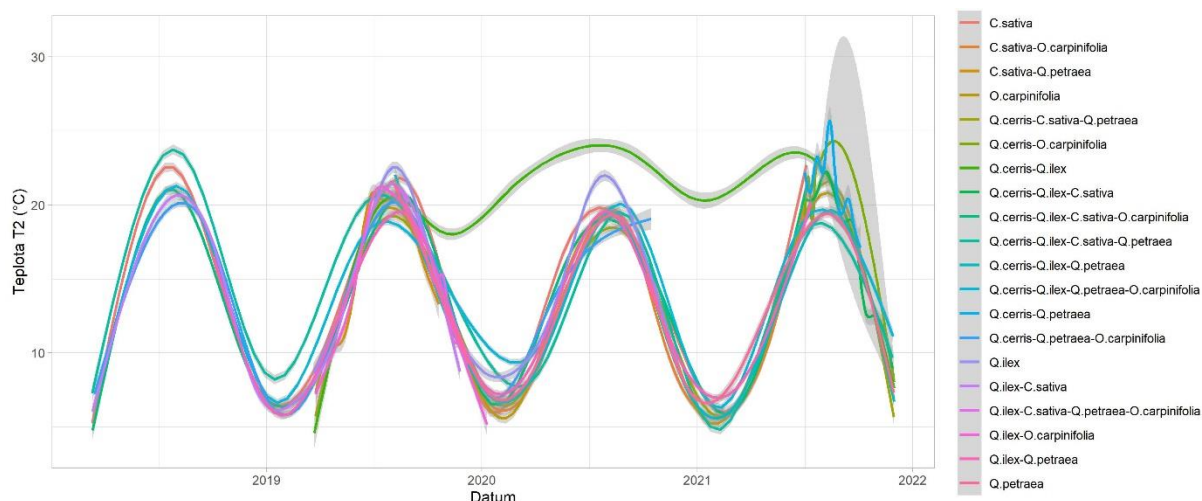
Obrázek 12: Průměrná denní půdní teplota T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 13: Denní rozptyl minimální a maximální teploty půdy T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 14: GAM model průměrné půdní teploty T2 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)



Obrázek 15: GAM model závislosti půdní teploty T2 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi

5.2.3. Teplota vzduchu T3

Jak je na první pohled patrné, tak teplota vzduchu bylinného patra v lesním prostředí je nejméně stabilní, myšleno že rozdíl denního minima a maxima je v porovnání s T1 a T2 největší (viz Obrázek 17). Absolutní hodnota rozptylu hodnot mezi nocí a dnem činila v extrémech až necelých 25 °C – léto 2020 a 2021. Rozdíl rozptylu teplot mezi porosty s různou druhovou bohatostí směsi není tak výrazný jako u půdních teplot T1 a T2, ale stále se dá tvrdit, že porosty druhově bohatší (SR= 3 a 4) vykazují, až na několik výjimek, nižší rozptyl než monokulturní a dvou druhové porosty (viz Obrázek 17).

Průměrná denní teplota vzduchu s ohledem na SR, respektive na složení směsi, je nejméně proměnlivá při porovnání s T1 a T2. Z Tabulky 5 lze vyčíst, že průměrná teplota vzduchu je pro všechny SR obdobná, tedy interval mezi 13,46 a 13,61 °C. Jedinou výjimkou je opět SR 2, kde porost *Q. cerris* a *Q. ilex* zvyšuje teplotní průměr na 15 °C. Nejnižší průměrné teploty byly vyhodnoceny na plochách SR 4, dále pak v monokulturách (viz Tabulka 5). Obecně lze tedy tvrdit, že teploty vzduchu jsou pro všechny porosty relativně bez rozdílu, tento jev lze sledovat na Obrázku 16 a Obrázku 18.

Průměrné letní teploty T3 jsou, v porovnání s půdními teplotami T1 a T2, vyšší. Porovnáme-li T1 s T3, rozdíl činí +2 °C u monokultur, +2,96 °C u SR 3 a +2,5 °C u SR 4. Dále je rozdíl T2 a T3 pro monokultury +1,37 °C, pro SR 3 +2,16 °C a SR 4 +1,3 °C (viz Tabulka 4).

Tabulka 4: Průměrné teploty letních měsíců mezi roky 2018 a 2021 dle jednotlivých druhových bohatostí. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena vždy nejnižší letní teplota

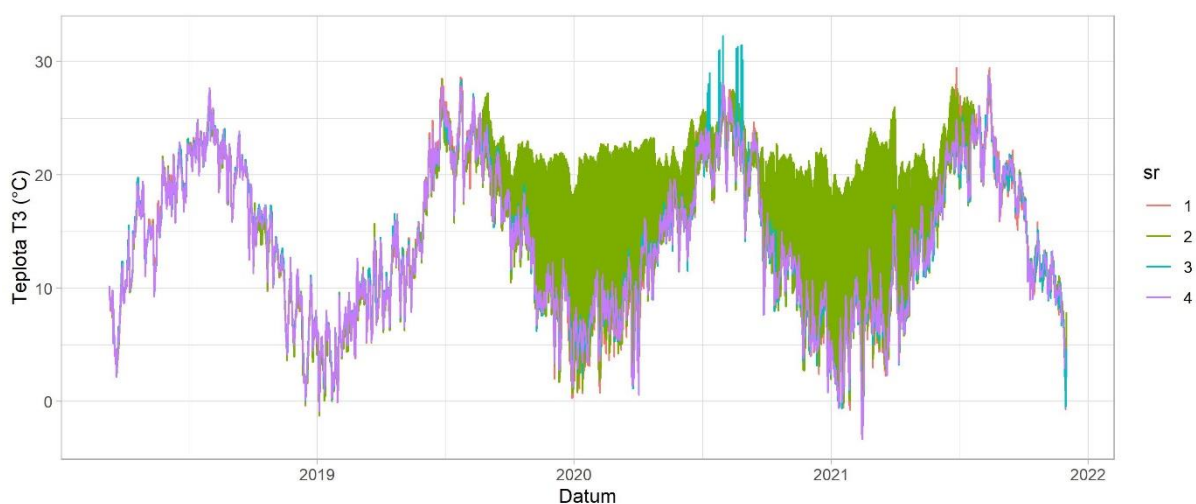
| SR | T1 (°C) | T2 (°C) | T3 (°C) | Průměr |
|----|--------------|--------------|--------------|--------|
| 1 | 19,37 | 20,04 | 21,41 | 20,27 |
| 2 | 19,53 | 20,42 | 21,58 | 20,51 |
| 3 | 18,70 | 19,50 | 21,66 | 19,95 |
| 4 | 18,82 | 20,07 | 21,37 | 20,09 |

Stejně jako v předchozích případech, tak i u teploty vzduchu porostu *Q. cerris* a *Q. ilex* vykazují posun průměrných teplot od zimy na přelomu 2019 a 2020. Dále pak byly nejvyšší průměrné letní teploty v porostech monokultur *Q. ilex* (léta 2019 a 2020 na Obrázku 19), *C. sativa* a *Q. cerris* a *O. carpinifolia* (léto 2021 na Obrázku 19).

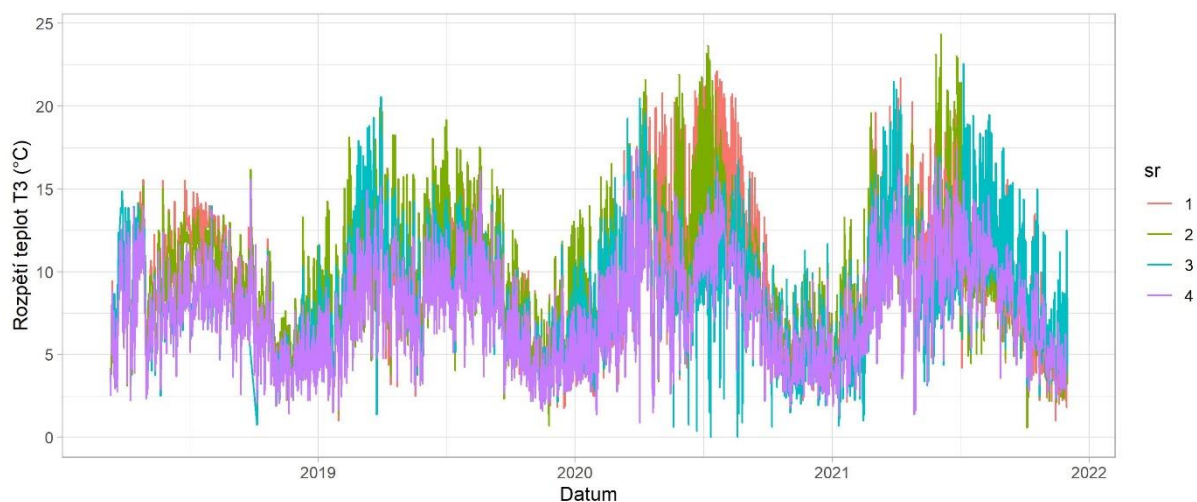
Nejnižší hodnoty teploty v létě pak vykazují porosty dubu ceru, dubu cesmínovitého a dubu zimního buď s habrovcem či s kaštanovníkem (viz Obrázek 19).

Tabulka 5: Průměrné teplota vzduchu T3 dle SR v jednotlivých čtvrtletí let 2018 až 2021. Hodnoty ve °C, tučně vyznačena nejnižší letní teplota.

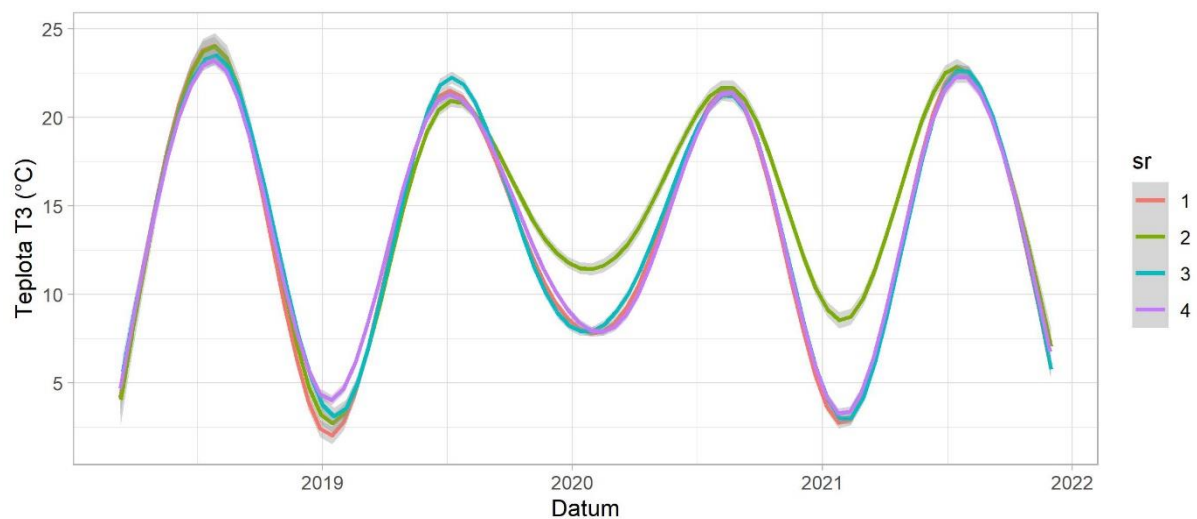
| T3 (°C) | Čtvrtletí | | | | Průměr |
|---------|-----------|-------|--------------|-------|--------|
| | SR | 1/4 | 2/4 | 3/4 | |
| 1 | 6,65 | 15,38 | 21,41 | 10,42 | 13,46 |
| 2 | 10,04 | 16,08 | 21,58 | 12,33 | 15,01 |
| 3 | 6,96 | 15,27 | 21,66 | 10,55 | 13,61 |
| 4 | 6,96 | 15,31 | 21,37 | 10,74 | 13,60 |



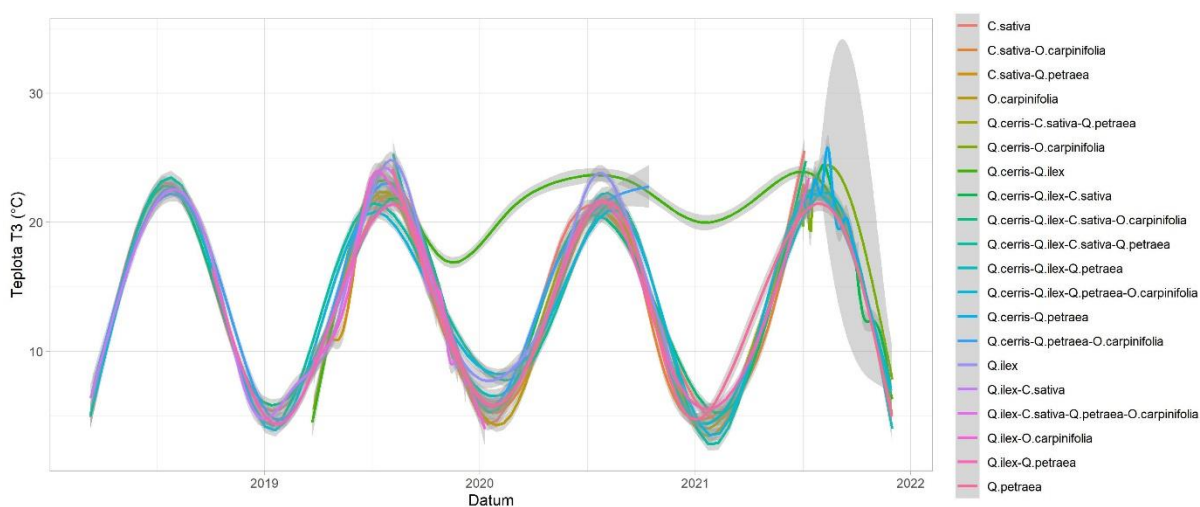
Obrázek 16: Průměrná denní teplota vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti. Jednotlivé barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 17: Denní rozptyl minimální a maximální teploty vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů stromů ve směsi (SR – species richness)



Obrázek 18: GAM model průměrné teploty vzduchu T3 v závislosti na čase a druhové bohatosti směsi. Barvy znázorňují počet druhů směsi, šedý buffer znázorňuje odchylku (SR – species richness)



Obrázek 19: GAM model závislosti teploty vzduchu T3 na druhové skladbě v čase. Barvy znázorňují jednotlivé druhy obsažené v porostní směsi

6. Diskuse

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnotit jaký má druhová skladba a smíšení vliv na mikroklima v podrostu teplomilného submediteránního opadavého lesa v Toskánsku. Výsledky ukazují, že druhové složení a bohatost stromového patra mají největší vliv na půdní teplotu a vlhkost a nejmenší na teplotu vzduchu podrostu. Problematiku vlivu druhové skladby na teploty a vlhkost půdy nelze dělit na samostatné kategorie, jelikož lesní ekosystém funguje jako celek a všechny sledované veličiny spolu souvisí.

Z naměřených hodnot vyplývá, že porosty s vyšší druhovou bohatostí mají lepší schopnost udržet ve svém ekosystému vodu v podobě půdní vlhkosti. Tento jev může být způsoben vyšším LAI nebo pokrývností stromového patra, což snižuje odpar. Tento faktor může být v horkých letech zásadní pro správné fungování životních pochodů rostlin. Taktéž je možné spekulovat, že v monokulturních porostech dochází k rychlejšímu výparu a transpiraci vody díky menší diverzitě kořenů v půdě, respektive jejich typu a tvaru kořenového balu.

Průměrné sezónní teploty půdy úzce souvisí s půdní vlhkostí, jelikož bylo popsáno, že obsah vody v půdě lesního ekosystému má za následek ochlazení substrátu (de Frenne et al., 2021). Teploty vzduchu byly nejméně ovlivněny druhovou skladbou a bohatostí směsi. I zde však byla sledována nižší teplota v létě a nepatrně vyšší v zimě, což poukazuje na pozitivní vliv diverzity porostní směsi na mikroklima.

Při měření teplot měla bohatost směsi největší vliv na rozptyl denních minim a maxim, kdy v případě monokulturních porostů byl výkyv teplot mezi dnem a nocí nejvyšší a pro tří a čtyřdruhové směsi výrazně menší. Z výsledků tedy vyplývá, že s rostoucím počtem druhů stromů v porostu klesá rozptyl teplot, což má za následek zmírnění teplotních extrémů v podrostu. Pokud budou tyto teplotní extrémy stupňovat díky globálnímu oteplování, je možné předpokládat migraci flóry a fauny do mírnějších podmínek podrostu lesních dřevin (de Frenne et al., 2013).

Aussenac (2000) tvrdí, že vyšší hodnota LAI by měla mít pozitivní vliv na půdní vlhkost a teplotu. Z výsledků této práce je možné tvrdit, že tento výrok nemusí být vždy dogmatem. Na italských zkusných plochách bylo sledováno, že monokultury, které mají vyšší hodnotu LAI nemusí nutně vykazovat nižší teploty a vlhkosti půdy. Naopak druhově bohaté směsi s nižším korunovým zápojem (tedy nižším LAI) často

monokulturní porosty v těchto vlastnostech předčí. Je tedy vhodné dále zkoumat korelaci vlivu SR a LAI na mikroklima lesních porostů. LAI směsí viz Příloha 1.

Při měření půdní vlhkosti byly sledovány denní minimální hodnoty, jelikož právě ty mají vliv na fyziologické procesy bylin a dřevin. Porosty, které jsou ovlivněny silnějším a delším stresovým faktorům (například suchu), jsou méně stabilní a mají větší předpoklady k předčasnému rozpadu. Tento rozpad může být zaviněn jak abiotickými, tak biotickými činiteli (Podrázský, 2014). Dle výsledků této práce je sucho jeden ze stresových faktorů, který je možný ovlivnit pěstováním druhově bohatších směsí dřevin. Je tedy možné do určité míry tvrdit, že vyšší stupeň diverzity směsi pozitivně ovlivňuje stabilitu italských dubových lesů v submediteránní oblasti díky lepší schopnosti vázat vodu v půdě.

Sledujeme-li jednotlivé druhové složení, pak nejméně vhodné vlastnosti nese smíšení *Q. cerris* a *Q. illex*, který i přes nejvyšší hodnotu LAI vykazuje výrazně vyšší průměrné teploty jak v zimě, tak v létě. Tento vzrůst teplot je možné odůvodnit i chybou měřicího přístroje. Nejnižší teplotní rozptyl byl měřen v porostech *Q. cerris*, *Q. illex*, *Q. petrae*, *O. carpinifolia*, a *Q. cerris*, *Q. illex*, *Q. petrae*, *C. sativa* – tedy porosty s nejvyšším stupněm sledované diverzity druhů. Nejnižší průměrné teploty však byly měřeny v třídruhových porostech dubů v příměsí s kaštanovníkem či s habrovcem.

6.1. Doporučení pro další výzkum

Pokud by se v budoucnu mělo podobné měření a vyhodnocení vlivu druhové skladby na mikroklima opakovat, pak bych z mého vlastního pohledu doporučil provést několik změn v metodice.

Jedním z problémů, se kterým jsem se v rámci čištění dat setkal, bylo časté vykopnutí sondy ze země, čímž byly půdní teploměry vystaveny atmosférickému prostředí. Poté teplotní čidlo T1 a T2 začalo měřit teplotu vzduchu a takováto data byla nevhodná pro vyhodnocení a musela být vyloučena. Bylo by tedy vhodné sondy opatřit lepší ochranou před divokou zvěří, například oplocením či spojením s pevným kůlem v zemi.

Mohu spekulovat, zdali by nebylo lepší celou teplotu T2 z měření vypustit, jelikož čidlo 2 cm pod povrchem bylo často odkryto a snímalo teplotu vzduchu, což do datové sady zanáší neznámou proměnnou. I samotné teploty T2 nevyjadřují nijak zvlášť zajímavé výsledky. Pokud by se tedy experiment opakoval, pak bych pro snížení časové náročnosti čištění dat doporučil T2 vypustit.

7. Závěr

V cílech bakalářské práce byla definována hypotéza, že vyšší bohatost druhové skladby pozitivně ovlivňuje mikroklimatické podmínky podrostu teplomilného opadavého lesa v Toskánsku. Výzkum na vyvrácení či potvrzení této hypotézy probíhal na 36 trvalých zkusných plochách projektu FunDivEUROPE, které jsou rozmístěny v přírodních rezervacích pahorkatiny Colline Metallifere nedaleko města Livorno. Pro sběr nejen teplot vzduchu, hrabanky a půdy, ale také půdní vlhkosti, byly využity moderní datalogery TMS-4. Díky čtyřletému pozorování dat ze zkusných ploch bylo možné prokázat, že hypotéza je do určité míry pravdivá. Bylo potvrzeno, že zvyšující se druhová bohatost ovlivňuje hlavně průměrnou teplotu substrátu a půdní vlhkost. Průměrně byla letní teplota půdy tří druhových směsí nižší o 0,9 °C při porovnání s monokulturami. Rozdíl minimální letní vlhkosti monokultur a čtyř druhových směsí činil průměrně 3 %. Obecně je možné tvrdit, že rozdíl dne a noci je nejpatrnější při pozorování teploty vzduchu v podrostu, poté hrabanky a teplota půdy je nejstabilnější. Rozptyl denních maxim a minim všech teplot byl pro čtyř- a třídruhové směsi užší, než pro porosty s jedním či dvěma druhy dřevin. Průměrné roční teploty nebyly druhovou bohatostí výrazně ovlivněny. Nejlepšími kandidáty druhového složení na této konkrétní lokalitě, z pohledu ovlivnění mikroklimatu, se zdají být směsi *Q. cerris*, *Q. ilex*, *Q. petraea* buď s *C. sativa* či s *O. carpinifolia*. Právě tyto směsi by měly být podporovány, případně by měl být předložen plán přeměny porostu na stanovištích, která by těmto dřevinám odpovídala. Zmíněná druhová složení jeví lepší schopnost vázat vodu v substrátu ve formě půdní vlhkosti, čímž podporují obranyschopnost jedinců proti abiotickým a biotickým činitelům. Dávají tedy lepší předpoklady ke stabilitě porostu.

Chceme-li bojovat s dopadem celosvětové změny klimatu s pomocí lesních ekosystémů, v submediteránních oblastech by druhově bohaté porosty mohly být vhodným nástrojem. Zdejší porosty s vyšší druhovou bohatostí vykazovaly nižší letní teploty a vyšší půdní vlhkost v porovnání s porosty monokulturními, což potvrzuje, že druhově bohaté lesy mohou zmírňovat dopady globální změny na mikroklima.

Vhodným pokračováním výzkumu by bylo sledování vlhkosti a teplot v podrostu v dlouhodobějším měřítku, dále pak hledání korelace výsledků ovlivnění mikroklimatu druhovou bohatostí a indexem listové plochy. Další možností by mohlo být měření rychlosti proudění vzduchu ve více či méně druhově bohatém porostu, které má vliv na teplotu vzduchu pod korunami stromů.

Seznam literatury a použitých zdrojů

- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: Ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of Forest Science*, 57(3), 287–301. <https://doi.org/10.1051/FORREST:2000119>
- Baeten, L., Verheyen, K., Wirth, C., Bruelheide, H., Bussotti, F., Finér, L., Jaroszewicz, B., Selvi, F., Valladares, F., Allan, E., Ampoorter, E., Auge, H., Avăcăriei, D., Barbaro, L., Bărnoaiea, I., Bastias, C. C., Bauhus, J., Beinhoff, C., Benavides, R., ... Scherer-Lorenzen, M. (2013). A novel comparative research platform designed to determine the functional significance of tree species diversity in European forests. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics* (Vol. 15, Issue 5, pp. 281–291). <https://doi.org/10.1016/j.ppees.2013.07.002>
- Bateman, G. & Egan V. (1994). *Encyklopedie Zeměpis světa*. Praha: Columbus. ISBN 80-7176-022-6.
- Benvenuti, M., Bianchi, G., Bruttini, J., & Buonincontri, M. P. (2014). Studying the Colline Metallifere mining area in Tuscany: an interdisciplinary approach. <https://doi.org/10.13140/2.1.3270.1446>
- de Frenne, P., Lenoir, J., Luoto, M., Scheffers, B. R., Zellweger, F., Aalto, J., Ashcroft, M. B., Christiansen, D. M., Decocq, G., de Pauw, K., Govaert, S., Greiser, C., Gril, E., Hampe, A., Jucker, T., Klings, D. H., Koelemeijer, I. A., Lembrechts, J. J., Marrec, R., ... Hylander, K. (2021). Forest microclimates and climate change: Importance, drivers and future research agenda. *Global Change Biology*, 27(11), 2279–2297. <https://doi.org/10.1111/GCB.15569>
- de Frenne, P., Rodríguez-Sánchez, F., Coomes, D. A., Baeten, L., Verstraeten, G., Vellend, M., Bernhardt-Römermann, M., Brown, C. D., Brunet, J., Cornelis, J., Decocq, G. M., Dierschke, H., Eriksson, O., Gilliam, F. S., Hédli, R., Heinken, T., Hermy, M., Hommel, P., Jenkins, M. A., ... Verheyen, K. (2013). Microclimate moderates plant responses to macroclimate warming. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(46), 18561–18565. <https://doi.org/10.1073/pnas.1311190110>

- Drescher-Schneider, R., de Beaulieu, J.-L., Magny, M., Walter-Simonnet, A.-V., Bossuet, G., Millet, L., Brugiapaglia, E., & Drescher, A. (2007). Vegetation history, climate and human impact over the last 15,000 years at Lago dell'Accesa (Tuscany, Central Italy). *Vegetation History and Archaeobotany*, 16(4), 279–299. <https://doi.org/10.1007/s00334-006-0089-z>
- FAO (1967). *World Symposium on Man-Made Forests and their Industrial Importance*. *Unasylva* 21(86-87). 116 p.
- Hejný, S. & Slavík B., ed (2003). *Květena České republiky*. 2., nezm. vyd. Praha: Academia. ISBN 80-200-1089-0.
- Holton, J. R., Curry J. A. & Pyle J. A. (2003). *Encyclopedia of atmospheric sciences*. Amsterdam; Boston: Academic Press. ISBN 978-0-12-227090-1.
- Chianucci, F., & Cutini, A. (2012). Digital hemispherical photography for estimating forest canopy properties: current controversies and opportunities. *IForest - Biogeosciences and Forestry*, 5(6), 290. <https://doi.org/10.3832/IFOR0775-005>
- Chytrý, M., ed (2013). *Vegetace České republiky: Vegetation of the Czech Republic*. Praha: Academia. ISBN 978-80-200-2299-8.
- Chytrý, M., Tichý, L., Hennekens, S. M., Knollová, I., Janssen, J. A. M., Rodwell, J. S., Peterka, T., Marcenò, C., Landucci, F., Danihelka, J., Hájek, M., Dengler, J., Novák, P., Zukal, D., Jiménez-Alfaro, B., Mucina, L., Abdulkhak, S., Ačić, S., Agrillo, E., ... Schaminée, J. H. J. (2020). EUNIS Habitat Classification: Expert system, characteristic species combinations and distribution maps of European habitats. *Applied Vegetation Science*, 23(4), 648–675. <https://doi.org/10.1111/avsc.12519>
- Kovács, B., Tinya, F., & Ódor, P. (2017). Stand structural drivers of microclimate in mature temperate mixed forests. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234–235, 11–21. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2016.11.268>
- Kraus, J. (2005). *Nový akademický slovník cizích slov A-Ž*. Praha: Academia, 2005. ISBN 978-80-200-1351-4.
- Leugnerová G (2008). *Ostrya carpinifolia* BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin [online]. Copyright © [cit. 29.03.2022]. <https://botany.cz/cs/ostrya-carpinifolia/>
- Mrázek T (2009). *Quercus ilex* BOTANY.cz - Zajímavosti ze světa rostlin [online]. Copyright © [cit. 29.03.2022]. <https://botany.cz/cs/quercus-ilex/>

- Podrázský, V. (2014). *Základy ekologie lesa*. V Praze: Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2515-9.
- Suchomel, J. et al (2014). *Ekologie lesních ekosystémů*. Lesnická a dřevařská fakulta: Mendelova univerzita v Brně, 2014.
- von Arx, G., Graf Pannatier, E., Thimonier, A., & Rebetez, M. (2013). Microclimate in forests with varying leaf area index and soil moisture: potential implications for seedling establishment in a changing climate. *Journal of Ecology*, 101(5), 1201–1213. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12121>
- Wild, J., Kopecký, M., Macek, M., Šanda, M., Jankovec, J., & Haase, T. (2019). Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement. *Agricultural and Forest Meteorology*, 268, 40–47. <https://doi.org/10.1016/J.AGRFORMET.2018.12.018>

Seznam příloh

Příloha 1 – Podrobný seznam sledovaných ploch v rámci projektu FunDivEUROPE v Itálii

Příloha 1 – Podrobný seznam sledovaných ploch v rámci projektu FunDivEUROPE v Itálii

Table S1 Site characteristics for each plot. Ann. temp.: annual temperature; Ann. prep: annual precipitation; BA: plot basal area; LAI: Leaf Area Index; Species composition: CS = *Castanea sativa* Mill.; QI = *Quercus ilex* L.; QC = *Quercus cerris* L.; QP = *Quercus petraea* (Matt.) Liebl; OC = *Ostrya carpinifolia* Scop.

| Plot ID | Species composition | Altitude (m asl) | Ann. temp. (°C) | Ann. prep (mm) | Forest structure | BA (m ² ha ⁻¹) | LAI (m ² m ⁻²) | Shannon diversity index | Age canopy trees (years) | Soil type (FAO) |
|---------|---------------------|------------------|-----------------|----------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------|
| 2 | QC-QI-QP-OC | 470 | 13.6 | 794 | multiple | 22.035 | 3.22 | 1.652 | 80 | cambisol |
| 3 | OC | 416 | 13.4 | 819 | multiple | 18.930 | 1.73 | 0 | 70 | cambisol |
| 4 | QP | 397 | 13.6 | 794 | multiple | 27.178 | 3.49 | 0 | 70 | cambisol |
| 5 | QI-QP-OC | 422 | 13.6 | 794 | multiple | 23.451 | 4.09 | 1.204 | 70 | cambisol |
| 6 | QI | 393 | 13.7 | 792 | multiple | 27.793 | 5.18 | 0 | 65 | cambisol |
| 7 | CS | 402 | 13.2 | 728 | multiple | 28.963 | 2.88 | 0 | 45 | cambisol |
| 8 | QI-OC | 383 | 13.2 | 747 | multiple | 18.731 | 3.28 | 0.715 | 50 | cambisol |
| 9 | QC-QI-OC | 429 | 13.4 | 700 | multiple | 29.319 | 5.08 | 1.778 | 60 | cambisol |
| 10 | QI-CS-QP | 438 | 13 | 697 | multiple | 26.613 | 4.07 | 1.666 | 60 | cambisol |
| 11 | QI-CS-QP-OC | 379 | 14 | 709 | multiple | 26.525 | 3.27 | 1.511 | 70 | cambisol |
| 12 | CS | 445 | 13 | 695 | multiple | 27.941 | 3.04 | 0 | 45 | cambisol |
| 13 | QC-CS | 479 | 13 | 695 | multiple | 27.717 | 4.29 | 1.227 | 40 | cambisol |
| 14 | QC-QI-CS | 444 | 13.5 | 699 | multiple | 25.719 | 3.68 | 1.221 | 60 | cambisol |
| 15 | QC | 388 | 13.5 | 699 | multiple | 26.869 | 3.42 | 0 | 70 | cambisol |
| 16 | QI | 417 | 13.4 | 698 | multiple | 22.813 | 3.89 | 0 | 80 | cambisol |
| 17 | QI-QP | 395 | 13.6 | 794 | multiple | 20.177 | 4.91 | 1.302 | 70 | cambisol |
| 18 | QC-QI-QP-OC | 425 | 13.6 | 794 | multiple | 26.66 | 3.71 | 1.527 | 80 | cambisol |
| 19 | QC-OC | 478 | 13.3 | 793 | multiple | 22.653 | 4.73 | 1.047 | 80 | cambisol |
| 21 | QI-CS | 464 | 13.4 | 700 | multiple | 33.139 | 3.96 | 0.494 | 60 | cambisol |
| 22 | QC-QI-CS-OC | 410 | 13.7 | 707 | multiple | 35.323 | 5.04 | 1.411 | 70 | cambisol |
| 23 | QC-QI-CS-QP | 523 | 12.8 | 691 | single | 21.946 | 4.00 | 1.835 | 80 | cambisol |
| 24 | QC-QI | 416 | 13.2 | 694 | multiple | 37.962 | 6.73 | 0.636 | 80 | cambisol |
| 25 | QI-CS-OC | 355 | 13.4 | 700 | multiple | 22.474 | 3.12 | 0.553 | 50 | cambisol |
| 26 | QC-CS-QP | 406 | 13.2 | 728 | multiple | 26.049 | 2.92 | 1.241 | 50 | cambisol |
| 27 | QP | 421 | 13.2 | 728 | multiple | 29.252 | 4.00 | 0 | 60 | cambisol |
| 29 | QC-QP-OC | 471 | 13.6 | 794 | multiple | 21.660 | 4.16 | 1.213 | 65 | cambisol |
| 30 | CS-OC | 389 | 13.3 | 720 | multiple | 23.311 | 4.13 | 1.449 | 60 | cambisol |
| 31 | OC | 269 | 13.9 | 721 | multiple | 25.899 | 4.97 | 0 | 50 | cambisol |
| 32 | QC-QI-CS-OC | 429 | 12.4 | 687 | multiple | 23.250 | 4.30 | 1.626 | 60 | cambisol |
| 33 | QC-QI-CS-QP | 519 | 12.4 | 687 | multiple | 19.923 | 4.55 | 1.866 | 30 | cambisol |
| 35 | QC | 254 | 14.1 | 731 | multiple | 28.019 | 3.52 | 0 | 60 | cambisol |
| 36 | QC-CS-QP | 436 | 13.2 | 728 | multiple | 24.154 | 2.15 | 1.412 | 50 | cambisol |

Zdroj: Bacten et al., 2013