

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta lesnická a dřevařská

Katedra ekologie lesa



**Fakulta lesnická
a dřevařská**

**Dynamika růstu dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.)
ve středním Španělsku**

Bakalářská práce

Autor: Vendula Fižová

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

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vendula Fižová

Lesnictví

Ekonomika a řízení lesního hospodářství

Název práce

Dynamika růstu dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.) ve středním Španělsku

Název anglicky

Growth dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.) in Central Spain

Cíle práce

Dub cesmínový (*Quercus ilex*) je jednou z ekologicky i ekonomicky nejdůležitějších dřevin jižní Evropy. Doposud však existuje jen relativně málo empirických informací o jeho růstové dynamice a změnách růstu v důsledku měnícího se klimatu. Cílem této bakalářské práce bude vyhodnotit růstovou dynamiku a roční tloušťkové přírůsty dubu cesmínového na síti trvalých výzkumných ploch v oblasti Alto Tajo ve středním Španělsku, kde od roku 2017 probíhají detailní měření růstu stromů pomocí automatických dendrometrů.

Metodika

Data budou sbírána na trvalých výzkumných plochách v oblasti Alto Tajo ve středním Španělsku, které jsou součástí celoevropské monitorovací sítě vlivů klimatu na hlavní dřeviny Evropy (spravuje Katedra ekologie lesa). Za účelem budou výzkumné plochy navštíveny za účelem stažení dat z dendrometrů a rovněž za účelem změření základních parametrů sledovaných stromů.

Získaná data budou v prvním kroku vyčištěna a zpracována pomocí balíčku PLOTer v programu R. V rámci následných statistických analýz bude z dat vypočítán roční tloušťkový přírůst a denní růstová dynamika. Pro vyhodnocení dynamiky růstu v čase budou použity zobecněné aditivní modely. Pro srovnání přírůstu a dalších proměnných bude použito obecných nebo zobecněných lineárních modelů. Všechny tyto analýzy budou provedeny v programu R a Microsoft Excel.

Harmonogram

březen – květen 2023: studium literatury, konzultace s vedoucím práce

duben – srpen 2023: návštěva výzkumných ploch, stahování dat a měření stromů

září – prosinec 2023: školení (s vedoucím práce) na čištění a zpracování dat v programu R a balíčku PLOTer, čištění dat a statistické analýzy, příprava

literární rešerše

leden – duben 2024: příprava finální verze bakalářské práce a její odevzdání



Doporučený rozsah práce

30 stran

Klíčová slova

dub cesmínový, růst dřevin, Alto Tajo

Doporučené zdroje informací

- Corcuera, L., Camarero, J. J., & Gil-Pelegrín, E. (2004). Effects of a severe drought on *Quercus ilex* radial growth and xylem anatomy. *Trees – Structure and Function*, 18(1), 83–92.
- Cotillas, M., Sabaté, S., Gracia, C., & Espelta, J. M. (2009). Growth response of mixed mediterranean oak coppices to rainfall reduction. Could selective thinning have any influence on it? *Forest Ecology and Management*, 258(7), 1677–1683.
- Forner, A., Valladares, F., & Aranda, I. (2018). Mediterranean trees coping with severe drought: Avoidance might not be safe. *Environmental and Experimental Botany*, 155, 529–540.
- Matoušková, M., Urban, J., Volařík, D., Hájičková, M., & Matula, R. (2022). Coppicing modulates physiological responses of sessile oak (*Quercus petraea* Matt. Lieb.) to drought. *Forest Ecology and Management*, 517.
- Vicente, E., Vilagrosa, A., Ruiz-Yanetti, S., Manrique-Alba, À., González-Sanchís, M., Moutahir, H., Chirino, E., del Campo, A., & Bellot, J. (2018). Water balance of Mediterranean *Quercus ilex* L. and *Pinus halepensis* mill. forests in semiarid climates: A review in a climate change context. *Forests*, 9(7), 426.

Předběžný termín obhajoby

2023/24 LS – FLD

Vedoucí práce

doc. Ing. Radim Matula, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra ekologie lesa

Elektronicky schváleno dne 7. 6. 2023

prof. Ing. Miroslav Svoboda, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 28. 1. 2024

prof. Ing. Róbert Marušák, PhD.

Děkan

V Praze dne 21. 03. 2024

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Dynamika růstu dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.) 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 05.04.2024

Podpis: _____

Poděkování

Na tomto místě bych chtěla velmi poděkovat doc. Ing. Radim Matula, Ph.D. za jeho čas, který věnoval odbornému vedení této bakalářské práce, za zprostředkování naměřených dat, za pomoc se statistickými analýzami a také za jeho ochotu, přínosné podněty a cenné rady.

Dynamika růstu dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.) ve středním Španělsku

Abstrakt

V důsledku globálního oteplování, dochází nejen v oblasti středního Španělska ke stále častějším extrémům počasí, které s sebou přinášejí suchá a horká období. Tato bakalářská práce se zabývá růstovou dynamikou dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.), který je významným druhem lesů jižní Evropy, avšak dopady měnícího se klimatu na jeho růst jsou doposud jen málo prostudovány. Právě sucho, kterým jsou tamní oblasti typické, je v oblastech jižní Evropy považováno za nejvlivnější faktor ovlivňující dynamiku růstu stromů. Růst a růstová dynamika dubu cesmínového byly monitorovány pomocí automatických bodových dendrometrů, které v období let 2017 až 2022 zaznamenávaly tloušťkové změny kmene v oblasti středního Španělska v Národním parku Alto Tajo. V průběhu monitorování (2017-2022) nastaly významně suché roky, které se kromě Španělska projevíly napříč celou Evropou. Sucho se na růstu dubu cesmínového projevilo zkrácením vegetační sezóny, menším tloušťkovým přírůstem a posuny ve fenologii růstu. Ačkoliv je dub cesmínový vůči suchu adaptovaný a odolný druh, tato bakalářská práce u něj prokázala citlivost na stres suchem.

Klíčová slova: dub cesmínový, růst dřevin, Alto Tajo, automatický dendrometr

Growth dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.) in Central Spain

Abstract

Due to global warming, weather extremes are becoming more frequent bringing with them dry and hot periods. This bachelor thesis focuses on the growth dynamics of holm oak (*Quercus ilex* L.), an important forest species in southern Europe, but the effects of a changing climate on its growth have been little studied so far. Drought, which is typical in those areas, is considered to be the most influential factor affecting tree growth dynamics in southern European regions. The growth and growth dynamics of holm oak were monitored using automatic point dendrometers to record trunk thickness changes between 2017 and 2022 in the Alto Tajo National Park in central Spain. Significantly dry years during the monitoring period (2017-2022) occurred in the study area. The dry years were reflected in the results of the bachelor thesis by a shorter growing season, lower stem diameter increments and shifts in growth phenology. Although the holm oak is considered to be adapted and tolerant to drought, it has been shown to be sensitive to drought stress.

Keywords: holm oak, tree growth, Alto Tajo, automatic dendrometer

Obsah

| | | |
|---------|---|----|
| 1 | Úvod | 12 |
| 2 | Cíl práce | 13 |
| 3 | Literární rešerše | 14 |
| 3.1 | Růst a změny objemu biomasy | 14 |
| 3.1.1 | Primární a sekundární růst..... | 14 |
| 3.1.2 | Tloušťkový přírůst..... | 15 |
| 3.1.3 | Vodní deficit a nevratný růst kmene | 16 |
| 3.2 | Faktory ovlivňující růst | 17 |
| 3.2.1 | Sluneční záření | 17 |
| 3.2.2 | Množství vody..... | 18 |
| 3.2.2.1 | Vadnutí..... | 19 |
| 3.2.2.2 | Regulace průduchů..... | 19 |
| 3.2.2.3 | Zpomalení růstu | 21 |
| 3.2.3 | Teplota..... | 21 |
| 3.2.4 | Koncentrace CO ₂ | 22 |
| 3.3 | Vegetační sezóna | 22 |
| 3.4 | Dub cesmínový (Quercus ilex L.)..... | 24 |
| 4 | Metodika..... | 27 |
| 4.1 | Charakteristika oblasti | 27 |
| 4.2 | Výzkumné plochy..... | 28 |
| 4.3 | Instalace bodových dendrometrů..... | 29 |
| 4.4 | Sběr dat v terénu | 30 |
| 4.5 | Čištění dat | 31 |
| 4.6 | Zpracování dat | 31 |
| 4.6.1 | Roční přírůst..... | 32 |
| 4.6.2 | Délka vegetační sezóny..... | 32 |

| | | |
|-------|---------------------------------------|----|
| 4.6.3 | Začátek a konec vegetační sezóny..... | 32 |
| 4.6.4 | TWD..... | 32 |
| 5 | Výsledky..... | 33 |
| 5.1 | Korelační matice..... | 33 |
| 5.2 | Roční přírůst..... | 34 |
| 5.3 | Délka vegetační sezóny..... | 35 |
| 5.4 | Začátek vegetační sezóny..... | 37 |
| 5.5 | Konec vegetační sezóny..... | 38 |
| 5.6 | TWD..... | 39 |
| 6 | Diskuse..... | 41 |
| 6.1 | Vliv na změnu klimatu..... | 41 |
| 6.2 | Vegetační období..... | 42 |
| 6.3 | Smrštění TWD..... | 43 |
| 7 | Závěr..... | 45 |
| 8 | Zdroje..... | 46 |
| 9 | Seznam obrázků..... | 57 |
| 10 | Seznam tabulek..... | 58 |
| 11 | Přílohy..... | 59 |

1 Úvod

Nejen středomořské oblasti čelí globálnímu oteplování v důsledku nadměrného vypouštění skleníkových plynů do atmosféry. Změnou klimatu je ovlivněna také změna lesního prostředí. V oblasti Středozemního moře jsou predikovány stále častější extrémní počasí, přinášející stále delší suchá a horká období. Sucho je zároveň považováno za klíčový faktor, který ovlivňuje produktivitu středomořských porostů. Tamním oblastem dominují stálezelené a sklerofylní druhy, které vykazují odolnost vůči suchu nejrůznějšími strategiemi a adaptacemi. Stálezelené sklerofylní dřeviny jsou typické svou malou plochou listů a pomalým růstem. Dub cesmínový (*Quercus ilex L.*), který se těmito znaky vyznačuje, je jedním z hlavních druhů dřevin lesů jižní Evropy, a proto je poznání jeho růstových reakcí na změnu klimatu zásadní.

Oblast Španělska semiaridního klimatu je charakteristická pro své chladné zimy s dostatkem srážek a suché horké léta. Právě během letního období dochází u dřevin k vodnímu deficitu, na což dřeviny reagují dvěma druhy strategií – vyhýbání se suchu, nebo toleranci vůči suchu. Dub cesmínový je druh, který je považován za vůči suchu tolerantní.

Sucho a zvyšující se teplota ovlivňují také dynamiku růstu dřevin a jejich produktivitu. Zvyšující se teploty a úbytek množství srážek má za příčinu menší přírůst dřevin, posunutí vegetační sezóny či délku jejího trvání. Dalším důsledkem snížené produktivity je také nižší sekvestrace uhlíku. Správné hospodaření v lesích však může zmírnit nepříznivé dopady sucha. Zhruba 60 % všech lesů dubu cesmínového se nachází na území Španělska a přibližně 44 % z nich se vyskytují ve formě výmladkových porostů. Dub cesmínový byl už od Starověku součástí kultury sylvopastorálního ekosystému.

V současnosti se vyskytuje několik faktorů, které ovlivňují stárnoucí populace dubu cesmínového a vedou k jejich úbytku. Nadměrné využívání, nevhodné hospodaření a vykácení velké části stálezelených lesů v kombinaci s biotickými a abiotickými faktory zapříčinily snížení jeho výskytu. Aby bylo možné lépe popsat dopady sucha a rostoucích teplot na dynamiku růstu dubu cesmínového v Národním parku Alto Tajo, byly na kmeny několika jedinců nainstalovány automatické dendrometry, které od roku 2017 do roku 2022 monitorovaly roční přírůst, začátek, konec a délku vegetačního období, dále také smrštění buněk v důsledku vodního deficitu.

2 Cíl práce

Dub cesmínový (*Quercus ilex*) je jednou z ekologicky i ekonomicky nejdůležitějších dřevin jižní Evropy. Doposud však existuje jen relativně málo empirických informací o jeho růstové dynamice a změnách růstu v důsledku měnícího se klimatu. Cílem této bakalářské práce bylo vyhodnotit růstovou dynamiku a roční tloušťkové přírůsty dubu cesmínového na síti trvalých výzkumných ploch v oblasti Alto Tajo ve středním Španělsku, kde od roku 2017 probíhají detailní měření růstu stromů pomocí automatických dendrometrů.

3 Literární rešerše

3.1 Růst a změny objemu biomasy

Pojmem růst stromu rozumíme rostoucí množství biomasy jednotlivého stromu v čase (Bowman a kol., 2013). V průběhu růstu rostliny dochází k nevratnému dělení buněk matčiny na buňky dceřiné a následnému zvětšování jejich objemu (Jelínek a kol., 2014). Růst se dělí do tří fází. Během zárodečné, takzvané embryonální fáze se zvětšuje počet buněk. Následuje fáze prodlužovací, známá také pod termínem elongační, při které již neprobíhá dělení buněk, ale dochází k zvětšování jejich objemu pomocí nasáknutí vody. Po prodlužovací fázi nastává rozlišovací neboli diferenciační fáze růstu, během které se od sebe buňky rozlišují ke specializovaným funkcím (Jelínek a kol., 2014).

3.1.1 Primární a sekundární růst

Růst můžeme rozdělit na primární a sekundární, přičemž sekundární růst lze považovat za dřevnatý růst, který odlišuje stromy a keře od bylin (Spicer a kol., 2010).

U jednoděložných i dvouděložných rostlin vznikají z primárního prokambia v cévním svazku prvotní xylém a prvotní floém (Kincl a kol., 2008). U jednoděložných rostlin se prokambium diferencuje na trvalá pletiva a cévní svazek již netloustne. Rozdílné je to však u dvouděložných rostlin, u kterých se část prokambia zachová a vznikne sekundární dělivé pletivo, které je známo pod názvem kambium. Kambium má funkci druhotného tloušťnutí kmene (Kincl a kol., 2008).

Kambium svou činností vytváří sekundární xylém neboli nové buňky druhotného dřeva, které se oddělují směrem dovnitř do středu kmene a buňky druhotného floému, tedy buňky lýka, které se oddělují směrem k obvodu kmene (Kincl a kol., 2008). Aktivita kambia je řízená auxiny a je proměnlivá periodickým charakterem napříč ročními obdobími, přičemž nejvyšší aktivita kambia probíhá na jaře (Horáček a kol., 2003). Během jarního období, kdy je v přírodě dostatečné množství vody, vznikají buňky s tenkými stěnami a s velkým objemem, které můžeme pozorovat jako světlou část při pohledu na letokruhy. Vznik jarního dřeva je závislý na množství vody v přírodě. Pokud je v daném roce vody dostatek a jsou ideální teplotní podmínky, tak je přírůst jarního dřeva v období vegetační sezóny větší, než během vegetační sezóny v suchém roce. V průběhu léta se činnost kambia zpomaluje a během podzimu se jeho činnost úplně přerušuje (Horáček a kol., 2003). Po přerušování činnosti kambia, následuje období vegetačního klidu. Buňky, které vznikly v období letních měsíců až do začátku vegetačního

klidu, mají tlustší buněčné stěny, jsou protáhlejší a menší. Při pohledu na letokruhy tvoří letní dřevo tmavé pruhy (Horáček a kol., 2003).

Hustota a šířka letokruhů jsou nejčastějšími ukazateli kvality dřeva (Saranpää, Pekka, 2003; Zobel a kol., 2012), přičemž oba hodnocené atributy jsou závislé na množství vody (Toigo, Maude a kol., 2015). Hustota dřeva je závislá na stáří kambia a šířce letokruhů. Důležitou roli hraje podíl letního dřeva, čím větší je, tím větší hustotou dříví disponuje (Zhang a kol., 1993; Lebourgeois a kol., 2004). Větší podíl letního dřeva vzniká v letech s menším množstvím srážek, a to z důvodu menšího přírůstu jarního dřeva kvůli nedostatku vody. Proto je v suchých letech hustota dřeva vyšší a dřevo je kvalitnější.

3.1.2 Tloušťkový přírůst

Činnosti kambia dochází každoročně k tloušťkovému přírůstu. Dělením pletiv kambia a felogenu vznikají přírůsty dřeva (xylému) a lýka (floému), jak již bylo zmíněno výše, buňky dřeva a lýka vytvářejí v každém vegetačním období novou vrstvu buněk (Drápela, Zach, 1995). Přírůst jedné vrstvy dřeva a lýka za jedno vegetační období nazýváme letokruh. Pomocí změření šířky letokruhů je možné zjistit hodnotu tloušťkového přírůstu v uplynulých letech (Drápela, Zach, 1995). Šířka letokruhů je proměnlivá nejen v důsledku rozdílného množství a distribuce vody v jednotlivých obdobích, ale závisí také na rozdílném množství zásob živin a hormonů v půdě (Fritts, Harold, 1966). U stanovišť bohatých na množství živin v kombinaci s dostatkem vody dochází k tvorbě širokých letokruhů, a tedy k většímu tloušťkovému přírůstu (Fritts, Harold, 1966). Naopak je tomu u suchých stanovišť, na kterých je tloušťkový přírůst dřevin menší. Menší přírůst je zapříčiněn sníženým množstvím vody a tím i živin, které jsou pomocí vody transportovány (Fritts, Harold, 1966). Proměnlivost šířky letokruhů se proto považuje za ukazatele znázorňujícího rozdílnost klimatu v jednotlivých letech (Fritts, Harold, 1966).

V rámci jednoduchosti a dostupnosti měření se nejčastěji tloušťkový přírůst měří ve výčetní výšce (Kuzelka a kol., 2016), ale existují také projekty, které se zabývají měřením přírůstu v různých částech a výškách stromu (Vogel a kol., 1996). Tloušťkový přírůst měřený ve výčetní výšce, která je 1,3 m se značí $d_{1,3}$, nebo DBH (diameter at breast height). v této výšce se měří, abychom zamezili znehodnocení dat kvůli kořenovým náběhům (Kuzelka a kol., 2016).

Při dlouhodobém monitorování tloušťkového přírůstu se využívají buď obvodové páskové dendrometry, nebo bodové dendrometry (Dobbertin a kol., 2013).

Obvodové páskové dendrometry se obepínají kolem obvodu kmene stromu ve výčetní výšce a pomocí roztahující se pružiny, která je jejich součástí, dochází k roztahování pásu v průběhu přirůstání stromu. Následně je možné ze stupnice odečíst data.

Před umístěním obvodového pásu na kmen stromu je důležité odstranit odlupující se kůru a nečistoty v podobě mechů a lišejníků (Dobbertin a kol., 2013). Při instalaci obvodového pásu je také třeba dbát, aby obvodový pás správně těsnil a na polohu pružiny, která by neměla být volná ale ani přepjatá (Dobbertin a kol., 2013).

Druhým typem dendrometru je bodový dendrometr, který zaznamenává změny poloměru kmene pouze v jednom bodě kmene. Dendrometr automaticky zaznamenává změny odporu kmene na pružinu (umístěnou v horní části dendrometru) pomocí potenciometru a data se následně ukládají v dataloggeru v nastavených intervalech. Výhodou bodového dendrometru, kromě přesnosti a frekvence měření, je také zaznamenávání aktuální teploty. Díky nastavení intervalů měření, lze získat velké množství dat (Drew a kol., 2009), které přináší možnost lepšího pochopení vztahu mezi klimatem a dynamikou růstu stromů.

Stále větší cenová dostupnost bodových dendrometrů a jejich zdokonalování umožňuje měřit změny kmene při vysokém časovém a prostorovém rozlišení (Drew a kol., 2009), což následně umožňuje hodnotit změny průměru kmene také na denní bázi.

3.1.3 Vodní deficit a nevratný růst kmene

S velkým množstvím přesnějších dat získávaných ve vyšší časové frekvenci lze hodnotit poloměr kmene na denní bázi. Poloměr kmene je sice závislý na přírůstu stromu, ale do jisté míry je také ovlivňován vodním potenciálem, který je proměnlivý v důsledku transpirace, dostupnosti vody v půdě, teplotě a osmotických jevech (Zweifel a kol., 2007). Přes den, v době, kdy je transpirace nejvyšší, dochází ke snižování vodního potenciálu a kmen tak ztrácí vodu z živých tkání, kůry, kambia a xylému (Zweifel a kol., 2014). Úbytkem vody dochází k dehydrataci rostliny, a tím také ke smršťování kmene (Zweifel a kol., 2014). Smršťování kmene, které je způsobené vodním deficitem má veličinu TWD (tree water deficit) a měří se v μm (Hinckley, Bruckerhoff, 1975; Zweifel a kol. 2005). Pokud má TWD hodnotu 0, znamená to, že rostlina je vodou nasycená. Naopak čím vyšší hodnota TWD je, tím více rostlina vodu postrádá a dochází k její dehydrataci. Po snížení transpirace rostlina dočerpává chybějící vodu z půdy a TWD klesá (Zweifel a kol., 2016). Následně je možné pozorovat změny hodnot TWD, a tedy i smršťování a roztahování kmene ve vysokém časovém rozlišení na úrovni dne, či dokonce hodin (Zweifel a kol., 2016).

Aby bylo možné rozpoznat přírůsty poloměru kmene, které jsou způsobené nevratnou expanzí buněk na rozdíl od přírůstu kmene pouze v důsledku dočerpávání vody, byla stanovena veličina GRO (nevratný růst kmene). V případě hodnoty GRO mluvíme o přírůstu poloměru kmene způsobeným nárůstem počtu buněk díky činnosti kambia (Zweifel a kol., 2016).

3.2 Faktory ovlivňující růst

Faktory ovlivňující růst stromů lze rozdělit do dvou skupin na abiotické a biotické (Thomas a kol., 2002). Do skupiny abiotických faktorů můžeme zařadit například zhoršení kvality ovzduší, charakteristiku lokality, množství dusíku, koloběh vody, teplo, světlo a další. Mezi biotické faktory patří například infekce patogeny, mikroorganismy a další (Thomas a kol., 2002).

Z hlediska zaměření této bakalářské práce bude v následujících kapitolách pozornost věnována především abiotickým faktorům.

Stále aktuálnější téma klimatické globální změny nutí mnohé vědce k vyhodnocení druhů dřevin, které se dokážou adaptovat čím dál extrémnějším výkyvům počasí (Vacek a kol., 2023). Důsledky globální změny klimatu se projevují odlišně v závislosti na regionu. Největší dopad globálního oteplování působí především na rozdílnou distribuci a množství srážek a změnu teploty (Jürgen a kol., 2010). Co se týče regionu jižní Evropy, globální oteplování se v tamních krajinách projevuje vyššími teplotami a stále delšími a extrémnějšími obdobími sucha (Carnicer, Alegria a kol., 2022). Dopad globálního oteplování se projevuje také změnou ve složení a rozmanitosti rostlinných společenstev, a to nejen v jižní Evropě, ale takřka po celém světě (Morin a kol., 2018).

3.2.1 Sluneční záření

Sluneční záření je nejen zdrojem světla pro planetu Zemi, ale zároveň svým vstupem do zemské atmosféry zajišťuje tok energie v biosféře. Sluneční záření je kromě zdroje světla také zdrojem tepla (Larcher, 1988). Část záření je přitom redukována ještě před dopadem na zemský povrch atmosférou, neboť se jeho velká část odráží zpátky do vesmíru a na zemský povrch následně dopadá kolem 47 % (Larcher, 1988). Pro fotosyntézu je ve výsledku využito přibližně 1 % (Poleno a kol., 2007). Z proniklé části slunečního záření na zemský povrch je totiž část odražena rostlinami (reflexe), část je pohlcena (absorpce) a část slunečního záření rostlinami projde (transmise) (Larcher, 1988; Pavlová, 2005). Pro fotosyntézu je využíváno

sluneční záření s vlnovou délkou 400–750 μm , které je fotosyntetický aktivní a zároveň je téměř odpovídající viditelnému spektru slunečního záření (Larcher, 1988). Fotosyntéza je důležitý fyziologický proces, během kterého rostliny pohlcují světelnou energii a poté ji přeměňují na chemickou energii, kterou ukládají ve formě uhlíku, což slouží jako stavební látka pro růst a vývoj rostliny (Sharkey a kol., 2020). Nutnou podmínkou pro vykonávání fotosyntézy je však právě zmiňované světlo.

Světlo zároveň ovlivňuje také denní rytmus rostliny v důsledku střídání dne a noci, délkou dne, úhlem dopadu slunečního záření na zemský povrch či spektrálním složením světla. Světlo určuje rytmus životního cyklu, udává čas klíčení a směr růstu rostliny. Rostliny, které rostou na osluněných stanovištích, jsou vůči těmto podmínkám adaptovány a vytvářejí větší množství sušiny, semen a jejich doba kvetení je kratší (Larcher, 1988). Více osluněná stanoviště bývají zároveň častěji suchá, na což jsou rostliny tamních oblastí taktéž adaptovány. S větší intenzitou světla stoupá množství přijatého CO_2 rostlinou ze vzduchu, avšak pouze do bodu maximálního příjmu (Larcher, 1988). Pro rostlinu je podstatné, aby přijala minimálně stejné množství CO_2 , které spotřebuje během respirace. Světlo milné druhy respirují rychleji, což je důvodem potřeby přijetí většího množství CO_2 (Larcher, 1988).

3.2.2 Množství vody

Aby strom mohl růst, potřebuje doplňovat minerální látky, které se do buněk dostávají z půdy společně s transportem vody (Wohleben, 2017). Transport vody je zprostředkováván kapilaritou, transpirací a osmózou. Kapilarita je vztlakovost vody po úzkých vlákních stromu (Wohleben, 2017). Kapilaritou však lze dosáhnout přibližně do výšky jednoho metru. Stromy proto spoléhají na transpiraci, při které dochází k výparu vody z povrchů listů, přičemž molekuly vody drží proud stále pohromadě a voda se dostane do všech částí rostliny (Wohleben, 2017). Během transpirace je voda nasávaná z půdy, ve které vznikl podtlak. Společně s transportem vody si rostlina zajišťuje živiny a ochlazování jejích orgánů (Wohleben, 2017). Pokud nestačí ani to, dojde na osmózu, která zajišťuje vyrovnávání koncentrace cukru v sousedních buňkách (Wohleben, 2017).

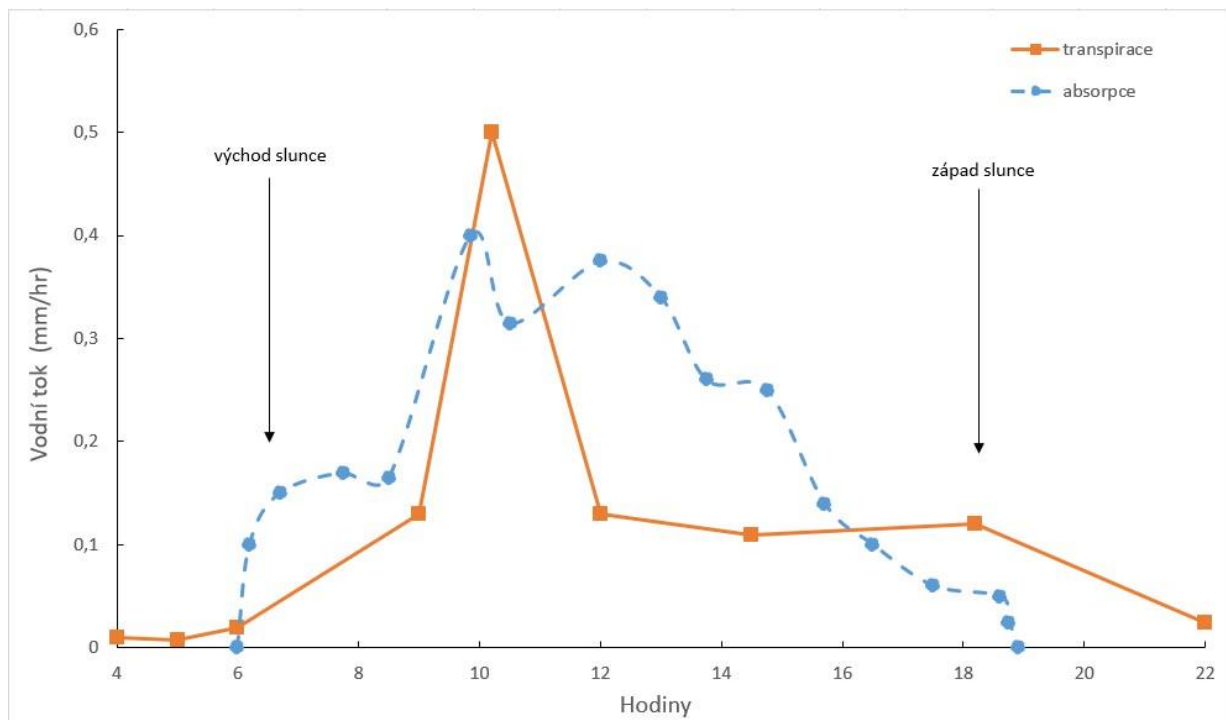
Pro střední a jižní Evropu globální oteplování přináší zvýšení teplot a prodlužování dob trvání sucha, a to především v letních měsících (Kreuzwieser a kol., 2010). Voda je nejvíce limitujícím faktorem pro růst stromů. Při jejím nedostatku, kdy strom není schopný z půdy absorbovat dostatečné množství vody pro běžné životní procesy, dochází k jeho poškození či objevení jiných symptomů strádání (Coder a kol., 1999).

3.2.2.1 Vadnutí

Vadnutí je způsobeno snížením tlaku – turgoru, v buňkách listů (Coder a kol., 1999). Na snížení turgoru má vliv obsah vody v rostlině. S klesajícím množstvím obsahu vody se turgor snižuje (Coder a kol., 1999). Pokud rostlina postrádá vodu, dochází ke zmenšování buněk a uvolňování jejich buněčných stěn (Farooq, Muhammad a kol., 2012). Rostlina ztrácí vodu především v průběhu dne, dokud má otevřená stomata. V průběhu noci dochází opět ke snižování vodního deficitu, neboť je výpar znatelně menší a rostlina dočerpává vodu z půdy. Pokud dochází k vadnutí po dlouhý časový úsek, může to v mnoha případech znamenat až smrt rostliny (Coder a kol., 1999).

3.2.2.2 Regulace průduchů

Rostliny množství vody a příjem oxidu uhličitého regulují pomocí průduchů neboli stomat na pokožce listů (Wang a kol., 2007). Regulace otevírání a zavírání průduchů má za úkol udržet vodní bilanci rostliny. Pokud jsou průduchy otevřeny, dochází k příjmu oxidu uhličitého, který je nezbytný pro životně důležitou fotosyntézu. Zároveň ale dochází k transpiraci z povrchu listů, a tedy ke ztrátě vody (Matthews, Lawsonová, 2019). Aby rostlina neztratila příliš velké množství vody je zapotřebí regulovat uzavírání průduchů, které jsou nejčastěji uzavírány v průběhu dne při poklesu vodní bilance. Nízká vodní bilance nastává nejčastěji v době vysokých teplot a výparu, a proto dochází k uzavření průduchů a tím k menší ztrátě vody (Matthews, Lawsonová, 2019). Uzavřením průduchů v důsledku sucha dochází také ke snížení prováděné fotosyntézy, neboť rostlina nepřijímá ani oxid uhličitý (Coder a kol., 1999).



Obrázek 1 Vodní tok v kmeni v průběhu dne u 36 let staré borovice lesní ve Skotsku (upraveno z Waring, Schlesinger, 1987)

Z obrázku 1 lze vyčíst tok vody v kmeni stromu v průběhu dne. Během noci je tok vody v rostlině téměř zanedbatelný, výpar je malý a rostlina je vodou nasycená. Přes noc jsou průduchy rostliny otevřeny, neboť má rostlina dostatečné množství vody a není třeba vodní tok regulovat. Situace se však mění po východu slunce, kdy dochází k rychlému vzniku vodního deficitu, neboť nastane zvýšení transpirace z dosud otevřených průduchů a rostlina ztrácí vodu (Waring, Schlesinger, 1987). Jakmile klesne stav vody v rostlině, průduchy na pokožce listů se uzavřou, aby rostlina neztratila příliš velké množství vody. K tomuto stavu dochází zpravidla krátce po poledni, kdy bývá nejvyšší teplota z celého dne, což má za následek taktéž vysoký výpar. Po uzavření průduchů se výpar vody z rostliny sníží a rostlina má čas dorovnat vodní bilanci dočerpáním vody absorpcí z půdy. Těsně před západem slunce se vodní tok vyrovná s množstvím vypařené vody a rostlina se dostane do kladné vodní bilance (Waring, Schlesinger, 1987).

Průměr kmene stromu kolísá na denní bázi, příčinou je změna množství vody v rostlině (Zweifel, Häslér, 2001). Vodní potenciál je proměnlivý a může být zcela odlišný v průběhu dne a během noci (Zweifel a kol., 2021). Vodní potenciál rostliny, a tedy i průtok vody kmenem, je nejvíce závislý na proměnných, kterými jsou deficit tlaku par a vodní potenciál půdy (Carminati, Javaux, 2020). Strom v důsledku dehydratace může ztratit 0,2-0,5 % objemu kmene (Zweifel, Häslér, 2001). Tyto diferenciace objemu kmene jsou úměrné objemu vody mezi

elastickými tkáněmi kůry a xylémem, to znamená, že dochází k vyčerpávání vody, která se nachází v kůře kmene (Zweifel, Häsler, 2001).

3.2.2.3 Zpomalení růstu

Stres suchem má tedy vliv na příjem vody, dále na její transport a tím i na rozmístování minerálů do orgánů rostliny (Farooq a kol., 2009). Vlivem sucha dochází k nižšímu množství absorpce vody, tím i ke snížení rychlosti transpirace (da Silva, Ciríaco a kol., 2013). Absence vody tudíž znamená pro rostlinu nedostatečné množství živin, které by byly distribuovány vodou (da Silva, Ciríaco a kol., 2013). S nedostatkem živin v důsledku sucha souvisí také zpomalení růstu rostliny (Bose a kol., 2021). Omezení vody má vliv na aktivitu kambia, které následně netvoří a neexpanduje nové buňky, a proto je tloušťkový přírůst menší (Balducci a kol., 2013). Dalším důsledkem sucha, tedy omezením růstu, je menší absorpce oxidu uhličitého.

3.2.3 Teplota

Kromě limitujícího faktoru – vody, hraje důležitou roli v globální změně klimatu také změna teploty. Teplota totiž ovlivňuje rychlost metabolismu rostlin, což koreluje s množstvím prováděné fotosyntézy (Hopkins a kol., 2008). Obecně se rozmezí ideální teploty pro vysokou aktivitu fotosyntézy pohybuje mezi 15–25 °C. v rozmezí od 0–14,9 °C a 25,1–50 °C je metabolická aktivita menší (Hopkins a kol., 2008). Teplotní optimum je však u každého druhu jiné (Hopkins a kol., 2008).

U středomořských druhů je optimální teplota pro vykonávání fotosyntézy v rozmezí 10–20 °C (Flexas a kol., 2014). Zmiňované teplotní rozmezí nastává v oblasti jižní Evropy často v době, kdy je sluneční záření nižší a zároveň dostupnost vody vyšší (Flexas a kol., 2014). Naopak vyšší teploty jsou doprovázeny silnějším slunečním svitem a často také nedostatkem vody způsobeným vyšším výparem (VPD) (Flexas a kol., 2014; Kirschbaum, Miko, 2000).

Rostliny jsou schopny adaptace na stále se zvyšující teploty. Předpokladem k přežití je však dostatečné množství vody (Kirschbaum, Miko, 2000). Vyšší teplota má vliv také na rychlost fotosyntézy, která se zpomaluje v důsledku VPD (Kirschbaum, Miko, 2000). Důležitý aspekt u rychlosti fotosyntézy je ovšem znovu dostatek vody, neboť při jejím nedostatku rostlina uzavře průduchy a dojde ke zpomalení transpiračního proudu.

Extrémně vysoké teploty mohou způsobit větší úmrtnost buněk, orgánů rostlin, či dokonce smrt rostliny (Špinlerová, 2014). Tyto problémy jsou důsledkem narušení životně důležitých

procesů, konkrétně metabolismu a tím i růstu (Špinlerová, 2014). Aby rostliny přežily poškozením způsobených vysokou teplotou, vyvinuly řadu krátkodobých i dlouhodobých obranných adaptací (Špinlerová, 2014).

Za krátkodobou adaptaci proti vysokým teplotám je možné považovat izolaci, většinou jde o izolaci pupenů či květů. Některé rostliny si vytvořily dlouhodobou adaptaci, jako jsou například lesklé listy, aby mohly sluneční záření lépe odrážet. Jiné rostliny mají naopak své listy vybaveny trichomy, čímž dochází k menší absorpci slunečního záření (Špinlerová, 2014). Reakcí na vysoké teploty je také tvorba stresových proteinů, které slouží k termostabilitě (Špinlerová, 2014).

Pokud se extrémně vysoké teploty vyskytnou v kritickém období životního cyklu rostliny (například v době klíčení, nebo v době tvorby pohlavních buněk), mohou mít za následek dopad na její produktivitu (Hatfield, Prueger, 2015). Největší vliv mají vysoké teploty na životnost pylu, oplodnění a vznik plodů (Hatfield, Prueger, 2015).

3.2.4 Koncentrace CO₂

Oxid uhličitý patří mezi plyny, které považujeme za „skleníkové“. Vyšší koncentrace CO₂ a dalších skleníkových plynů v atmosféře má za následek zvyšující se teplotu. Jeho vznik je z velké míry zapříčiněn spalováním fosilních paliv (Soeder, 2021). Koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře se neustále zvyšuje, avšak k nejrapidnějšímu vzrůstu došlo v uplynulých dvou stoletích (Soeder, 2021). Stromy jsou v neustále interakci s okolním prostředím a atmosférický oxid uhličitý proto z atmosféry přijímají i zpět do atmosféry vypouštějí (Saxe a kol., 1998). Pro rostliny má zvýšená koncentrace oxidu uhličitého za následek zrychlení jejich růstu, podmínkou však opět zůstává dostatek vody (Gates, 1990).

Lesy přispívají ke snížení oxidu uhličitého z atmosféry pomocí jeho fixace do dřeva, což napomáhá ke zpomalení rostoucích teplot (Thomas a kol., 2012). Uhlík, který se ve dřevě ukládá, se vytváří při fotosyntéze. Podíl uloženého uhlíku ve hmotě dřeva je přibližně ½ hmotnosti. Lesy tudíž mají významnou funkci při snižování koncentrace oxidu uhličitého z atmosféry a zpomalení globálního oteplování (Singh, Tripti a kol., 2022).

3.3 Vegetační sezóna

Období vegetační sezóny je pro rostlinu doba, kdy optimální podmínky umožňují růst a vývoj rostliny (Menzel a kol., 2006). V době globální klimatické změny dochází

k ovlivňování počátku, konce a také délky trvání vegetační sezóny (Menzel a kol., 2006). Faktorů, které ovlivňují průběh vegetační sezóny, je hned několik.

Teplota je jedním z faktorů, které ovlivňují počátek fenofáze, tedy počátek růstu a vývoje nadzemních orgánů (Zhang a kol., 2011). Pro Evropu je vegetační sezóna určena počtem dní s teplotou ovzduší vyšší než 5 °C (Zhang a kol., 2011). V důsledku globálního oteplování dochází k neustálému zvyšování teplot, což má vliv na dřívější počátek vegetační sezóny (Zhang a kol., 2011). Na podzim s klesajícími teplotami přichází naopak ukončení vegetačního období a následuje dormace. Pozdní snížení teplot na podzim se může projevit oddálením konce vegetační sezóny (Linderholm, 2006). Nejvíce jsou na teplotu náchylné rostliny v embryonálních fázích životního cyklu (Hájková a kol., 2012).

Fotoperioda neboli délka dne, je dalším atributem ovlivňujícím vegetační sezónu (Flynn a kol., 2018). Fotoperioda není ovlivněná globální klimatickou změnou, nýbrž svou zeměpisnou polohou. Délka slunečního svitu je ovlivněná rotací Země kolem Slunce (Flynn a kol., 2018). V oblasti severní polokoule se dny zkracují s přicházejícím podzimem a společně se zkrácením doby slunečního svitu dochází také k poklesu teplot. Naopak s příchodem jara se dny prodlužují a teploty rostou. Délka dne je rostlinami vnímána pomocí fotoreceptorů (především fytochromy a kryptochromy), které jsou obsaženy v listoví (Flynn a kol., 2018; Piao a kol., 2019). Fotoperioda ovlivňuje například kvetení rostlin. Během léta se fotoperioda s přicházejícím podzimem zkracuje a rostlina se následně připravuje k nadcházejícímu klidovému období (Flynn a kol., 2018; Piao a kol., 2019). Také dostatečné množství vody a živin v půdě mají vliv na délku vegetačního období. Tyto vlivy však nemají takový dopad, jako již zmiňované předešlé faktory (Piao a kol., 2019).

Pozornost vědců je stále častěji věnována také posunům začátkům, koncům a především délkám vegetačních období. Lesy jsou podstatným a velmi důležitým elementem v boji proti zpomalení globálního oteplování, díky své schopnosti vázat emisní uhlík do své biomasy, či lesní půdy napomáhají zmírnit dopady rostoucích teplot na Zemi (IPPC, 2022). Pokud by se vegetační období s rostoucími teplotami prodlužovalo, mělo by to pozitivní vliv na zpomalení globálního oteplování, neboť by rostliny měly delší časové období pro ukládání uhlíku do své biomasy (Keenan a kol., 2014). Fenologické výzkumy sice obecně potvrzují brzcí nástup vegetační sezóny v důsledku měnícího se klimatu (Matula a kol., 2023), to však nemá za následek její prodloužení. Oteplování má naopak nepříznivý vliv na délku vegetačního období, neboť v teplejších letech dochází k jeho zkracování (Matula a kol., 2023). Vyšší teploty v průběhu podzimu urychlují výpar vody z půdy (Chen a kol., 2020), což má za následek stres

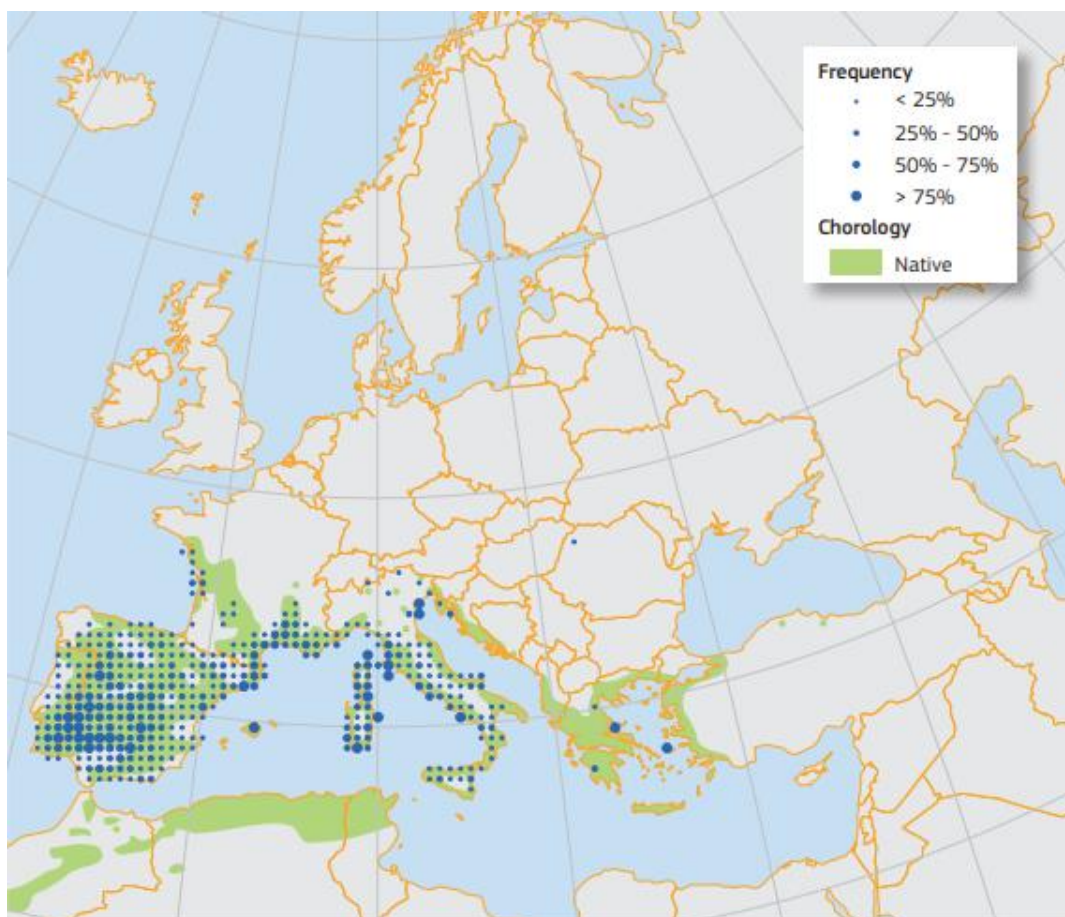
vyvolaný suchem, dřívější zestárnutí listů a dřívější ukončení vegetační sezóny. Zkrácení vegetační sezóny má za následek snížení produktivity rostlin a tím snížení sekvestrace uhlíku (Matula a kol., 2023).

3.4 Dub cesmínový (*Quercus ilex* L.)

Dub cesmínový je stálezelený, sklerofylní a jednodomý druh (Anonymous, 2006), který je hojně rozšířen v oblastech středomořského klimatu.

Středomořské klima je charakteristické pro své horké a suché léta a mírné a vlhké zimy (Lionello a kol., 2006). Zatímco v zimě a začátkem jara převažuje úhrn srážek nad evapotranspirací, v létě dochází k vodnímu deficitu půd i vegetace. Jedná se o xerický (suchý) vlhkostní režim (Yaalon, 1997). Středomořské oblasti byly v minulosti pokryty stálezelenými lesy, přičemž spousta stálezelených druhů se v této oblasti nachází do dnes. Ačkoliv byla značná část těchto lesů zničena a nahrazena sekundární vegetací, stále se můžeme setkat s druhy, jako jsou například dub cesmínový (*Quercus ilex*), dub kermesový (*Quercus coccifera*), dub korkový (*Quercus suber*) a další. Na písčitých půdách zaujaly své místo hlavně borovice, a to například druhy jako borovice halebská (*Pinus halepensis*) nebo pinie (*Pinus pinea*). Nelze opominout ani druhy olivovníku (*Olea europea*), jejichž olivy jsou dodnes cennou komoditou středoziemních oblastí. V podrostu dominují druhy například jalovce fénického (*Juniperus phoenicea*) či cypřiše vždyzeleného (*Cupressus sempervirens*) (Lionello a kol., 2006; Zelený, 2005).

Původní rozšíření dubu cesmínového se sice váže k západnímu mediteránu, ale v dnešní době se nachází prakticky v celé oblasti Středozemního moře až po východní část Turecka (Mrázek, 2009). Oblasti výskytu jsou také na Kanárských ostrovech, kde dokáže růst na téměř vyprahlých půdách (Mrázek, 2009). Ve všech oblastech výskytu se dubu cesmínovému daří takřka na všech možných půdách. Výšková variabilita rozšíření je taktéž různorodá. Stanoviště výskytu jsou evidována od pobřežních lokalit až po lokality horské ve výškách okolo 1400 m. n. m. (Mrázek, 2009).



Obrázek 2 Rozšíření dubu cesmínového (*Quercus ilex* L.)
(zdroj https://forest.jrc.ec.europa.eu/media/atlas/Quercus_ilex.pdf)

Dub cesmínový je součástí kultury a obživy ve Španělsku již od starověku, neboť právě v tanních oblastech byl součástí sylvopastorálního ekosystému a jeho žaludy byly nedílnou součástí krmiva pro černá iberská prasata. Jako každý jiný dub se i dub cesmínový vyznačuje skvělým tvrdým dřevem, proto se již odpradávná používalo na konstrukce staveb a lodí, či k výrobě zemědělského nářadí. Využití se našlo také v podobě dřevěného uhlí. Třísloviny z kůry se používaly k vydělávání kůží, ale i jako léčivo. V době největší nouze žaludy nesloužily jen jako potrava pro prasata, ale našly místo také v potravě pro lidi v podobě žaludové mouky (Montagnoli a kol., 2009; Früchtenicht a kol., 2021)

Tento druh se dorůstá 20 (vzácně 27) metrů s velmi prostornou korunou. Na extrémně suchých lokalitách se však vyskytuje také v podobě vyššího keře. Kmen se vyznačuje jako přímý nebo lehce křivolaký, borka šedavá, hluboce rozpraskaná (Anonymous, 2006). Jedná se o dlouhověký strom, jehož věk může dosáhnout až kolem 500 let.

Jakožto zástupce listnatých stálezelených dřevin si ponechává listy po celý rok. Zásluhou ponechání listů je schopen provádět fotosyntézu i v zimním období. Další

konkurenční výhodou ponechání listů přes zimu je také ušetření energie při jarním obrůstání a zároveň schopnosti na sebe vázat uhlík po celý rok (Vannini, Rodriguez, 2022).

Mnohé studie se zabývaly dubem cesmínovým z důvodu jeho vysoké odolnosti vůči suchu (Moreno a kol., 2008; Flexas a kol., 2014; Forner a kol., 2020). Dub cesmínový má schopnost přizpůsobit se extrémnímu suchu zmenšením své listové plochy a zároveň je schopen vázat uhlík i při velkém stresu způsobeným suchem (Forner a kol., 2018). Touto adaptací zabraňuje selhání či poškození fotosystému v období sucha, kdy je vodní potenciál listů a xylému nízký (Rambal a kol., 2003). Čelí však většímu riziku selhání hydraulického systému (Choat a kol., 2012). Dub cesmínový je také adaptován semiaridnímu klimatu tím, že jeho vysoká vodivost průduchů a mezofylu napomáhá růstu především v jarních měsících, dokud je dostupná vyšší půdní vlhkost (Peguero-Pina a kol., 2016).

Jeho nesmírně cenným atributem je kořenový systém, kterým si dokáže i na značně suchých půdách najít vodu hluboko v zemi (Salomon a kol., 2022). V porovnání s jinými druhy dřevin, které nedisponují hlubokými kořeny, mají duby obecně konkurenční výhodu v suchých oblastech. Dokáží se adaptovat i na horká městská prostředí, kde nepotřebují déšť celé léto, což je jedním z důvodů, proč je tento druh hojně vysazován, jako odolný strom do jihoevropských měst (Salomon a kol., 2022).

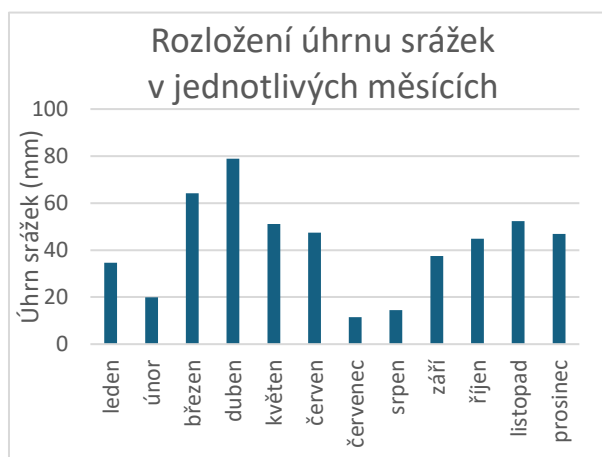
4 Metodika

4.1 Charakteristika oblasti

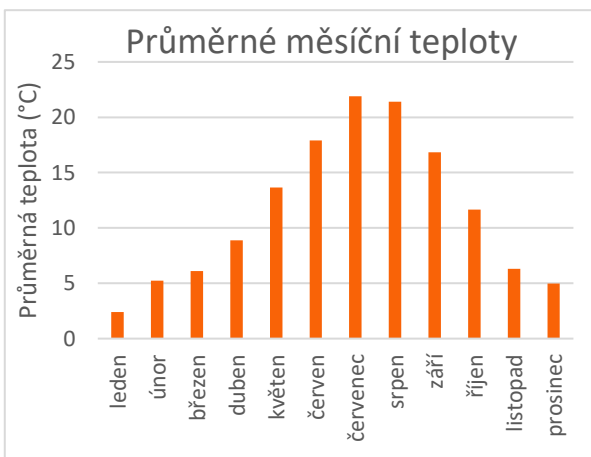
Data získána pro tuto bakalářskou práci byla sbírána v Národním parku Alto Tajo, který je svou polohou v provinciích Cuenca a Guadalajara součástí mediteránu. Středomoří neboli mediterán je území rozléhající se kolem Středozemního moře a zaujímá státy jižní Evropy a severní Afriky (Zelený, 2005). Nejhojněji vyskytující se dřeviny v oblasti Národního parku Alto Tajo jsou *Quercus faginea* (38,7 %), *Pinus nigra* (35,1 %) a *Quercus ilex* (25,8 %) (Fornier a kol., 2018).

Pro město Molina de Aragon ($40^{\circ}50'40''N$, $1^{\circ}53'07''W$, 1063 m), které je přilehlé výzkumným plochám, odpovídá průměrný roční úhrn srážek $477,1 \pm 15,6$ mm a průměrná roční teplota $10,4 \pm 0,2$ °C (data pro období 1951-2017; Agencia Estatal de Meteorología).

Pro výzkumné plochy byla meteorologická data stažena z databáze E-OBS pro období let 2018-2022. Hodnota průměrného ročního úhrnu srážek odpovídala 503 mm a průměrná roční teplota 11,4 °C. Z průměrného rozložení srážek v jednotlivých měsících (Obr. 3) lze pozorovat největší úhrn srážek v dubnu a březnu, naopak nejmenší množství srážek v období léta v červenci a srpnu. V nejsušších měsících (červenci a srpnu) byly zároveň nejvyšší průměrné teploty (Obr. 4)



Obrázek 3 Průměrné rozložení úhrn srážek v období 2017-2022 v jednotlivých měsících; Databáze E-OBS; vlastní zpracování



Obrázek 4 Průměrné měsíční teploty v období let 2018-2022; Databáze E-OBS; vlastní zpracování

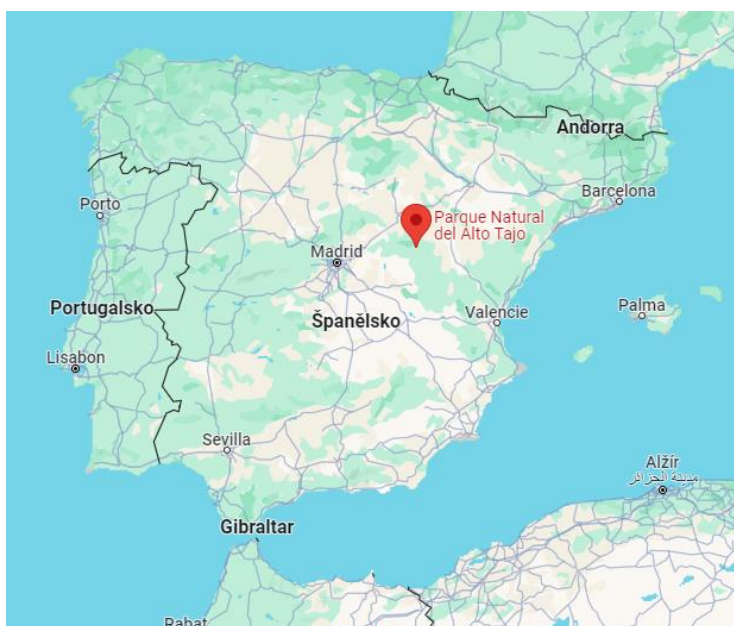
4.2 Výzkumné plochy

Na území o rozloze 50 x 50 km v rozmezí nadmořských výšek 960 – 1 400 m. n. m. bylo v rámci projektu FunDivEurope v roce 2010 založeno 36 výzkumných ploch.

Projekt si klade za cíl popsat vztah lesní biodiverzity a úlohu biodiverzity v ekosystémových funkcích lesa (FunDivEurope, 2010). Data pro tuto bakalářskou práci byla sbírána v letech

2017-2022 na 16 plochách vždy

o rozloze 30 x 30 m, kde se nacházel dub cesmínový, jak v monokulturách, tak i v různých kombinacích ve smíšení s dubem portugalským (*Quercus faginea* Lam.), borovicí lesní (*Pinus sylvestris* L.) a borovicí černou (*Pinus nigra* J.F. Arnold) (Tab. 14).



Obrázek 5 Lokalizace oblasti sběru dat (Zdroj dat: Google maps, 13.1.2024)



Obrázek 6 Pohled do porostu s dubem cesmínovým

4.3 Instalace bodových dendrometrů

Bodové dendrometry, které byly použity k měření, pocházely od českého výrobce značky TOMST s.r.o. Od stejného výrobce byl poskytnut také program Lolly manager, ve kterém bylo možné dendrometry nastavovat, kontrolovat stav baterie, nebo rovnou po stažení dat shlédnout vzniklý graf přírůstu kmene. Aby bylo možné dendrometr k měření využít, bylo třeba jej správně nainstalovat. Instalace dendrometrů spočívala v následujících krocích.

Pro instalaci dendrometrů se vybíraly zdravé stromy a následně se na jejich severně orientované straně připravilo místo pro připevnění dendrometrů. Nejdříve se kmen stromu ve výčetní výšce – 1,3 m musel nožem vyčistit od nečistot a byla vyříznuta plocha o velikosti přibližně 5 cm² do borky kmene, přičemž by vybrané místo nemělo obsahovat anomálie, suky, nebo poranění. Na odkorněné místo se do kmene vyvrtala kolmo díra do hloubky



Obrázek 7 Ukázka nainstalovaného bodového dendrometru

minimálně 0,4 cm. Ještě před upevněním dendrometru na kmen stromu bylo důležité zkontrolovat pružinu, která je součástí dendrometru. Kontrolovalo se, zda pružina není zatuhlá, neboť v případě zaseknuté pružiny by data nebyla měřena. Následně se dendrometr připevnil ke kmeni stromu pomocí nerezového šroubu a dvou matic, čímž byla instalace hotová. Každý dendrometr má univerzální číselný kód, který je na dendrometru napsaný. Tyto číselné kódy se přiřadily k druhu dřeviny a ke stanovišti, na kterém se dendrometr nacházel.

V programu Lolly manager se nastavily časové intervaly, ve kterých měla být data měřena. V případě této práce byly intervaly měření nastaveny na 15 minut.

4.4 Sběr dat v terénu

Sbíraná data pocházela již z nainstalovaných bodových dendrometrů. Většina dendrometrů byla umístěna v monitorovaných výzkumných sítích již od roku 2017, ale některé z nich byly přidány až později. Aby data nebyla znehodnocena, uskutečňují se pravidelné roční kontroly, zda dendrometry fungují. Kontrola dendrometrů spočívá především v kontrole funkčnosti pružin.

Na pružinu dendrometru totiž působí odpor v důsledku smršťování a roztahování se kmene. Hodnoty odporu jsou zaznamenávány pomocí potenciometru a ukládají se do dataloggeru. Kdyby se pružina zasekla, data by nebylo možné získat. Zároveň je také potřeba zkontrolovat, zda přírůst kmene nebyl natolik velký, že by se pružina neměla již kam roztahovat. V takovém případě je nutné pružinu uvolnit. Dále je dobré zkontrolovat stav baterie dendrometrů, což je možné provést prostřednictvím programu Lolly manager.

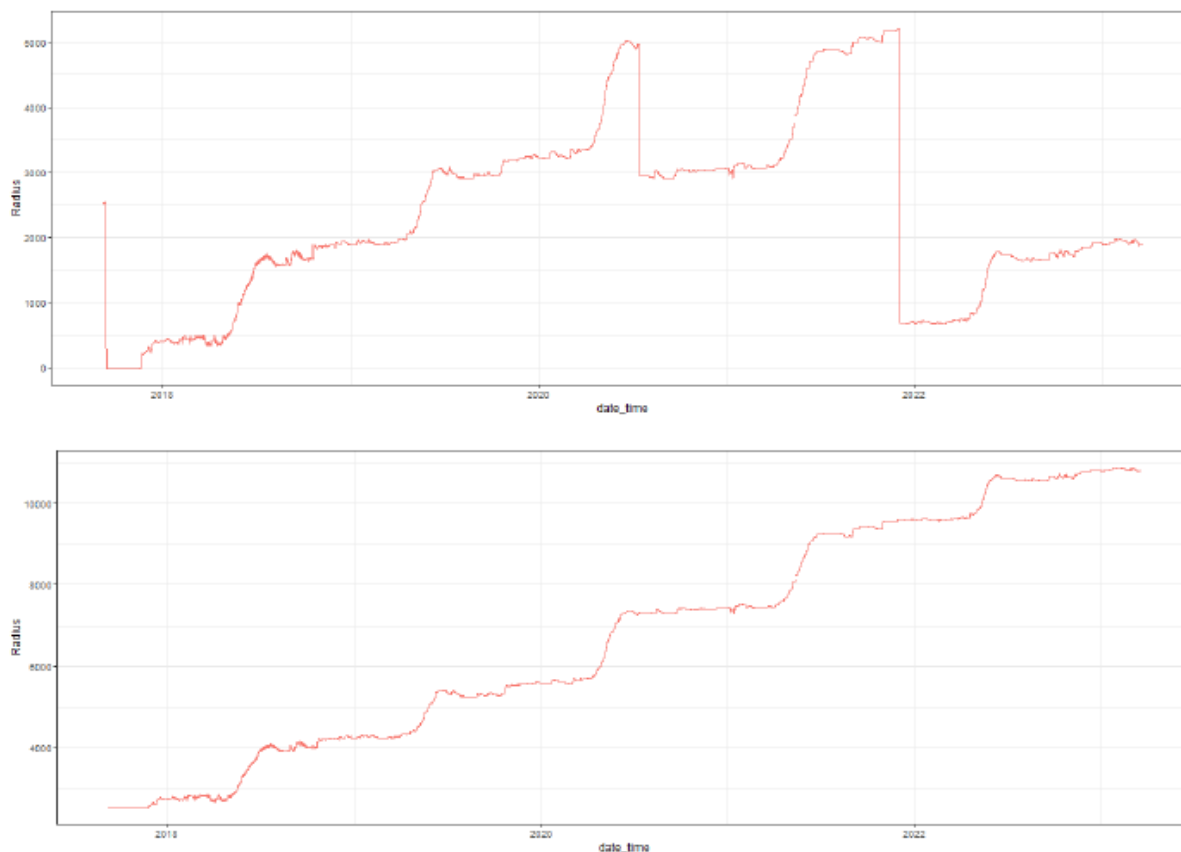


Obrázek 8 Stahování dat pomocí TMD adaptéru

Po kontrole dendrometrů přichází čas na stahování dat. Data se stahují přiložením TMD adaptéru (Obr. 8), který je přes USB kabel připojen k notebooku se stáhnutým programem Lolly. Během doby, kdy je TMD adaptér přiložen k dendrometru lze na obrazovce notebooku možné vidět, kolik procent se již stáhlo a kolik zbývá. Po dokončení stahování dat je důležité prohlédnout vzniklý graf, konkrétně jestli se zobrazil celý. Kdyby byla křivka grafu přerušená nebo vznikla vodorovná přímka, je potřeba stáhnout data znovu. Stáhnutá data se automaticky ukládají do notebooku pod číslem dendrometru.

4.5 Čištění dat

Aby bylo možné s daty nadále pracovat s co nejméně zkreslenými výsledky, bylo potřeba data vyčistit. V datech mohly vzniknout chyby například v důsledku zaseknutí pružiny, nebo během manipulace s dendrometry. Data se kontrolovala vizuálně v programu R (R Core Team, 2023) pomocí balíčku PLOTeR (Plichta, nepublikováno). Pokud byla chyba viditelná, odstranila se vyrovnáním grafu (Obr. 9).



Obrázek 9 Ukázka úpravy dat před a po vyčištění

Po odstranění odchylek v grafech následovala úprava počátku vegetačního období u grafů, kde byl počátek detekován balíčkem PLOTeR chybně. Poté byly z balíčku PLOTeR vyexportovány excelovské tabulky, ve kterých byly uvedeny ID jednotlivých dendrometrů vždy se všemi naměřenými hodnotami. S těmito tabulkami se pak dále pracovalo v programu R.

4.6 Zpracování dat

Data byla analyzována pomocí balíčku PLOTeR a rovněž pomocí programu Statistica. Zpracovaná data se týkala především začátku a konce vegetačního období, délky trvání vegetačního období, přírůstu a smršťování kmene. V programu R byly následně vytvořeny grafy, které jsou uvedeny ve výsledcích.

Data byla statisticky vyhodnocována pomocí programu Statistica, kde byla posuzována významnost vlivu jednotlivých proměnných. Byla analyzována existence statisticky významného rozdílu použitím ANOVA na hladině významnosti $\alpha = 0,05$. Dále byla použita analýza pomocí korelace. Hodnoty, týkající se počasí, které byly využity v analýze korelaci, byly staženy z databáze E-OBS. Údaje o průměrných měsíčních teplotách a měsíčních součtech množství srážek, byly odvozeny pomocí modelu pro všechny výzkumné plochy (Obr. 20).

4.6.1 Roční přírůst

Roční přírůst měřený v jednotce GRO zaznamenává přírůst nově vzniklých buněk v průběhu roku, které se zasluhují o tloušťkový přírůst kmene. Přírůst byl měřen pomocí velmi přesných bodových dendrometrů, které zaznamenávaly tloušťkové změny kmene v 15 minutových intervalech a následně data automaticky ukládaly do dataloggeru. U zpracovávaných dat byly změněny intervaly z 15 minutových na hodinové a zároveň byly odstraněny krajní hodnoty, aby posuzována data byla v intervalu 95 % spolehlivosti. Závislost GRO s dalšími proměnnými byla posléze posuzována ve Statistice na hladině významnosti $P < 0,05$.

4.6.2 Délka vegetační sezóny

Délka vegetační sezóny byla měřena ve dnech, konkrétně bylo odečteno pořadí prvního dne vegetační sezóny od posledního vegetačního dne v roce. Pořadí dne v roce (day of year) se v této práci značí DOY. Také data o délce vegetační sezóny byla následně porovnávána ve Statistice s klimatickými daty staženými z databáze E-OBS.

4.6.3 Začátek a konec vegetační sezóny

Začátek i konec vegetační sezóny se převedl na DOY. Převedení bylo potřebné k následnému porovnání dat z monitorovaných let mezi sebou navzájem.

Za počátek vegetační sezóny se považoval DOY, ve kterém dřevina začala růst. U stanovení konce vegetační sezóny se DOY stanovilo na den, který byl posledním růstovým, a tedy i vegetačním dnem sezóny.

4.6.4 TWD

Veličina TWD popisuje míru smrštění kmene v důsledku snížení vodního potenciálu, který je zapříčiněn ztrátou vody. TWD se udává v jednotce mikrometry (μm). Ačkoliv se hodnota vodního potenciálu, a tím i TWD v průběhu dne mění, tak je v obrázku zobrazeno průměrné TWD v horizontu celého roku.

5 Výsledky

5.1 Korelační matice

| Proměnná | Roční přírůst | Délka vegetační sezóny | Začátek vegetační sezóny | Konec vegetační sezóny | Radius TWD | teplota | srážky |
|--------------------------|-----------------|------------------------|--------------------------|------------------------|------------|-----------|-----------------|
| Roční přírůst | 1,000000 | 0,959962 | -0,792470 | 0,876267 | 0,395247 | -0,664267 | 0,906058 |
| Délka vegetační sezóny | 0,959962 | 1,000000 | -0,827031 | 0,819536 | 0,335475 | -0,438304 | 0,811728 |
| Začátek vegetační sezóny | -0,792470 | -0,827031 | 1,000000 | -0,582500 | 0,222817 | 0,246262 | 0,704086 |
| Konec vegetační sezóny | 0,876267 | 0,819536 | -0,582500 | 1,000000 | 0,585284 | -0,619918 | 0,961540 |
| TWD | 0,395247 | 0,335475 | 0,222817 | 0,585284 | 1,000000 | -0,530610 | 0,399682 |
| Teplota | -0,664267 | -0,438304 | 0,246262 | -0,619918 | 0,530610 | 1,000000 | 0,695915 |
| Srážky | 0,906058 | 0,811728 | -0,704086 | 0,961540 | 0,399682 | -0,695915 | 1,000000 |

Tabulka 1 Korelační matice mezi proměnnými navzájem a meteorologickými daty

Ve výše uvedené tabulce (Tab. 1) jsou přehledně uvedeny výsledky analýzy pomocí korelace. Zvýrazněné hodnoty signifikují silnou korelaci vždy mezi dvěma proměnnými. V následujících kapitolách budou tyto hodnoty rozebírány dopodrobna vždy s příslušnou proměnnou. Taktéž tabulky 2 a 3 zobrazují hodnoty korelace mezi začátkem a koncem vegetační sezóny s hodnotami průměrných měsíčních teplot (Tab. 3) a součtu uhrnutých srážek v jednotlivých měsících (Tab. 2).

| proměnná | začátek vegetační sezóny | konec vegetační sezóny |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| začátek vegetační sezóny | 1,000000 | -0,582500 |
| konec vegetační sezóny | -0,582500 | 1,000000 |
| TWD | 0,222817 | 0,585284 |
| leden | -0,576840 | 0,402024 |
| únor | -0,263211 | 0,608567 |
| březen | -0,640386 | 0,535697 |
| duben | -0,107803 | 0,429548 |
| květen | -0,906912 | 0,859651 |
| červen | -0,610398 | 0,888509 |
| červenec | -0,320131 | -0,311810 |
| srpen | -0,235420 | -0,573469 |
| září | -0,264911 | 0,343864 |
| říjen | -0,394258 | 0,826591 |
| listopad | 0,685715 | 0,144488 |
| prosinec | 0,631477 | -0,711514 |

Tabulka 2 Korelační matice mezi úhrnem množství srážek v jednotlivých měsících v závislosti na začátku a konci vegetační sezóny

| proměnná | začátek vegetační sezóny | konec vegetační sezóny |
|--------------------------|--------------------------|------------------------|
| začátek vegetační sezóny | 1,000000 | -0,582500 |
| konec vegetační sezóny | -0,582500 | 1,000000 |
| délka vegetační sezóny | -0,827031 | 0,819536 |
| leden | -0,376178 | 0,451131 |
| únor | 0,040389 | -0,764223 |
| březen | 0,231112 | -0,616518 |
| duben | -0,961166 | 0,397990 |
| květen | -0,211184 | -0,539524 |
| červen | 0,699254 | -0,695700 |
| červenec | 0,316349 | -0,610768 |
| srpen | 0,293864 | -0,036420 |
| září | -0,142833 | 0,819102 |
| říjen | 0,845797 | -0,586212 |
| listopad | -0,371002 | -0,006716 |
| prosinec | 0,811385 | -0,210721 |

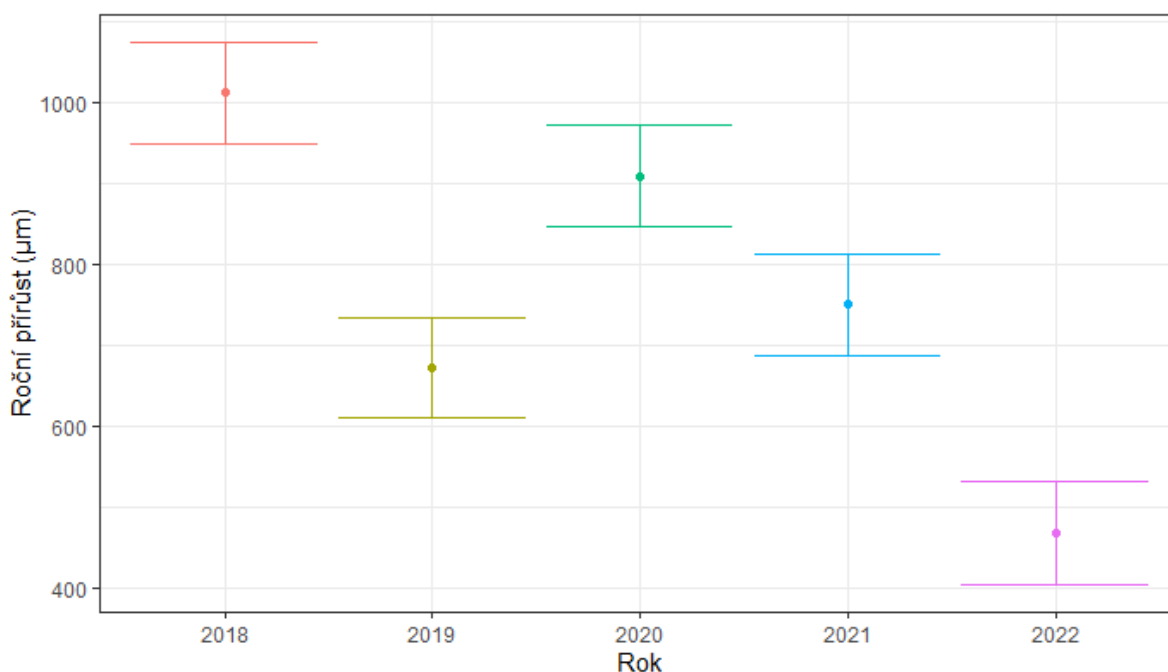
Tabulka 3 Korelační matice měsíčních teplot v závislosti na začátku a konci vegetační sezóny

5.2 Roční přírůst

Největší tloušťkový přírůst byl zaznamenán v roce 2018 (Obr. 10), ve kterém byla naměřena hodnota průměrného přírůstu 1012,3 μm (Tab. 4). Druhý největší přírůst byl zaznamenán o dva roky později v roce 2020, a to 909,7 μm . V roce 2021 byl přírůst o 158,7 μm menší, konkrétně se jednalo o hodnotu 751 μm . Rok 2019 byl s druhým nejmenším přírůstem 672,2 μm . Menší roční přírůst byl zaznamenán už jen v roce 2022, ve kterém byl přírůst pouze 468,3 μm (Tab. 4).

| | .id year | Průměr | Střední chyba |
|---|-----------|---------|---------------|
| 1 | year 2018 | 1012,30 | 63,41 |
| 2 | year 2019 | 672,23 | 62,36 |
| 3 | year 2020 | 909,74 | 63,10 |
| 4 | year 2021 | 750,99 | 63,08 |
| 5 | year 2022 | 468,27 | 64,23 |

Tabulka 4 Průměrné hodnoty ročního přírůstu



Obrázek 10 Roční radiální přírůst dubu cesmínového. Tečky označují průměrné hodnoty, rovnoběžné čáry značí 95% interval spolehlivosti

Na základě stažených meteorologických dat byla zjištěna velmi vysoká závislost ročního přírůstu a úhrnu množství srážek ($r = 0,906$; $P < 0,05$). Velmi vysoká závislost korelace byla prokázána také mezi hodnotami ročního přírůstu a délkou vegetační sezóny ($r = 0,959$; $P < 0,05$) (Tab. 1).

Rok 2022 byl nejsušším ze všech monitorovaných let (Tab. 13). V tomto roce byl průměrný úhrn srážek na výzkumných plochách 365,58 mm/rok. S nejmenším úhrnem srážek a zároveň s nejvyšší průměrnou teplotou 12,26 $^{\circ}\text{C}$ (Tab. 13) byl rok 2022 rokem s nejmenším přírůstem 468,3 μm (Tab. 4). Druhým nejsušším rokem s úhrnem srážek 407,4 mm/rok

a průměrnou roční teplotou 11,38 °C byl rok 2019 (Tab. 13), ve kterém byl také druhý nejmenší tloušťkový přírůst 672,2 μm (Tab. 4). V letech 2020 a 2021 byl úhrn srážek poměrně vyrovnaný, což ale neplatí o tloušťkovém přírůstu. Rok 2020 byl v průměrném součtu o 8 mm sušší a s teplotou 11,62 °C také o 0,74 °C teplejší (Tab. 13), než rok 2021, ale i přesto byl přírůst v sušším roce o 158,7 μm větší (Tab. 4). Pravděpodobně byl větší přírůst v roce 2020 způsoben o 14 dní delší vegetační sezónou (Tab. 5), neboť i délka vegetační sezóny má velmi vysokou závislost korelace s ročním přírůstem. Naopak největší množství úhrnu srážek patřilo roku 2018 (Tab. 13), ve kterém byl také naměřen největší tloušťkový přírůst (Tab. 4). V tomto roce bylo množství úhrnu srážek více než dvojnásobné oproti extrémně suchému roku 2022. Konkrétně byl rok 2018 s úhrnem 707,38 mm/rok nejdeštivějším rokem ze všech monitorovaných let a zároveň druhým nejchladnějším s průměrnou teplotou 11,03 °C (Tab. 13).

Bylo prokázáno, že roční tloušťkový přírůst je v suchých letech menší, a naopak v letech s vyšším úhrnem srážek větší. Dále se ukázalo, že množství srážek má na přírůst dubu cesmínového větší vliv než teplota (Tab. 1). Teplota měla při korelaci pouze střední závislost ($r = 0,664$; $P < 0,05$), zatímco množství úhrnu srážek velmi vysokou závislost ($r = 0,906$; $P < 0,05$). Velmi silná závislost korelace byla prokázána také mezi délkou vegetační sezóny a ročním tloušťkovým přírůstem ($r = 0,959$; $P < 0,05$). Čím delší vegetační sezóna v daném roce byla, tím větší tloušťkový přírůst u dřeviny nastal.

5.3 Délka vegetační sezóny

Nejdelší vegetační sezóny, které měly vyrovnaný počet vegetačních dní, nastaly v letech 2018 a 2020 (Obr. 11). V roce 2018 byla délka vegetační sezóny nejdelší a trvala 92,6 dne (Tab. 5). O dva roky později, tudíž v roce 2020, byla délka vegetační sezóny oproti roku 2018 jen o 1,3 dne kratší. Roky 2018 a 2020 měly nejen nejdelší vegetační sezóny (Tab. 5), ale zároveň to byly také sezóny, ve kterých došlo k největším tloušťkovým přírůstům z monitorovaných let (Obr. 10). Vzhledem k tomu, že vegetační sezóny byly v obou letech téměř stejně dlouhé, ale tloušťkový přírůst v roce 2018 o 102,6 μm větší (Obr. 10), bylo potřeba najít faktor, který tuto diferenciaci způsobil. v roce 2020, ve kterém byl tloušťkový přírůst menší, byla průměrná roční teplota o 0,6 °C vyšší a zároveň úhrn srážek byl o 192 mm menší (Tab. 13), než v roce 2018. Naopak rok 2018 měl kombinaci nejdéle trvající vegetační sezóny s největším množstvím úhrnu srážek, které v tomto roce činily v průměru 707,39 mm/rok (Tab. 13).

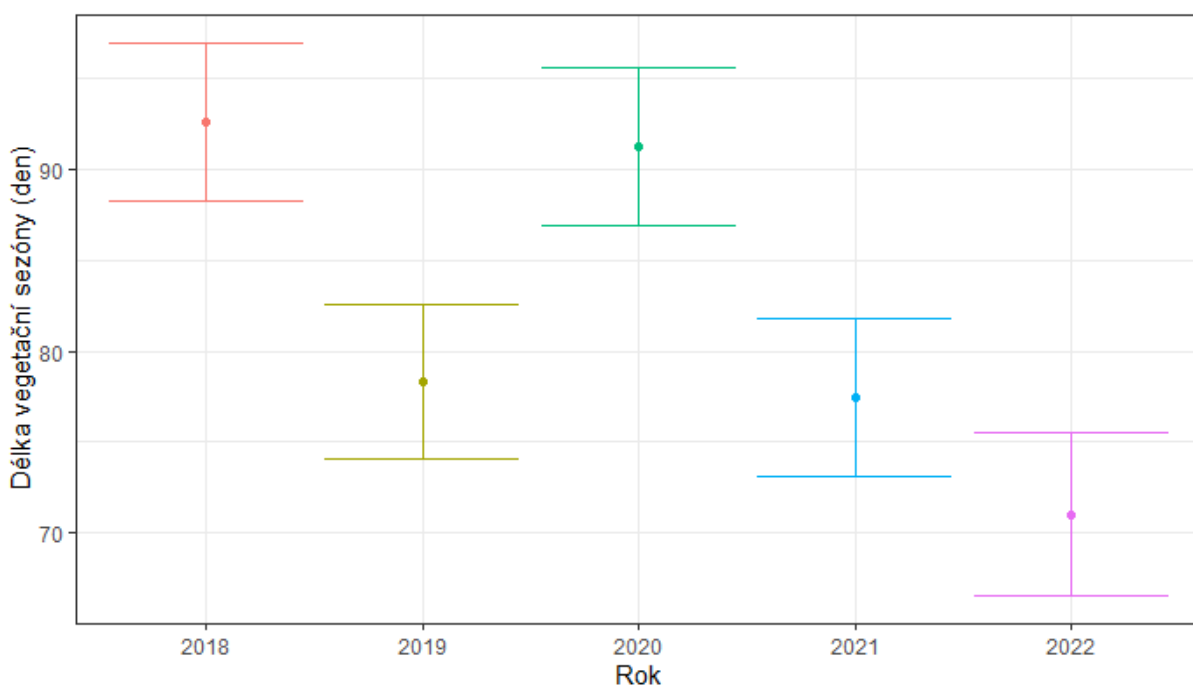
Lze proto předpokládat, že větší tloušťkový přírůst byl ovlivněn především vyšším úhrnem srážek, a naopak vliv teploty nehrál na větší tloušťkový přírůst významnou roli (Tab. 1).

Téměř stejně dlouhé období vegetační sezóny s rozdílem jednoho dne měly roky 2019 a 2021 (Tab. 5). V roce 2019 trvalo vegetační období průměrně 78,3 dne a bylo jen o jeden den delší, než v roce 2021, ve kterém bylo vegetační období dlouhé 77,5 dní (Tab. 5). Ani ve dvojici těchto let s podobně dlouhou vegetační sezónou však nebyl tloušťkový přírůst podobný (Obr. 11). Stejně jako tomu bylo v letech 2018 a 2020, tak i v tomto případě byl tloušťkový přírůst větší v roce s větším úhrnem srážek. v roce 2021 byl průměrný úhrn srážek monitorovaných ploch 523,48 mm/rok, což bylo o 116 mm za rok více, než v roce 2019 (Tab. 13). Ačkoliv byla období vegetační sezóny téměř stejně dlouhá, v roce, ve kterém byl o 116 mm vyšší úhrn srážek, byl také o 78,7 μm větší tloušťkový přírůst (Obr. 10).

Nejkratší vegetační sezóna nastala v roce 2022 (Obr. 11), který byl zároveň ze všech let nejteplejší a nejsušší (Tab. 13). Vegetační sezóna v tomto roce trvala pouhých 71 dní, což je téměř o tři týdny méně, než v letech 2018 a 2020 (Tab. 5). Rok 2022 byl, jak již bylo zmíněno, ze všech let nejteplejším a nejsušším, průměrná roční teplota činila 12,26 °C a roční úhrn srážek byl jen 365,5 mm/rok (Tab. 13).

| | .id year | Průměr | Střední chyba |
|---|-----------|--------|---------------|
| 1 | year 2018 | 92,62 | 4,39 |
| 2 | year 2019 | 78,34 | 4,25 |
| 3 | year 2020 | 91,29 | 4,34 |
| 4 | year 2021 | 77,47 | 4,34 |
| 5 | year 2022 | 71,01 | 4,48 |

Tabulka 5 Průměrné trvání délky vegetační sezóny



Obrázek 11 Délka vegetační sezóny dubu cesmínového. Tečky označují průměrné hodnoty, rovnoběžné čáry značí 95% interval spolehlivosti

Velmi vysoká korelace byla zjištěna mezi délkou vegetační sezóny a ročním tloušťkovým přírůstem ($r = 0,959$; $P < 0,05$) (Tab. 1). Vysoká závislost byla prokázána také u množství úhrnu srážek ($r = 0,811$; $P < 0,05$) (Tab. 1). Naopak vliv teploty na délku vegetační sezóny nebyl příliš významný ($r = 0,438$; $P < 0,05$) (Tab. 1).

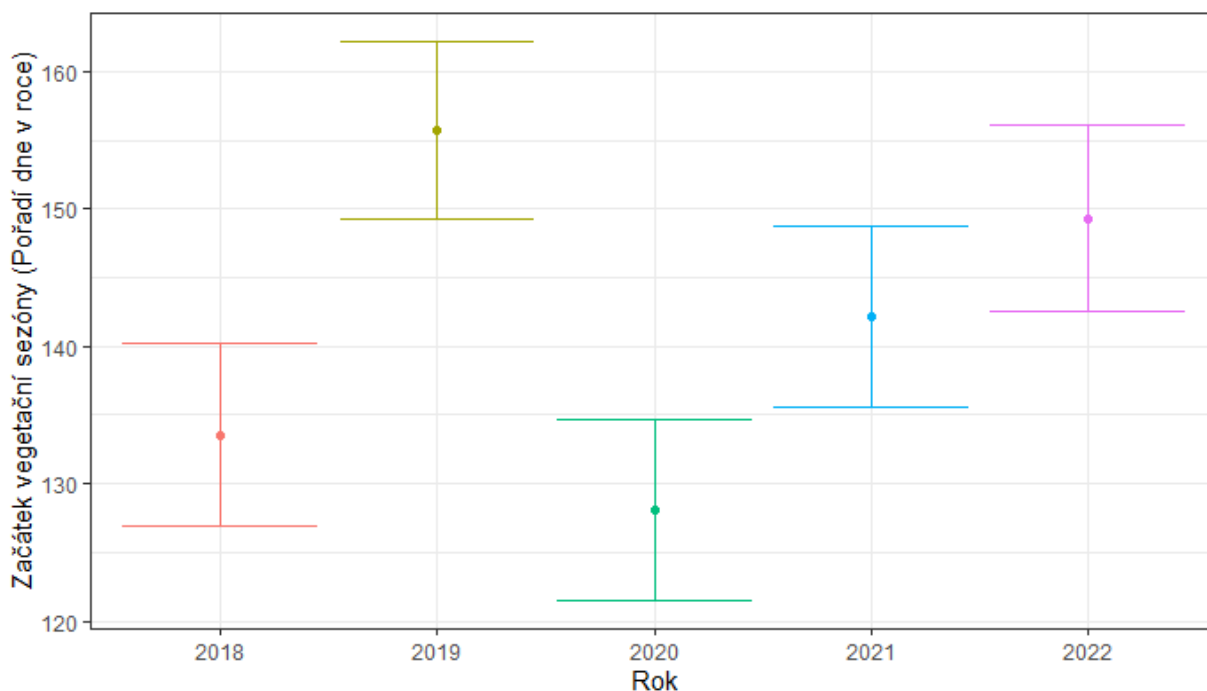
Z výsledků vyplývá, že čím delší byla vegetační sezóna, tím delší časový úsek měla dřevina k růstu a její tloušťkový přírůst byl proto větší. Ačkoliv největší vliv na roční tloušťkový přírůst měla právě délka vegetačního období, tak na délku vegetačního období měl nejsilnější vliv úhrn srážek.

5.4 Začátek vegetační sezóny

Nejpozději byl detekován počátek vegetační sezóny v roce 2019 (Obr. 12), ve kterém sezóna započala až 155 DOY, což odpovídá 4. červnu. Pozdní počátek nastal také v extrémním roce 2022, ve kterém připadl počátek na 149 DOY, což odpovídá dni 29. května. Naopak nejdříve začala vegetační sezóna v roce 2020, kdy začátek připadl na den 6. května (128 DOY), což je téměř o měsíc dříve, než tomu bylo v roce 2019. Druhý nejbržčí počátek připadl na rok s největším úhrnem srážek (Tab. 13), tedy na rok 2018, ve kterém vegetační sezóna začala dne 13. května (133 DOY).

| | .id year | Průměr | Střední chyba |
|---|-----------|--------|---------------|
| 1 | year 2018 | 133,55 | 6,66 |
| 2 | year 2019 | 155,75 | 6,49 |
| 3 | year 2020 | 128,07 | 6,61 |
| 4 | year 2021 | 142,20 | 6,61 |
| 5 | year 2022 | 149,30 | 6,80 |

Tabulka 6 Průměrný začátek vegetační sezóny



Obrázek 12 Začátek vegetační sezóny dubu cesmínového. Tečky označují průměrné hodnoty, rovnoběžné čáry značí 95% interval spolehlivosti

Z výsledků vyplývá, že nejbrzčí počátky vegetační sezóny připadly na roky s největším průměrným úhrnem srážek (Tab. 13). Dokazuje to vysoká závislost korelace mezi začátkem vegetační sezóny a úhrnem srážek (Tab. 1). Zvláštní výjimku lze pozorovat v roce 2021, který byl sice na úhrn srážek bohatý (Tab. 13), ale vegetační sezóna v něm započala později (Tab. 6). Důvodem pozdějšího počátku vegetační sezóny nebylo jen množství úhrnu srážek, ale jejich odlišné rozdělení v průběhu roku (Tab. 11). V roce 2021, ve kterém započala vegetační sezóna později, než se očekávalo, byl průměrný úhrn srážek za měsíce v období jara (březen–květen) pouhých 43,54 mm/měsíc, zatímco v letech 2018 a 2020 bylo období jara na úhrn srážek bohatší. V roce 2018 byl průměrný úhrn srážek na jaře (březen–květen) 98,34 mm/měsíc, což je více než 2x vyšší hodnota v porovnání s rokem 2021 (Tab. 11). Také rok 2020 byl bohatý na úhrn srážek v jarním období, jednalo se o průměrnou hodnotu 85,50 mm/měsíc (Tab. 11). Lze proto tvrdit, že na počátek vegetační sezóny nemá vliv pouze celkové roční množství úhrnu srážek, ale také jejich rozdělení v průběhu roku. Nejvlivnějším faktorem na zahájení vegetační sezóny je množství úhrnu srážek v období jara (březen–květen). V korelační matici byla zjištěna velmi vysoká závislost korelace mezi začátkem vegetačního období a množstvím úhrnu srážek v měsíci květen ($r = 0,906$; $P < 0,05$) (Tab. 2).

Ačkoliv se předpokládalo, že v teplejších letech začne vegetační sezóna dříve, nebyl tento předpoklad potvrzen. Pokud dřevina neměla dostatečné množství vody v období největšího vegetačního rozmachu, tedy v období jara, byl počátek růstu opožděn. Data vztahující se k začátku vegetačního období byla v korelační matici ve velmi vysoké závislosti také s průměrnou měsíční dubnovou teplotou ($r = 0,961$; $P < 0,05$). Lze proto říci, že počátek vegetační sezóny je nejvíce ovlivněn množstvím úhrnu srážek v květnu a průměrnou měsíční teplotou v dubnu.

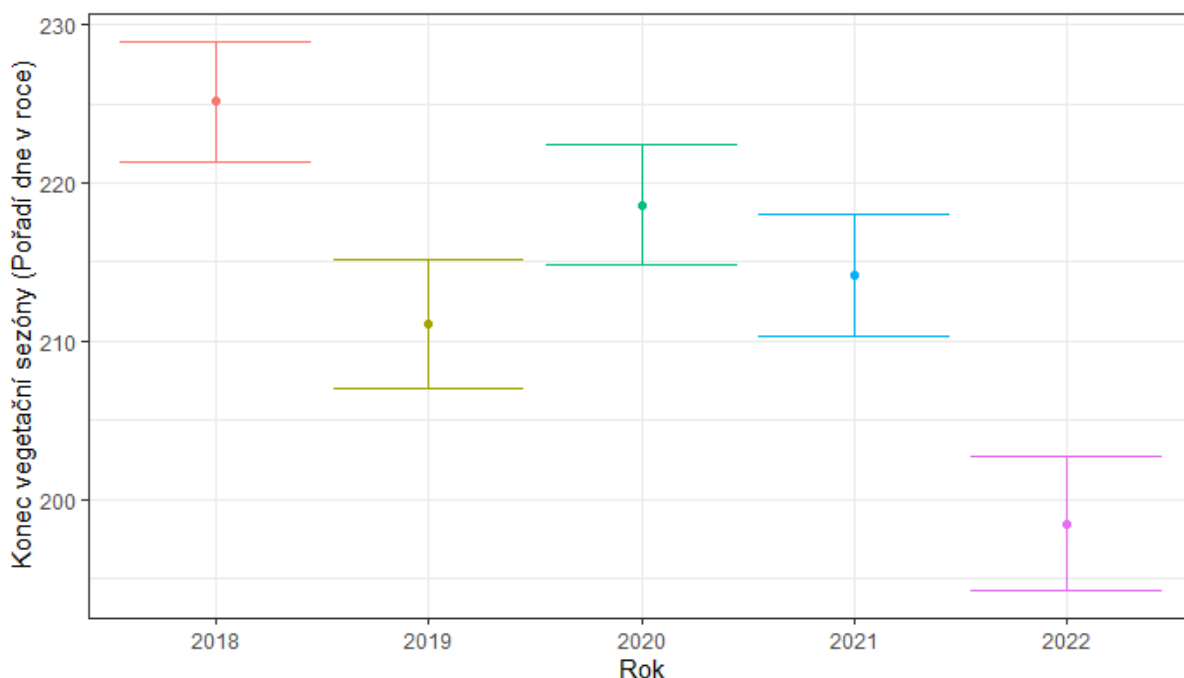
5.5 Konec vegetační sezóny

Nejpozději byla vegetační sezóna ukončena v roce 2018 (Obr. 13), v tomto roce byla vegetační sezóna zároveň druhou nejdříve započatou sezónou (Obr. 12) a v konečném součtu díky brzkému započetí a pozdnímu zakončení se stala nejdelší vegetační sezónou z monitorovaných let (Obr. 11). Konec vegetační sezóny odpovídal 225 DOY (Tab. 7), což odpovídá 13. srpnu. Druhé nejpozdější ukončení vegetační sezóny nastalo v roce 2020 (Obr. 13), kde konec připadl na 218 DOY, a tedy na 5. srpna. o pouhé tři dny se lišilo ukončení vegetačních sezón v letech 2019 a 2021 (Tab. 7). V roce 2021 byla vegetační sezóna ukončena 214 DOY, což bylo o tři dny později, než v roce 2019, kdy byla vegetační sezóna ukončena

211 DOY (Tab. 7). Pro rok 2021 odpovídá datum ukončení 2. srpnu a pro rok 2019 vychází 211 DOY na 30. července. Nejdříve z monitorovaných let byla vegetační sezóna ukončena v roce 2022, kdy konec nastal již 17. července (198 DOY) (Tab. 7). V porovnání s rokem 2018 byla vegetační sezóna v roce 2022 ukončena průměrně o 27 dní dříve (Tab. 7).

| | .id year | Průměr | Střední chyba |
|---|-----------|--------|---------------|
| 1 | year 2018 | 255,15 | 3,81 |
| 2 | year 2019 | 211,10 | 4,11 |
| 3 | year 2020 | 218,61 | 3,76 |
| 4 | year 2021 | 214,18 | 3,85 |
| 5 | year 2022 | 198,46 | 4,22 |

Tabulka 7 Průměrný konec vegetační sezóny



Obrázek 13 Konec vegetační sezóny dubu cesmínového. Tečky označují průměrné hodnoty, rovnoběžné čáry značí 95% interval spolehlivosti

Konec vegetační sezóny nejsilněji koreloval s množstvím úhrnu srážek ($r = 0,961$; $P < 0,05$) (Tab. 1). V korelační matici mezi koncem vegetační sezóny a jednotlivými měsíci roku, vyšla nejsilnější závislost s měsícem červen ($r = 0,888$; $P < 0,05$) a jen něco málo slabší byla korelace s měsícem květen ($r = 0,859$; $P < 0,05$) (Tab. 2). Teplota měla na konec vegetačního období v korelaci pouze střední závislost ($r = 0,619$; $P < 0,05$) (Tab. 1).

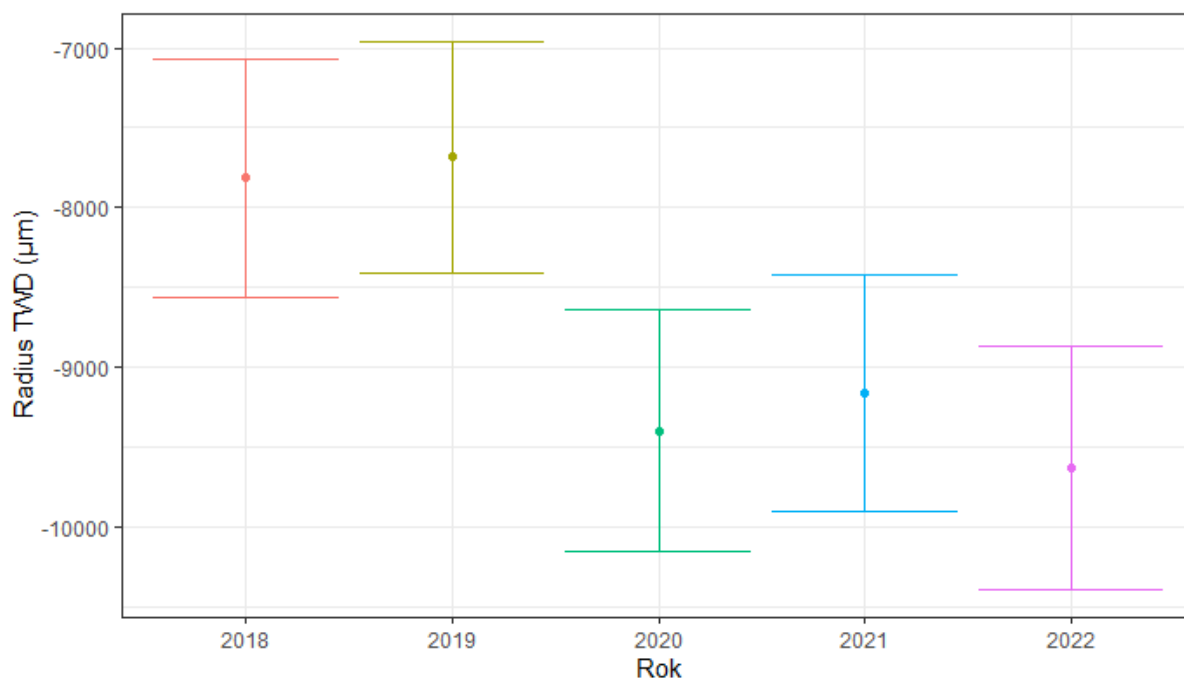
5.6 TWD

Z obrázku 18 je zřejmé, že k nejmarkantnějšímu smrštění kmene došlo v roce 2022, ve kterém se hodnota smrštění pohybovala na hodnotě $-9\ 633\ \mu\text{m}$ (Tab. 8). Rok 2022 byl sice ze všech let nejsušším rokem (Tab. 13), ale korelace mezi úhrnem množství srážek a smrštěním TWD byla pouze nízká ($r = 0,399$; $P < 0,05$) (Tab. 1). Podobné hodnoty smrštění byly ve dvojicích v letech 2020 a 2021 a ve dvojici 2018 a 2019 (Tab. 8).

V roce 2020 bylo smrštění druhé největší, konkrétně $-9\,369\ \mu\text{m}$ a v roce 2021 jen mírně menší smrštění $-9\,159\ \mu\text{m}$ (Tab. 8). Druhou dvojici, jak již bylo zmíněno, tvořily roky 2018 a 2019. Větší smrštění nastalo v roce 2018, kde se hodnota smrštění rovnala $-7\,812\ \mu\text{m}$ (Tab. 8). V roce 2019 bylo smrštění ze všech let nejnižší, konkrétně se jednalo o hodnotu $-7\,684\ \mu\text{m}$ (Tab. 8).

| | .id year | Průměr | Střední chyba |
|---|-----------|----------|---------------|
| 1 | year 2018 | -7812,72 | 746,60 |
| 2 | year 2019 | -7684,91 | 727,79 |
| 3 | year 2020 | -9396,89 | 754,16 |
| 4 | year 2021 | -9159,08 | 740,64 |
| 5 | year 2022 | -9633,13 | 761,11 |

Tabulka 8 Průměrné hodnoty TWD



Obrázek 14 TWD dubu cesmínového. Tečky označují průměrné hodnoty, rovnoběžné čáry značí 95% interval spolehlivosti

6 Diskuse

Studie odhalila citlivost dubu cesmínového na suché a teplé počasí v Národním parku Alto Tajo. Počasí významně ovlivňovalo dynamiku a fenologii růstu. Množství srážek mělo vliv na délku vegetačního období a na tloušťkový přírůst kmene stromu. Bylo zjištěno, že v letech s vyšším úhrnem srážek byla délka vegetačních sezón výrazně delší než v suchých letech, což vedlo k většímu tloušťkovému přírůstu kmene. Zároveň měl větší přírůst dřevin pozitivní vliv na sekvestraci uhlíku. Množství vody mělo dopad také na fenologii dřevin, neboť v suchých letech začínaly vegetační sezóny později a končily dříve. Množství úhrnu srážek se proto ukázalo ve středním Španělsku jako klíčový faktor ovlivňující dynamiku růstu dubu cesmínového.

6.1 Vliv na změnu klimatu

V posledních letech je stále častěji diskutovaným tématem změna klimatu, jejímž důsledkem je globální oteplování (Jürgen a kol., 2010). Globální oteplování má za následek zvyšující se teploty a rozdílnou distribuci srážek v jednotlivých regionech. V oblasti Středozemního moře se lze setkat se stále častějšími extrémními počasí, které znamenají pro tamní oblasti vyšší teploty a především nižší úhrny srážek (Carnicer, Alegria a kol., 2022). Rozdílné přírodní podmínky, zejména zmiňovaná rozdílná distribuce množství srážek, mají vliv také na dynamiku růstu stromů. Tato bakalářská práce odhalila některé ze změn, které ve fenologii růstu dubu cesmínového nastaly.

Ačkoliv je dub cesmínový považován za druh, který je vůči suchu adaptovaný a odolný, mnohé studie potvrdily jeho náchylnost na změnu ve fenologii růstu v horizontu dlouhodobě se měnícího klimatu (Barbeta a kol., 2013). Ve studii (Barbeta a kol., 2013), která měla za cíl popsat účinky dlouhodobého experimentálního sucha na porost dubu cesmínového, bylo zjištěno, že přírůst kmene byl výrazně nižší v suchých letech. Ke stejnému závěru dospěla i tato bakalářská práce ze středního Španělska, kde výsledky potvrdily velmi vysokou závislost mezi množstvím srážek a ročním tloušťkovým přírůstem kmene. V letech s dlouhodobě normálním nebo vyšším množstvím srážek byl významně větší tloušťkový přírůst. Naopak pro suché roky to znamenalo menší tloušťkový přírůst, neboť sucho nejspíše způsobilo snížení transpirace uzavřením průduchů (Limousin a kol., 2009). Dřeviny na nedostatek vody totiž reagují uzavřením průduchu na pokožce listů a následně je tloušťkový přírůst menší, čímž dojde k omezení sekvestrace uhlíku. Vzhledem k tomu, že jsou lesy jedním z nejdůležitějších ekosystémů na světě, neboť pohlcujících uhlík, a tím pomáhají ke zpomalení globálního

oteplování (Yingchun a kol., 2012), může nedostatek vody ještě umocnit dopady globální změny klimatu.

Naopak teplota neměla ve výsledcích z oblasti Alto Tajo výrazný vliv na tloušťkový přírůst kmene dubu cesmínového. Nevýznamnou roli teploty a zároveň významnou roli množství srážek prokázaly i další studie, které se zabývaly rody dubů ve střední a jižní Evropě (Friedrichs a kol., 2009; Harvey a kol., 2020; Bose a kol., 2021). Existují však studie, které tvrdí, že vyšší teploty mají vliv na prodloužení vegetační sezóny (Sabate a kol., 2002; Linderholm, 2006), což by mohlo mít vliv na větší tloušťkový přírůst, neboť délka vegetační sezóny a tloušťkový přírůst spolu korelují ve velmi vysoké závislosti. Kdyby tyto studie platily ve všech oblastech, znamenalo by oteplení klimatu větší sekvestraci uhlíku způsobenou déle trvajícím vegetačním obdobím, a tím i větším přírůstem stromů. Studie v Alto Tajo však dospěla k odlišným výsledkům. Stejně jako jiné studie (Christensen a kol., 2007), nepotvrzuje prodloužení vegetační sezóny v důsledku vyšších teplot, ale naopak ve svém výzkumu zanalyzovaly její zkrácení.

Ačkoliv z výsledků měření v Alto Tajo bylo zhodnoceno zkrácení vegetační sezóny v horkých letech, není zcela jasné, zda zkrácenou vegetační sezónu nezapříčinilo opět snížené množství srážek. Právě množství srážek bylo totiž současně nižší s vysokými teplotami.

6.2 Vegetační období

Dřívější počátek vegetační sezóny zapříčiněný rostoucími teplotami v důsledku globálního oteplování potvrdila řada studií (García-Mozo a kol., 2002; Linderholm, 2006). Řada z nich dospěla také k závěru, že jejich dřívější počátek bude mít za následek prodloužení vegetačního období (Linderholm, 2006). Jak již bylo zmíněno, studie z Alto Tajo k podobným výsledkům, stejně jako další studie (Giannakopoulos a kol., 2009), nedospěla. Vyšší teploty jsou totiž často doprovázeny suchem a zvyšují tak stres působící suchem a horkem na strom (Teskey a kol., 2015). Lze se tedy domnívat, že kratší vegetační sezóna nemusela být zapříčiněna vyššími teplotami, ale suchem s nimi spojeným (Olivar a kol., 2022). O tom, že, povětrnostní podmínky zapříčiňují nejen pozdější začátek vegetační sezóny, ale také délku jejího trvání se lze přesvědčit i v dalších studiích (Olivar a kol., 2022). Dle studie (Cherubini a kol., 2003) se v oblasti Středozevního moře očekává, že růst dřevin bude nejvíce omezován právě dostupností vody.

Také výsledky měření z Alto Tajo poukázaly na sucho, jako na nejvlivnější faktor ovlivňující počátek vegetační sezóny. Klíčovým atributem pro zahájení vegetační sezóny

v daném roce bylo množství srážek v období jara. Nejsilnější závislost korelace ($r = 0,906$; $P < 0,05$) (Tab. 2) mezi množstvím srážek a začátkem vegetačního období se projevila v květnu. Množství vody je na rozdíl od teploty pravděpodobně důležitějším atributem ovlivňujícím v oblasti Středozemního moře počátek vegetačního období, neboť právě v jarních měsících je pro dřevinu nezbytně nutné načerpat dostatek živin z půdy pro následný růst a tím zahájení vegetační sezóny.

Faktorů způsobujících kratší vegetační sezónu může být ale více. Podle studie (Zani a kol., 2020) je omezujícím faktorem délky vegetačního období kapacita uhlíku, kterou je rostlina schopna maximálně přijmout. Dřívější počátek vegetační sezóny pak vede k dřívějšímu vyčerpání této kapacity uhlíku, kterou dřevina disponuje. Po vyčerpání kapacity pak může docházet k dřívějšímu ukončení vegetační sezóny (Zani a kol., 2020).

6.3 Smrštění TWD

Smrštění kmene lze rozdělit na denní (MDS), které se mění v průběhu dne v důsledku transpirace a asimilace, nebo jako roční (TWD), které udává absolutní diferenciaci smrštění kmene oproti jeho původní velikosti. Hodnota TWD slouží tedy jako indikátor stresu způsobeným suchem (Güney a kol., 2020).

Ačkoliv není známa žádná studie zabývající se smrštěním kmene u dubu cesmínového, lze výsledky porovnat s výzkumem, který se alespoň zabýval stálezelenými jehličnany také v oblasti Středozemního moře (Güney a kol., 2020). Zmíněná studie taktéž potvrdila odolnost stálezelených dřevin vůči suchu. Tuto odolnost potvrdil následně i studovaný dub cesmínový. Aby dřevina přežila, musí docházet k fyziologickým procesům (např. transpirace) i při extrémních podmínkách, což indikují právě hodnoty MDS tím, že jsou v čase proměnlivé. Ačkoliv výsledky z oblasti Alto Tajo u dubu cesmínového potvrdily odolnost vůči suchu, lze si také všimnout, že fyziologické procesy byly pomalé. Rychlost růstu nebyla vysoká, a proto se dub cesmínový zdá být druhem s konzervativnější růstovou strategií (Moran a kol., 2017).

Ačkoliv se očekávala větší závislosti mezi množstvím srážek nebo teplotou vzduchu a smrštěním kmene, ve výsledcích této práce se očekávání nepotvrdila. Korelace nebyla prokázána s žádným z faktorů, které byly v této práci uvažovány a mohly by ovlivnit smrštění kmene. Nebyla však posuzována data týkající se vlhkosti vzduchu či půdy, a právě tyto faktory mohou být ovlivňujícími atributy, které mají vliv na hodnoty smrštění. Navíc studie (Zweifel a kol., 2007) zjistila, že druhy, které jsou významně namáhané suchem, minimalizují svou dynamiku smrštění a bobtnání, což by mohlo vést ke zkreslení výsledků již na suchu

adaptovaných druhů. Dalším faktorem, který v této práci nebyl vzat v potaz, je vliv možné degradace kůry (Gričar a kol., 2015), která je největší v období mrazů (Zweifel a kol., 2000). Je proto reálné, že smršťování kmene bylo nejvíce ovlivňováno faktorem, který v této práci nebyl vyhodnocen.

7 Závěr

Dub cesmínový (*Quercus ilex L.*) je významným stálezeleným druhem dřeviny vyskytující se v jižní Evropě. Ačkoliv je tento druh jednou z ekologicky i ekonomicky nejdůležitějších dřevin tamních oblastí, tak doposud neexistuje mnoho studií zabývajících se jeho růstovou dynamikou. Tato bakalářská práce si proto kladla za cíl popsat růstové reakce dubu cesmínového na stále častější suchá a horká období v Národním parku Alto Tajo.

Na síti trvalých ploch ve středním Španělsku v Národním parku Alto Tajo bylo v roce 2017 nainstalováno několik velmi přesných bodových dendrometrů, které po dobu pěti let zaznamenávaly hodnoty změn tloušťek kmenů. Data z nich byla stažena v březnu 2023. Získaná data se zpracovávala v programu R, ve kterém bylo využito balíčku PLOTteR. Data se následně porovnávala také se stáhnutými meteorologickými daty z databáze E-OBS, ze které se využila data týkající se průměrných ročních teplot a množství úhrnu srážek na zkoumaných plochách. Pro vyhodnocení závislosti mezi měřenými daty ročního přírůstu, začátku, konce a délky vegetačního období a smrštění TWD s meteorologickými daty bylo využito programu Statistika a MS Excel.

Z výsledků měření bylo zjištěno, že množství úhrnu srážek výrazně ovlivňovalo dynamiku a fenologii růstu dubu cesmínového. Při malém množství úhrnu srážek v období jara docházelo ke zpoždění počátku vegetační sezóny. Naopak v letech s vyšším úhrnem srážek začínala vegetační sezóna dříve. V letech s vyšším úhrnem srážek dřevina trpěla méně či dokonce vůbec na stres zapříčiněný nedostatkem vody, a proto vegetační sezóna trvala déle. Vyšší počet vegetačních dní pak vedl k celkově většímu tloušťkovému přírůstu kmene.

Výsledky této bakalářské práce prokázaly proměnlivou dynamiku růstu dubu cesmínového, u kterého byly zjištěny významné reakce na množství úhrnu srážek. Bylo také zjištěno, že vliv teploty nebyl pro zkoumaný druh limitujícím faktorem.

Ačkoliv se v minulosti dub cesmínový považoval za druh, který je velmi odolným vůči suchu, v současnosti přibývá stále více studií, které jeho odolnost zpochybňují. Studie naopak naznačují, stejně jako měření v Alto Tajo, značnou citlivost zkoumaného druhu na suchá období. Aby bylo možné lépe pochopit růstové reakce v dlouhodobém časovém horizontu v letech s extrémními teplotami v kombinaci s extrémním suchem, která jsou do budoucna pro jižní Evropu predikována v důsledku globální změny klimatu, je zapotřebí věnovat více pozornosti dlouhodobému monitoringu.

8 Zdroje

ABBASNIA, Mohsen a TOROS, Hüseyin. Analysis of long-term changes in extreme climatic indices: a case study of the Mediterranean climate, Marmara Region, Turkey. Online. In: *VILIBIĆ*, Ivica; HORVATH, Kristian a PALAU, José Luis (ed.). *Meteorology and Climatology of the Mediterranean and Black Seas*. Pageoph Topical Volumes. Cham: Springer International Publishing, 2019, s. 141-153. ISBN 978-3-030-11957-7. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-030-11958-4_9. [cit. 2024-03-11].

ANONYMOUS, Quercus ilex. Online. *Oaks of the World*. 2006. Dostupné z: http://oaks.of.the.world.free.fr/quercus_ilex.htm. [cit. 2024-03-15].

BALDUCCI, L.; DESLAURIERS, A.; GIOVANNELLI, A.; ROSSI, S. a RATHGEBER, C. B. K. Effects of temperature and water deficit on cambial activity and woody ring features in *Picea mariana* saplings. Online. *Tree Physiology*. 2013, roč. 33, č. 10, s. 1006-1017. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt073>. [cit. 2024-03-10].

BARBETA, Adrià; OGAYA, Romà a PEÑUELAS, Josep. Dampening effects of long-term experimental drought on growth and mortality rates of a Holm oak forest. Online. *Global Change Biology*. 2013, roč. 19, č. 10, s. 3133-3144. ISSN 1354-1013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcb.12269>. [cit. 2024-03-11].

BOSE, Arun K.; SCHERRER, Daniel; CAMARERO, J. Julio; ZICHE, Daniel; BABST, Flurin et al. Climate sensitivity and drought seasonality determine post-drought growth recovery of *Quercus petraea* and *Quercus robur* in Europe. Online. *Science of The Total Environment*. 2021, roč. 784. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147222>. [cit. 2024-03-10].

BOWMAN, David M.J.S.; BRIENEN, Roel J.W.; GLOOR, Emanuel; PHILLIPS, Oliver L. a PRIOR, Lynda D. Detecting trends in tree growth: not so simple. Online. *Trends in Plant Science*. 2013, roč. 18, č. 1, s. 11-17. ISSN 13601385. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2012.08.005>. [cit. 2024-03-10].

Calculation and interpretation of changes in stem water storage of a 100-year-old spruce tree. Online. *Allgemeine Forst- und Jagdzeitung*. 1996, roč. 1996, č. 8, s. 162–167. Dostupné z: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19960611053>. [cit. 2024-03-15].

CARMINATI, Andrea a JAVAUX, Mathieu. Soil Rather Than Xylem Vulnerability Controls Stomatal Response to Drought. Online. *Trends in Plant Science*. 2020, roč. 25, č. 9, s. 868-880. ISSN 13601385. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2020.04.003>. [cit. 2024-03-10].

CARNICER, Jofre; ALEGRIA, Andrés; GIANNAKOPOULOS, Christos; DI GIUSEPPE, Francesca; KARALI, Anna et al. Global warming is shifting the relationships between fire weather and realized fire-induced CO₂ emissions in Europe. Online. *Scientific Reports*. 2022, roč. 12, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-14480-8>. [cit. 2024-03-10].

CODER, Kim D. a Daniel B. WARNEL. *Drought Damage To Trees*. University of Georgia [online]. 1999, 5 [cit. 2024-03-15]. Dostupné z: https://www.kansasforests.org/forest_health/health_docs/DroughtDamageToTrees.pdf

DA SILVA, Elizamar Ciriaco; DE ALBUQUERQUE, Manoel Bandeira; AZEVEDO NETO, Andre Dias de a SILVA JUNIOR, Carlos Dias da. Drought and Its Consequences to Plants – From Individual to Ecosystem. Online. In: *AKINCI*, Sener (ed.). Responses of Organisms to Water Stress. InTech, 2013. ISBN 978-953-51-0933-4. Dostupné z: <https://doi.org/10.5772/53833>. [cit. 2024-03-10].

DOBBERTIN, Matthias; NEUMANN, Markus a SCHROECK, Hans-Werner. *Tree Growth Measurements in Long-Term Forest Monitoring in Europe*. Online. In: Forest Monitoring - Methods for terrestrial investigations in Europe with an overview of North America and Asia. Developments in Environmental Science. Elsevier, 2013, s. 183-204. ISBN 9780080982229. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098222-9.00010-8>. [cit. 2024-03-10].

DRÁPELA, Karel a ZACH, Jan. *Dendrometrie: (dendrochronologie)*. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 1995. ISBN 80-7157-178-4.

DREW, David M. a DOWNES, Geoffrey M. The use of precision dendrometers in research on daily stem size and wood property variation: a review. Online. *Dendrochronologia*. 2009, roč. 27, č. 2, s. 159-172. ISSN 11257865. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2009.06.008>. [cit. 2024-03-10].

FAROOQ, M.; HUSSAIN, M.; WAHID, Abdul a SIDDIQUE, K. H. M. Drought Stress in Plants: An Overview. Online. In: *AROCA*, Ricardo (ed.). Plant Responses to Drought Stress. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, s. 1-33. ISBN 978-3-642-32652-3. Dostupné z: https://doi.org/10.1007/978-3-642-32653-0_1. [cit. 2024-03-10].

FAROOQ, M.; WAHID, A.; KOBAYASHI, N.; FUJITA, D. a BASRA, S. M. A. Plant drought stress: effects, mechanisms and management. Online. *Agronomy for Sustainable Development*. 2009, roč. 29, č. 1, s. 185-212. ISSN 1774-0746. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/agro:2008021>. [cit. 2024-03-10].

FLEXAS, J.; DIAZ-ESPEJO, A.; GAGO, J.; GALLÉ, A.; GALMÉS, J. et al. Photosynthetic limitations in Mediterranean plants: a review. Online. *Environmental and Experimental Botany*. 2014, roč. 103, s. 12-23. ISSN 00988472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2013.09.002>. [cit. 2024-03-11].

Forest Ecosystems. Online. *Elsevier*, 2007. ISBN 9780123706058. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370605-8.X5001-4>. [cit. 2024-03-10]

FORNER, Alicia; MORÁN-LÓPEZ, Teresa; FLORES-RENTERÍA, Dulce; ARANDA, Ismael a VALLADARES, Fernando. Fragmentation reduces severe drought impacts on tree functioning in holm oak forests. Online. *Environmental and Experimental Botany*. 2020, roč. 173. ISSN 00988472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104001>. [cit. 2024-03-11].

FORNER, Alicia; VALLADARES, Fernando a ARANDA, Ismael. Mediterranean trees coping with severe drought: Avoidance might not be safe. Online. *Environmental and Experimental Botany*. 2018, roč. 155, s. 529-540. ISSN 00988472. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2018.08.006>. [cit. 2024-03-11].

FRIEDRICH, D. A.; BUNTGEN, U.; FRANK, D. C.; ESPER, J.; NEUWIRTH, B. et al. Complex climate controls on 20th century oak growth in Central-West Germany. Online. *Tree Physiology*. 2008, roč. 29, č. 1, s. 39-51. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpn003>. [cit. 2024-03-11].

FRITTS, Harold C. Growth-Rings of Trees: Their Correlation with Climate. Online. *Science*. 1966, roč. 154, č. 3752, s. 973-979. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.154.3752.973>. [cit. 2024-03-10].

FRÜCHTENICHT, Elena; BOCK, Johanna; FEUCHT, Viktoria a BRÜGGEMANN, Wolfgang. Reactions of three European oak species (*Q. robur*, *Q. petraea* and *Q. ilex*) to repetitive summer drought in sandy soil. Online. *Trees, Forests and People*. 2021, roč. 5. ISSN 26667193. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2021.100093>. [cit. 2024-03-11].

FunDivEUROPE. Online. 2010. Dostupné z: <http://project.fundiveurope.eu/>. [cit. 2024-03-15].

GARCÍA-MOZO, H.; GALÁN, C.; AIRA, M.J.; BELMONTE, J.; DÍAZ DE LA GUARDIA, C. et al. Modelling start of oak pollen season in different climatic zones in Spain. Online. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2002, roč. 110, č. 4, s. 247-257. ISSN 01681923. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(02\)00003-5](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(02)00003-5). [cit. 2024-03-11].

GATES, D. CLIMATE CHANGE AND FORESTS. TREE PHYSIOLOGY [online]. OXFORD UNIV PRESS, 1990, 1990, 1-5 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www-webofscience-com.infozdroje.czu.cz/wos/woscc/full-record/WOS:A1990EU75300002>

GIANNAKOPOULOS, C.; LE SAGER, P.; BINDI, M.; MORIONDO, M.; KOSTOPOULOU, E. et al. Climatic changes and associated impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global warming. Online. *Global and Planetary Change*. 2009, roč. 68, č. 3, s. 209-224. ISSN 09218181. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2009.06.001>. [cit. 2024-03-11].

GRİČAR, Jožica; JAGODIC, Špela a PRISLAN, Peter. Structure and subsequent seasonal changes in the bark of sessile oak (*Quercus petraea*). Online. *Trees*. 2015, roč. 29, č. 3, s. 747-757. ISSN 0931-1890. Dostupné z: <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1153-z>. [cit. 2024-03-11].

HARVEY, Jill E.; SMILJANIĆ, Marko; SCHARNWEBER, Tobias; BURAS, Allan; CEDRO, Anna et al. Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. Online. *Global Change Biology*. 2020, roč. 26, č. 4, s. 2505-2518. ISSN 1354-1013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/gcb.14966>. [cit. 2024-03-11].

HATFIELD, Jerry L. a PRUEGER, John H. Temperature extremes: Effect on plant growth and development. Online. *Weather and Climate Extremes*. 2015, roč. 10, s. 4-10. ISSN 22120947. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.wace.2015.08.001>. [cit. 2024-03-10].

HINCKLEY, Thomas M. a BRUCKERHOFF, David N. The effects of drought on water relations and stem shrinkage of *Quercus alba*. Online. *Canadian Journal of Botany*. 1975, roč. 53, č. 1, s. 62-72. ISSN 0008-4026. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/b75-009>. [cit. 2024-03-10].

HOPKINS, William G. a HÜNER, Norman P. A. *Introduction to Plant Physiology, 4th Edition. 4th Edition*. John Wiley, 2008. ISBN 978-0-470-24766-2. Začátek formuláře

HORÁČEK, P., J. ŠLEZINGEROVÁ a L. GANDELOVÁ. Analysis of cambial activity and formation of wood in *Quercus robur* L. under conditions of a floodplain forest. *JOURNAL OF*

FOREST SCIENCE [online]. 2003, 2003(49), 412–418 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://jfs.agriculturejournals.cz/pdfs/jfs/2003/09/03.pdf>

CHERUBINI, PAOLO; GARTNER, BARBARA L.; TOGNETTI, ROBERTO; BRÄKER, OTTO U.; SCHOCH, WERNER et al. Identification, measurement and interpretation of tree rings in woody species from mediterranean climates. Online. *Biological Reviews*. 2003, roč. 78, č. 1, s. 119-148. ISSN 1464-7931. Dostupné z: <https://doi.org/10.1017/S1464793102006000>. [cit. 2024-03-11].

CHOAT, Brendan; JANSEN, Steven; BRODRIBB, Tim J.; COCHARD, Hervé; DELZON, Sylvain et al. Global convergence in the vulnerability of forests to drought. Online. *Nature*. 2012, roč. 491, č. 7426, s. 752-755. ISSN 0028-0836. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/nature11688>. [cit. 2024-03-11].

Christensen, Jens Hesselbjerg, and Ole Bøssing Christensen. "A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century." *Climatic change* 81.Suppl 1 (2007): 7-30. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-006-9210-7>

JELÍNEK, Jan a ZICHÁČEK, Vladimír. *Biologie pro gymnázia: (teoretická a praktická část)*. 11. vyd. Olomouc: Nakladatelství Olomouc, 2014. ISBN 978-80-7182-338-4.

KIRSCHBAUM, M. U. F. Forest growth and species distribution in a changing climate. Online. *Tree Physiology*. 2000, roč. 20, č. 5-6, s. 309-322. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/20.5-6.309>. [cit. 2024-03-10].

KREUZWIESER, J. a GESSLER, A. Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. Online. *Tree Physiology*. 2010, roč. 30, č. 9, s. 1221-1234. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq055>. [cit. 2024-03-10].

KREUZWIESER, J. a GESSLER, A. Global climate change and tree nutrition: influence of water availability. Online. *Tree Physiology*. 2010, roč. 30, č. 9, s. 1221-1234. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq055>. [cit. 2024-03-10]

KUŽELKA, Karel; MARUŠÁK, Róbert a URBÁNEK, Vilém. *Dendrometrie. Vydání druhé. v Praze: Česká zemědělská univerzita v Praze*, 2016. ISBN 978-80-213-2673-6.

LARCHER, Walter. *Fyziologická ekologie rostlin*. Praha: Academia, 1988.

LEBOURGEOIS, François; COUSSEAU, Guillaume a DUCOS, Yves. Climate-tree-growth relationships of *Quercus petraea* Mill. stand in the Forest of Bercé ("Futaie des Clos", Sarthe,

France). Online. *Annals of Forest Science*. 2004, roč. 61, č. 4, s. 361-372. ISSN 1286-4560. Dostupné z: <https://doi.org/10.1051/forest:2004029>. [cit. 2024-03-11].

LIMOUSIN, J. M.; RAMBAL, S.; OURCIVAL, J. M.; ROCHETEAU, A.; JOFFRE, R. et al. Long-term transpiration change with rainfall decline in a Mediterranean *Quercus ilex* forest. Online. *Global Change Biology*. 2009, roč. 15, č. 9, s. 2163-2175. ISSN 1354-1013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2009.01852.x>. [cit. 2024-03-11].

LINDERHOLM, Hans W. Growing season changes in the last century. Online. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2006, roč. 137, č. 1-2, s. 1-14. ISSN 01681923. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2006.03.006>. [cit. 2024-03-11].

LIONELLO, P.; MALANOTTE-RIZZOLI, P.; BOSCOLO, R.; ALPERT, P.; ARTALE, V. et al. The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. Online. In: *Mediterranean. Developments in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, 2006, s. 1-26. ISBN 9780444521705. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80003-0). [cit. 2024-03-10].

LIONELLO, P.; MALANOTTE-RIZZOLI, P.; BOSCOLO, R.; ALPERT, P.; ARTALE, V. et al. The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues. Online. In: *Mediterranean. Developments in Earth and Environmental Sciences*. Elsevier, 2006, s. 1-26. ISBN 9780444521705. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S1571-9197\(06\)80003-0](https://doi.org/10.1016/S1571-9197(06)80003-0). [cit. 2024-03-11].

MONTAGNOLI, Antonio; DUMROESE, R. Kasten; TERZAGHI, Mattia; ONELLI, Elisabetta; SCIPPA, Gabriella Stefania et al. Seasonality of fine root dynamics and activity of root and shoot vascular cambium in a *Quercus ilex* L. forest (Italy). Online. *Forest Ecology and Management*. 2019, roč. 431, s. 26-34. ISSN 03781127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.06.044>. [cit. 2024-03-11].

MORAN, Emily; LAUDER, Jeffrey; MUSSER, Cameron; STATHOS, Angela a SHU, Mengjun. The genetics of drought tolerance in conifers. Online. *New Phytologist*. 2017, roč. 216, č. 4, s. 1034-1048. ISSN 0028-646X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.14774>. [cit. 2024-03-11].

MORENO, Gerardo a CUBERA, Elena. Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. Online. *Forest Ecology and Management*. 2008, roč. 254, č. 1, s. 74-

84. ISSN 03781127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.029>. [cit. 2024-03-11].

MORIN, Xavier; FAHSE, Lorenz; JACTEL, Hervé; SCHERER-LORENZEN, Michael; GARCÍA-VALDÉS, Raúl et al. Long-term response of forest productivity to climate change is mostly driven by change in tree species composition. Online. *Scientific Reports*. 2018, roč. 8, č. 1. ISSN 2045-2322. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23763-y>. [cit. 2024-03-10].

OLIVAR, Jorge; RAIS, Andreas; PRETZSCH, Hans a BRAVO, Felipe. The Impact of Climate and Adaptive Forest Management on the Intra-Annual Growth of *Pinus halepensis* Based on Long-Term Dendrometer Recordings. Online. *Forests*. 2022, roč. 13, č. 6. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f13060935>. [cit. 2024-03-11].

PAVLOVÁ, Libuše. *Fyziologie rostlin*. Praha: Karolinum, 2005. ISBN 80-246-0985-1.

PEGUERO-PINA, José Javier. Leaf morphological and physiological adaptations of a deciduous oak (*Quercus faginea* Lam.) to the Mediterranean climate: a comparison with a closely related temperate species (*Quercus robur* L.). Online. *Tree Physiology*. 23 October 2015n. 1., roč. 2016, č. 36, s. 287–299. Dostupné z: <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/treephys/tpv107>. [cit. 2024-03-11].

POLENO, Zdeněk; VACEK, Stanislav a PODRÁZSKÝ, Vilém. *Pěstování lesů. Kostelec nad Černými lesy: Lesnická práce*, 2007. ISBN 978-80-87154-07-6.

QUERCUS ILEX L. – dub cesmínovitý / dub. Online. MRÁZEK, Tomáš. Botany.cz. 2009. Dostupné z: <https://botany.cz/cs/quercus-ilex/>. [cit. 2024-01-15].

R CORE TEAM, *R 4.3.1* [software]. June 2023 [cit. 2024-01-4]. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Dostupné z: <http://www.R-project.org/>.

RAMBAL, Serge; OURCIVAL, Jean-Marc; JOFFRE, Richard; MOUILLOT, Florent; NOUVELLON, Yann et al. Drought controls over conductance and assimilation of a Mediterranean evergreen ecosystem: scaling from leaf to canopy. Online. *Global Change Biology*. 2003, roč. 9, č. 12, s. 1813-1824. ISSN 1354-1013. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2003.00687.x>. [cit. 2024-03-11].

REECE, Richard a SHARKEY, Thomas D. Emerging research in plant photosynthesis. Online. *Emerging Topics in Life Sciences*. 2020, roč. 4, č. 2, s. 137-150. ISSN 2397-8554. Dostupné z: <https://doi.org/10.1042/ETLS20200035>. [cit. 2024-03-11].

REY, María-Dolores; LABELLA-ORTEGA, Mónica; GUERRERO-SÁNCHEZ, Víctor M.; CARLEIAL, Rômulo; CASTILLEJO, María Ángeles et al. a first draft genome of holm oak (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), the most representative species of the Mediterranean forest and the Spanish agrosilvopastoral ecosystem “dehesa.” Online. *Frontiers in Molecular Biosciences*. 2023, roč. 10. ISSN 2296-889X. Dostupné z: <https://doi.org/10.3389/fmolb.2023.1242943>. [cit. 2024-03-11].

ROBERTS, Jeremy A. (ed.). Annual Plant Reviews online. Online. *Wiley*, 2018. ISBN 9781119312994. Dostupné z: <https://doi.org/10.1002/9781119312994>. [cit. 2024-03-10].

SABATÉ, Santiago; GRACIA, Carlos A. a SÁNCHEZ, Anabel. Likely effects of climate change on growth of *Quercus ilex*, *Pinus halepensis*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* forests in the Mediterranean region. Online. *Forest Ecology and Management*. 2002, roč. 162, č. 1, s. 23-37. ISSN 03781127. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00048-8](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00048-8). [cit. 2024-03-11].

SALOMÓN, Roberto L.; PETERS, Richard L.; ZWEIFEL, Roman; SASS-KLAASSEN, Ute G. W.; STEGEHUIS, Annemiek I. et al. The 2018 European heatwave led to stem dehydration but not to consistent growth reductions in forests. Online. *Nature Communications*. 2022, roč. 13, č. 1. ISSN 2041-1723. Dostupné z: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27579-9>. [cit. 2024-03-10].

SAXE, HENRIK; ELLSWORTH, DAVID S. a HEATH, JAMES. Tree and forest functioning in an enriched CO₂ atmosphere. Online. *New Phytologist*. 1998, roč. 139, č. 3, s. 395-436. ISSN 0028-646X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1469-8137.1998.00221.x>. [cit. 2024-03-10].

SINGH, Tripti; ARPANAEI, Ayyoob; ELUSTONDO, Diego; WANG, Yue; STOCCHERO, Andrea et al. Emerging technologies for the development of wood products towards extended carbon storage and CO₂ capture. Online. *Carbon Capture Science & Technology*. 2022, roč. 4. ISSN 27726568. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.ccst.2022.100057>. [cit. 2024-03-10].

SOEDER, Daniel J. Greenhouse gas sources and mitigation strategies from a geosciences perspective. Online. *Advances in Geo-Energy Research*. 2021, roč. 5, č. 3, s. 274-285. ISSN 22079963. Dostupné z: <https://doi.org/10.46690/ager.2021.03.04>. [cit. 2024-03-10].

SPICER, Rachel a GROOVER, Andrew. Evolution of development of vascular cambia and secondary growth. Online. *New Phytologist*. 2010, roč. 186, č. 3, s. 577-592. ISSN 0028-646X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03236.x>. [cit. 2024-03-10].

ŠPINLEROVÁ, Zuzana. *Ekofyziologie dřevin*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2014. ISBN 978-80-7509-158-1.

TESKEY, ROBERT; WERTIN, TIMOTHY; BAUWERAERTS, INGVAR; AMEYE, MAARTEN; MCGUIRE, MARY ANNE et al. Responses of tree species to heat waves and extreme heat events. Online. *Plant, Cell & Environment*. 2015, roč. 38, č. 9, s. 1699-1712. ISSN 0140-7791. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/pce.12417>. [cit. 2024-03-11].

THOMAS, F. M.; BLANK, R. a HARTMANN, G. Abiotic and biotic factors and their interactions as causes of oak decline in Central Europe. Online. *Forest Pathology*. 2002, roč. 32, č. 4-5, s. 277-307. ISSN 1437-4781. Dostupné z: <https://doi.org/10.1046/j.1439-0329.2002.00291.x>. [cit. 2024-03-10].

THOMAS, Sean C. a MARTIN, Adam R. Carbon Content of Tree Tissues: a Synthesis. Online. *Forests*. 2012, roč. 3, č. 2, s. 332-352. ISSN 1999-4907. Dostupné z: <https://doi.org/10.3390/f3020332>. [cit. 2024-03-10].

TOÏGO, Maude; VALLET, Patrick; TUILLERAS, Valène; LEBOURGEOIS, François; ROZENBERG, Philippe et al. Species mixture increases the effect of drought on tree ring density, but not on ring width, in *Quercus petraea*–*Pinus sylvestris* stands. Online. *Forest Ecology and Management*. 2015, roč. 345, s. 73-82. ISSN 03781127. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.019>. [cit. 2024-03-11].

VACEK, Zdeněk; VACEK, Stanislav a CUKOR, Jan. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies. Online. *Journal of Environmental Management*. 2023, roč. 332. ISSN 03014797. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117353>. [cit. 2024-03-10].

VANNINI, Andrea a MORALES-RODRIGUEZ, Carmen. Phytophthora diseases. Online. In: *Forest Microbiology*. Elsevier, 2022, s. 379-402. ISBN 9780323850421. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85042-1.00016-1>. [cit. 2024-03-11].

WANG, Yao; CHEN, Xi a XIANG, Cheng-Bin. Stomatal Density and Bio-water Saving. Online. *Journal of Integrative Plant Biology*. 2007, roč. 49, č. 10, s. 1435-1444. ISSN 1672-9072. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/j.1672-9072.2007.00554.x>. [cit. 2024-03-10].

WARING, Richard H. a SCHLESINGER, William H. *Forest Ecosystems: Concepts and Management. Ilustrované vydání*. Academic Press, 1985. ISBN 9780125734417.

WOHLLEBEN, Peter. *Tajný život stromů: co cítí a jak komunikují: objevování fascinujícího světa*. Přeložil Magdalena HAVLOVÁ. Ráječko: Kazda, 2016. ISBN 978-80-905788-6-9.

Wood Quality and its Biological Basis. Biological Sciences Series. John Wiley and Sons, 2003. ISBN 978-1-841-27319-8.

YAALON, Dan H. Soils in the Mediterranean region: what makes them different? Online. *CATENA*. 1997, roč. 28, č. 3-4, s. 157-169. ISSN 03418162. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(96\)00035-5](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(96)00035-5). [cit. 2024-03-10].

ZANI, Deborah; CROWTHER, Thomas W.; MO, Lidong; RENNER, Susanne S. a ZOHNER, Constantin M. Increased growing-season productivity drives earlier autumn leaf senescence in temperate trees. Online. *Science*. 2020, roč. 370, č. 6520, s. 1066-1071. ISSN 0036-8075. Dostupné z: <https://doi.org/10.1126/science.abd8911>. [cit. 2024-03-11].

ZELENÝ, Václav. *Rostliny Středozeří. Campanula*. Praha: Academia, 2005. ISBN 80-200-1224-9.

ZHANG, Shu-Yin; OWOUNDI, Ruben Eyono; NEPVEU, Gérard; MOTHE, Frédéric a DHÔTE, Jean-François. Modelling wood density in European oak (*Quercus petraea* and *Quercus robur*) and simulating the silvicultural influence. Online. *Canadian Journal of Forest Research*. 1993, roč. 23, č. 12, s. 2587-2593. ISSN 0045-5067. Dostupné z: <https://doi.org/10.1139/x93-320>. [cit. 2024-03-11].

ZOBEL, Bruce J. a BUIJTENEN, Johannes P. van. Wood variation: its causes and control. *Springer series in wood science*. Berlin: Springer-Verlag, 1989.

ZWEIFEL, R. a HASLER, R. Dynamics of water storage in mature subalpine *Picea abies*: temporal and spatial patterns of change in stem radius. Online. *Tree Physiology*. 2001, roč. 21, č. 9, s. 561-569. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/21.9.561>. [cit. 2024-03-10].

ZWEIFEL, R. a HÄSLER, R. Frost-induced reversible shrinkage of bark of mature subalpine conifers. Online. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2000, roč. 102, č. 4, s. 213-222. ISSN 01681923. Dostupné z: [https://doi.org/10.1016/S0168-1923\(00\)00135-0](https://doi.org/10.1016/S0168-1923(00)00135-0). [cit. 2024-03-11].

ZWEIFEL, R.; ZIMMERMANN, L. a NEWBERY, D. M. Modeling tree water deficit from microclimate: an approach to quantifying drought stress. Online. *Tree Physiology*. 2005, roč. 25, č. 2, s. 147-156. ISSN 0829-318X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/treephys/25.2.147>. [cit. 2024-03-10].

ZWEIFEL, Roman; DREW, David M.; SCHWEINGRUBER, Fritz a DOWNES, Geoffrey M. Xylem as the main origin of stem radius changes in Eucalyptus. Online. *Functional Plant Biology*. 2014, roč. 41, č. 5. ISSN 1445-4408. Dostupné z: <https://doi.org/10.1071/FP13240>. [cit. 2024-03-10].

ZWEIFEL, Roman; HAENI, Matthias; BUCHMANN, Nina a EUGSTER, Werner. Are trees able to grow in periods of stem shrinkage? Online. *New Phytologist*. 2016, roč. 211, č. 3, s. 839-849. ISSN 0028-646X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.13995>. [cit. 2024-03-10].

ZWEIFEL, Roman; STEPPE, Kathy a STERCK, Frank J. Stomatal regulation by microclimate and tree water relations: interpreting ecophysiological field data with a hydraulic plant model. Online. *Journal of Experimental Botany*. 2007, roč. 58, č. 8, s. 2113-2131. ISSN 1460-2431. Dostupné z: <https://doi.org/10.1093/jxb/erm050>. [cit. 2024-03-10].

ZWEIFEL, Roman; STERCK, Frank; BRAUN, Sabine; BUCHMANN, Nina; EUGSTER, Werner et al. Why trees grow at night. Online. *New Phytologist*. 2021, roč. 231, č. 6, s. 2174-2185. ISSN 0028-646X. Dostupné z: <https://doi.org/10.1111/nph.17552>. [cit. 2024-03-10].

9 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| OBRÁZEK 1 VODNÍ TOK V KMENI V PRŮBĚHU DNE U 36 LET STARÉ BOROVICE LESNÍ VE SKOTSKU (UPRAVENO Z WARING, SCHLESINGER, 1987)..... | 20 |
| OBRÁZEK 2 ROZŠÍŘENÍ DUBU CISMÍNOVÉHO (QUERCUS ILEX L.) (ZDROJ HTTPS://FOREST.JRC.EC.EUROPA.EU/MEDIA/ATLAS/QUERCUS_ILEX.PDF) | 25 |
| OBRÁZEK 3 PRŮMĚRNÉ ROZLOŽENÍ ÚHRN SRÁŽEK V OBDOBÍ 2017-2022 V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH; DATABÁZE E-OBS; VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ..... | 27 |
| OBRÁZEK 4 PRŮMĚRNÉ MĚSÍČNÍ TEPLoty V OBDOBÍ LET 2018-2022; DATABÁZE E-OBS; VLASTNÍ ZPRACOVÁNÍ..... | 27 |
| OBRÁZEK 5 LOKALIZACE OBLASTI SBĚRU DAT (ZDROJ DAT: GOOGLE MAPS, 13.1.2024) | 28 |
| OBRÁZEK 6 POHLED DO POROSTU S DUBEM CISMÍNOVÝM | 28 |
| OBRÁZEK 7 UKÁZKA NAINSTALOVANÉHO BODOVÉHO DENDROMETRU..... | 29 |
| OBRÁZEK 8 STAHOVÁNÍ DAT POMOCÍ TMD ADAPTÉRU | 30 |
| OBRÁZEK 9 UKÁZKA ÚPRAVY DAT PŘED A PO VYČIŠTĚNÍ | 31 |
| OBRÁZEK 10 ROČNÍ RADIÁLNÍ PŘÍRŮST DUBU CISMÍNOVÉHO. TEČKY OZNAČUJÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY, ROVNOBĚŽNÉ ČÁRY ZNAČÍ 95% INTERVAL SPOLEHLIVOSTI..... | 34 |
| OBRÁZEK 11 DÉLKA VEGETAČNÍ SEZÓNY DUBU CISMÍNOVÉHO. TEČKY OZNAČUJÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY, ROVNOBĚŽNÉ ČÁRY ZNAČÍ 95% INTERVAL SPOLEHLIVOSTI..... | 36 |
| OBRÁZEK 12 ZAČÁTEK VEGETAČNÍ SEZÓNY DUBU CISMÍNOVÉHO. TEČKY OZNAČUJÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY, ROVNOBĚŽNÉ ČÁRY ZNAČÍ 95% INTERVAL SPOLEHLIVOSTI | 37 |
| OBRÁZEK 13 KONEC VEGETAČNÍ SEZÓNY DUBU CISMÍNOVÉHO. TEČKY OZNAČUJÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY, ROVNOBĚŽNÉ ČÁRY ZNAČÍ 95% INTERVAL SPOLEHLIVOSTI..... | 39 |
| OBRÁZEK 14 TWD DUBU CISMÍNOVÉHO. TEČKY OZNAČUJÍ PRŮMĚRNÉ HODNOTY, ROVNOBĚŽNÉ ČÁRY ZNAČÍ 95% INTERVAL SPOLEHLIVOSTI | 40 |

10 Seznam tabulek

| | |
|---|----|
| TABULKA 1 KORELAČNÍ MATICE MEZI PROMĚNNÝMI NAVZÁJEM A METEOROLOGICKÝMI DATY | 33 |
| TABULKA 2 KORELAČNÍ MATICE MEZI ÚHRNEM MNOŽSTVÍ SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH V ZÁVISLOSTI NA ZAČÁTKU A KONCI VEGETAČNÍ SEZÓNY | 33 |
| TABULKA 3 KORELAČNÍ MATICE MĚSÍČNÍCH TEPLOT V ZÁVISLOSTI NA ZAČÁTEK A KONEC VEGETAČNÍ SEZÓNY | 33 |
| TABULKA 4 PRŮMĚRNÉ HODNOTY ROČNÍHO PŘÍRŮSTU | 34 |
| TABULKA 5 PRŮMĚRNÉ TRVÁNÍ DÉLKY VEGETAČNÍ SEZÓNY..... | 36 |
| TABULKA 6 PRŮMĚRNÝ ZAČÁTEK VEGETAČNÍ SEZÓNY | 37 |
| TABULKA 7 PRŮMĚRNÝ KONEC VEGETAČNÍ SEZÓNY | 39 |
| TABULKA 8 PRŮMĚRNÉ HODNOTY TWD..... | 40 |
| TABULKA 9 INFORMACE O TEPOTĚ A SRÁŽKÁCH PRO JEDNOTLIVÉ PLOCHY | 62 |
| TABULKA 10 PRŮMĚRNÉ TEPLoty DLE JEDNOTLIVÝCH MĚSÍČŮ..... | 62 |
| TABULKA 11 ÚHRN SRÁŽEK V JEDNOTLIVÝCH MĚSÍCÍCH | 62 |
| TABULKA 12 INTERPRETACE KORELAČNÍ MATICE | 62 |
| TABULKA 13 ROČNÍ ÚDAJE O TEPLOTĚ A SRÁŽKÁCH | 62 |
| TABULKA 14 PŘEHLED KOMBINACE DRUHŮ DŘEVIN NA STANOVIŠTÍCH | 63 |

11 Přílohy

| | | | | | |
|---------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Plot 1 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 2 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 3 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 4 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 5 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 6 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 7 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 8 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 9 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 10 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 11 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,99998396 | 11,4031212 | 11,59655689 | 10,8895803 | 12,2910679 |

| | | | | | |
|---------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Srážky | 752,8000224 | 428,500013 | 546,3000163 | 539,700016 | 370,600011 |
| | | | | | |
| Plot 12 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,79630439 | 12,2101972 | 12,37235027 | 11,6192596 | 13,0533031 |
| Srážky | 687,8000205 | 396,200012 | 506,5000151 | 494,700015 | 333,80001 |
| | | | | | |
| Plot 13 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,77202975 | 12,1558683 | 12,35452689 | 11,5627058 | 13,0075202 |
| Srážky | 675,3000201 | 394,000012 | 491,7000147 | 488,500015 | 330,90001 |
| | | | | | |
| Plot 14 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,77202975 | 12,1558683 | 12,35452689 | 11,5627058 | 13,0075202 |
| Srážky | 675,3000201 | 394,000012 | 491,7000147 | 488,500015 | 330,90001 |
| | | | | | |
| Plot 15 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,77202975 | 12,1558683 | 12,35452689 | 11,5627058 | 13,0075202 |
| Srážky | 675,3000201 | 394,000012 | 491,7000147 | 488,500015 | 330,90001 |
| | | | | | |
| Plot 16 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,77202975 | 12,1558683 | 12,35452689 | 11,5627058 | 13,0075202 |
| Srážky | 675,3000201 | 394,000012 | 491,7000147 | 488,500015 | 330,90001 |
| | | | | | |
| Plot 17 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,77202975 | 12,1558683 | 12,35452689 | 11,5627058 | 13,0075202 |
| Srážky | 675,3000201 | 394,000012 | 491,7000147 | 488,500015 | 330,90001 |
| | | | | | |
| Plot 18 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,90409968 | 11,2599302 | 11,50412323 | 10,770059 | 12,1297548 |
| Srážky | 703,600021 | 420,100013 | 522,9000156 | 522,500016 | 370,000011 |
| | | | | | |
| Plot 19 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,90409968 | 11,2599302 | 11,50412323 | 10,770059 | 12,1297548 |
| Srážky | 703,600021 | 420,100013 | 522,9000156 | 522,500016 | 370,000011 |
| | | | | | |
| Plot 20 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,90409968 | 11,2599302 | 11,50412323 | 10,770059 | 12,1297548 |
| Srážky | 703,600021 | 420,100013 | 522,9000156 | 522,500016 | 370,000011 |
| | | | | | |
| Plot 21 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,90409968 | 11,2599302 | 11,50412323 | 10,770059 | 12,1297548 |
| Srážky | 703,600021 | 420,100013 | 522,9000156 | 522,500016 | 370,000011 |
| | | | | | |
| Plot 22 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,69804208 | 11,0150915 | 11,29736932 | 10,5712087 | 11,8964744 |
| Srážky | 704,300021 | 404,400012 | 500,1000149 | 524,400016 | 375,600011 |

| | | | | | |
|---------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Plot 23 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,69804208 | 11,0150915 | 11,29736932 | 10,5712087 | 11,8964744 |
| Srážky | 704,300021 | 404,400012 | 500,1000149 | 524,400016 | 375,600011 |
| Plot 24 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 25 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 26 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 27 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 28 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 29 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 30 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,53357249 | 10,8341517 | 11,15507885 | 10,423896 | 11,7226921 |
| Srážky | 692,4000206 | 393,800012 | 502,500015 | 537,100016 | 389,600012 |
| Plot 31 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 10,43240929 | 10,7263716 | 11,057376 | 10,3479499 | 11,6268775 |
| Srážky | 696,0000207 | 389,900012 | 507,9000151 | 533,000016 | 389,700012 |
| Plot 32 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,23273484 | 11,5616981 | 11,80827258 | 11,0360117 | 12,3991324 |
| Srážky | 671,00002 | 390,200012 | 490,4000146 | 508,000015 | 349,60001 |
| Plot 33 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,23273484 | 11,5616981 | 11,80827258 | 11,0360117 | 12,3991324 |
| Srážky | 671,00002 | 390,200012 | 490,4000146 | 508,000015 | 349,60001 |

| | | | | | |
|---------|-------------|------------|-------------|------------|------------|
| Plot 34 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,23273484 | 11,5616981 | 11,80827258 | 11,0360117 | 12,3991324 |
| Srážky | 671,00002 | 390,200012 | 490,4000146 | 508,000015 | 349,60001 |
| | | | | | |
| Plot 35 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,23273484 | 11,5616981 | 11,80827258 | 11,0360117 | 12,3991324 |
| Srážky | 671,00002 | 390,200012 | 490,4000146 | 508,000015 | 349,60001 |
| | | | | | |
| Plot 36 | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
| Teplota | 11,23273484 | 11,5616981 | 11,80827258 | 11,0360117 | 12,3991324 |
| Srážky | 671,00002 | 390,200012 | 490,4000146 | 508,000015 | 349,60001 |

Tabulka 9 Informace o teplotě a srážkách pro jednotlivé plochy

| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|-------------|-------|------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| 2018 | 3,76 | 1,35 | 4,65 | 9,16 | 12,44 | 17,18 | 20,77 | 21,80 | 18,97 | 10,66 | 6,49 | 5,12 |
| 2019 | 2,45 | 5,36 | 6,98 | 7,82 | 12,47 | 18,18 | 22,29 | 20,94 | 16,57 | 12,56 | 5,62 | 5,62 |
| 2020 | 3,49 | 7,54 | 6,87 | 10,31 | 15,05 | 17,18 | 22,47 | 20,55 | 15,73 | 9,26 | 7,92 | 3,13 |
| 2021 | -0,11 | 6,47 | 6,37 | 8,95 | 12,92 | 17,43 | 20,18 | 21,31 | 16,31 | 11,37 | 4,06 | 5,38 |
| 2022 | 2,48 | 5,44 | 5,61 | 8,12 | 15,33 | 19,57 | 23,79 | 22,42 | 16,62 | 14,40 | 7,44 | 5,87 |

Tabulka 10 Průměrné teploty dle jednotlivých měsíců

| | leden | únor | březen | duben | květen | červen | červenec | srpen | září | říjen | listopad | prosinec |
|-------------|-------|-------|--------|-------|--------|--------|----------|-------|-------|-------|----------|----------|
| 2018 | 38,10 | 45,57 | 119,29 | 85,15 | 90,91 | 117,55 | 4,57 | 10,28 | 44,02 | 75,56 | 58,74 | 18,30 |
| 2019 | 26,29 | 2,83 | 20,24 | 98,56 | 22,87 | 7,29 | 11,53 | 14,11 | 25,98 | 30,74 | 76,76 | 70,26 |
| 2020 | 45,98 | 0,00 | 99,27 | 82,64 | 74,60 | 37,43 | 19,52 | 18,95 | 29,82 | 30,98 | 31,51 | 44,40 |
| 2021 | 56,78 | 48,55 | 2,64 | 87,01 | 40,96 | 73,61 | 15,56 | 15,00 | 58,20 | 59,11 | 49,48 | 16,58 |
| 2022 | 6,07 | 2,66 | 79,55 | 41,45 | 26,11 | 1,53 | 6,27 | 14,35 | 29,46 | 28,27 | 45,22 | 84,64 |

Tabulka 11 Úhrn srážek v jednotlivých měsících

| Koeficient korelace | Interpretace |
|----------------------|------------------------------|
| $r = 1$ | naprostá (funkční) závislost |
| $1,00 > r \geq 0,90$ | velmi vysoká závislost |
| $0,90 > r \geq 0,70$ | vysoká závislost |
| $0,70 > r \geq 0,40$ | střední (značná) závislost |
| $0,40 > r \geq 0,20$ | nízká závislost |
| $0,20 > r \geq 0,00$ | velmi slabá závislost |
| $r = 0$ | naprostá nezávislost |

Tabulka 12 Interpretace korelační matice

| | 2018 | 2019 | 2020 | 2021 | 2022 |
|-----------------------------------|------------|---------|----------|----------|----------|
| Průměrná roční teplota | 11,0270226 | 11,3857 | 11,6243 | 10,88718 | 12,25884 |
| Součet úhrnu srážek za rok | 707,386132 | 407,4 | 515,0972 | 523,4833 | 365,5833 |

Tabulka 13 Roční údaje o teplotě a srážkách

| Plot ID | Kombinace dřevin |
|----------------|-------------------------------|
| 13 | faginea-ilex-nigra |
| 14 | ilex-nigra-faginea |
| 16 | ilex-nigra |
| 24 | faginea-ilex-sylvestris-nigra |
| 25 | faginea-ilex-sylvestris-nigra |
| 26 | faginea-ilex-sylvestris-nigra |
| 27 | faginea-ilex-nigra |
| 28 | faginea-ilex |
| 29 | faginea-ilex-sylvestris-nigra |
| 30 | faginea-ilex |
| 31 | faginea-ilex |
| 32 | ilex |
| 33 | ilex |
| 34 | faginea-ilex |
| 35 | ilex-nigra |
| 36 | ilex-nigra |

Tabulka 14 Přehled kombinace druhů dřevin na stanovištích