

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta lesnická a dřevařská**

**Katedra lesnické genetiky a fyziologie**



**Fakulta lesnická  
a dřevařská**

**Rozmnožování lesních dřevin v probíhající globální změně  
klimatu**

**Bakalářská práce**

**Tereza Brožová**

**doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.**

**2024**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta lesnická a dřevařská

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tereza Brožová

Lesnictví

Ochrana a pěstování lesních ekosystémů

Název práce

**Rozmnožování lesních dřevin v probíhající globální změně klimatu**

Název anglicky

**Reproduction of forest tree species in ongoing global climate change**

### Cíle práce

Cílem práce je vytvořit přehled rozmnožovacích strategií našich dřevin zejména s ohledem na probíhající klimatickou změnu.

### Metodika

Práce bude založena na rešerši dostupných informací z převážně zahraničních publikací. V první části bude věnována známým informacím o způsobech rozmnožování dřevin obecně. Kromě pohlavního rozmnožování a víceletého reprodukčního cyklu u jehličnanů bude pozornost věnována nepohlavnímu rozmnožování. Zde se práce zaměří na hřížení a řízkování vrb a topolů, včetně přehledu současného stavu hlavových školek a jejich produkci. Druhá část práce bude věnována specifickým funkčním vztahům dřevin s hmyzem od komunikace s opylovači, např. změna barvy květu u jírovce po opylení až po významné škůdce květů a plodů, např. květopasem jabloňovým. Ve třetí části se práce zaměří na faktory prostředí, které ovlivňují zakládání květních primordií, dobu kvetení a opakování semenných let. Zde se bude práce věnovat především posunům v načasování jednotlivých fází reprodukce, ke kterým vlivem klimatické změny dochází.

### Časový harmonogram:

Březen-červen 2023: rešerše literatury na téma rozmnožování lesních dřevin obecně a hlavní projevy globální změny klimatu s ohledem na rozmnožování včetně predikčních modelů vývoje klimatu, tvorba základního konceptu závěrečné práce

Červenec-srpen 2023: získávání informací o hlavových školkách a dalších využívaných způsobech vegetativního rozmnožování dřevin v podmínkách ČR, kvantifikace jejich produkce

Září-říjen 2023: rešerše týkající se specifických vztahů mezi dřevinami a hmyzem od pozitivních interakcí až ke škodlivým vztahům omezujícím rozmnožování, vliv globálních změn na interakci dřevina-hmyz

Listopad-prosinec 2023: rešerše vztahující se plasticitě v reprodukci dřevin v reakci na změny klimatu

Leden 2024: tvorba diskuzní části a grafické části práce

Únor-březen 2024: finalizace práce v kooperaci s vedoucím práce

**Doporučený rozsah práce**

40-50 stran

**Klíčová slova**

hřížení, hlavová školka, opylovači, reprodukční cyklus, sucho

---

**Doporučené zdroje informací**

- Barrett, S. C. H. (1996). The reproductive biology and genetics of island plants. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 351(1341), 725–733.  
<https://doi.org/10.1098/RSTB.1996.0067>
- Hacket-Pain, A. J., Lagueard, J. G. A., & Thomas, P. A. (2017). Drought and reproductive effort interact to control growth of a temperate broadleaved tree species (*Fagus sylvatica*). *Tree Physiology*, 37(6), 744–754. <https://doi.org/10.1093/TREEPHYS/TPX025>
- Owens, J. N., Takaso, T., & John Runions, C. (1998). Pollination in conifers. *Trends in Plant Science*, 3(12), 479–485. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(98\)01337-5](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(98)01337-5)
- Talz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development. Plant Physiology and Development.*, Ed. 6.
- Tomlinson, P. B., & Takaso, T. (2011). Seed cone structure in conifers in relation to development and pollination: a biological approach. <https://doi.org/10.1139/B02-112>, 80(12), 1250–1273.  
<https://doi.org/10.1139/B02-112>
- Williams, C. G. (2009). *Conifer Reproductive Biology. Conifer Reproductive Biology.*  
<https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9602-0>
- 

**Předběžný termín obhajoby**

2023/24 LS – FLD

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra lesnické genetiky a fyziologie

Elektronicky schváleno dne 1. 2. 2024

**doc. Ing. Ivana Tomášková, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 4. 3. 2024

**prof. Ing. Róbert Marušák, Ph.D.**

Děkan

V Praze dne 04. 04. 2024

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Rozmnožování lesních dřevin v probíhající globální změně klimatu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 5.4. 2024

---

## **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala paní doc. Ing. Ivaně Tomáškové, Ph.D. za veškerou pomoc, připomínky a laskavé vedení při psaní této bakalářské práce.

Dále bych ráda poděkovala své rodině, přátelům a příteli za podporu během celé délky mého studia.

# **Rozmnožování lesních dřevin v probíhající globální změně klimatu**

## **Souhrn**

Tato bakalářská práce na základě rešerše pojednává o rozmnožovacích strategiích lesních dřevin a změnách jimž musí čelit v probíhající globální změně klimatu. V úvodu se zaměřuje na doposud známé strategie, které rostliny využívají pro svou reprodukci. Popisuje jak obecnější znaky rostlinného rozmnožování jako např. rozdělení na nahosemenné a krytosemenné nebo jednodomost a dvoudomost, tak specifické znaky rozmnožování lesních dřevin jako např. víceleté reprodukční cykly nebo různé variace vegetativního rozmnožování. Druhá část se zaměřuje na definování obecných projevů klimatické změny. Najdeme zde soubor doposud popsaných globálních změn a jejich možných důsledků.

Třetí část přináší soubor změn v reprodukci dřevin, zapříčiněných probíhající klimatickou změnou, které buďto již byly pozorovány, nebo jsou v na základě dosavadních výzkumů očekávány. Cílem práce je nahlédnout na problematiku spojenou s klimatickou změnou ve vztahu k reprodukci lesních dřevin z co nejvíce možných úhlů. Třetí část je tak složena z většího množství kapitol popisujících různé aspekty hrozeb spojenými se změnami prostředí. Jednotlivé kapitoly budou např. zaměřeny na kvalitu a množství semenného materiálu, změny v sezónní fenologii nebo vlivu klimatické změny na škůdce generativních orgánů.

Práce by tak měla přinést přehled informací, jak dřeviny reagují na změny jejich prostředí a jakým způsobem by se v budoucnu mohla proměnit podoba lesů, oproti současnému stavu.

**Klíčová slova:** hřížení, hlavová školka, opylovači, reprodukční cyklus, sucho

# Reproduction of forest tree species in ongoing global climate change

## Summary

This bachelor's thesis, based on research, discusses the reproductive strategies of forest tree species and the changes they have to face in the ongoing global climate change. It starts by focusing on the strategies that plants have so far been known to use for their reproduction. It describes both the more general features of plant reproduction, such as the division into gymnosperms and angiosperms or monoecious and dioecious, and specific features of forest tree reproduction, such as multi-year reproductive cycles or different variations of vegetative reproduction.

The second part focuses on defining the general effects of climate change. Here we find a collection of the global changes described so far and their possible consequences.

The third part presents a set of changes in tree reproduction caused by ongoing climate change that have either already been observed or are expected based on existing research. The aim of the paper is to look at the issues related to climate change in relation to forest tree reproduction from as many angles as possible. The third part is thus composed of a large number of chapters describing different aspects of the threats associated with environmental change. Individual chapters will focus, for example, on the quality and quantity of seed material, changes in seasonal phenology or the impact of climate change on pests of generative organs.

The thesis should thus provide an overview of how tree species respond to changes in their environment and how the image of forests might change in the future compared to the current situation.

**Keywords:** layering, head propagation, pollinators, reproduction cycle, drought

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Cíl práce</b>	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>Pohlavní rozmnožování</b>	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Nahosemenné</b>	<b>12</b>
<b>3.2</b>	<b>Krytosemenné</b>	<b>13</b>
<b>3.3</b>	<b>Víceletý reprodukční cyklus dřevin</b>	<b>13</b>
<b>3.4</b>	<b>Komunikace rostlin s hmyzem</b>	<b>15</b>
<b>3.5</b>	<b>Autogamie</b>	<b>17</b>
<b>3.5.1</b>	<b>Mechanismy bránící samosprášení</b>	<b>18</b>
<b>3.5.1.1</b>	<b>Pylová inkompatibilita</b>	<b>19</b>
<b>3.5.1.2</b>	<b>Oddělení pohlaví v čase</b>	<b>19</b>
<b>3.5.1.3</b>	<b>Prostorové oddělení pohlaví</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Nepohlavní rozmnožování</b>	<b>21</b>
<b>4.1</b>	<b>Vegetativní rozmnožování</b>	<b>21</b>
<b>4.2</b>	<b>Somatická embryogeneze</b>	<b>22</b>
<b>4.3</b>	<b>Apomixie</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Globální klimatická změna a její projevy</b>	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Dopady</b>	<b>26</b>
<b>6</b>	<b>Vliv klimatické změny na rozmnožování lesních dřevin</b>	<b>28</b>
<b>6.1</b>	<b>Změny v jarní fenologii</b>	<b>28</b>
<b>6.2</b>	<b>Synchronizace kvetení s opylovači</b>	<b>29</b>
<b>6.3</b>	<b>Úbytek opylovačů</b>	<b>30</b>
<b>6.4</b>	<b>Polinační kapka</b>	<b>31</b>
<b>6.5</b>	<b>Změny ve frekvenci semenných let</b>	<b>31</b>
<b>6.6</b>	<b>Změny v dormanci a klíčení semen</b>	<b>33</b>
<b>6.7</b>	<b>Vliv teploty na vývoj samčího a samičího gametofytu</b>	<b>34</b>
<b>6.8</b>	<b>Změny v rozměrech a rozmístění areálů</b>	<b>34</b>
<b>6.9</b>	<b>Vliv teploty na jednotlivá pohlaví dvoudomých dřevin</b>	<b>35</b>
<b>6.10</b>	<b>Vliv požárů na semennou produkci</b>	<b>36</b>
<b>6.11</b>	<b>Škůdci generativních orgánů</b>	<b>37</b>
<b>6.12</b>	<b>Omezení generativního rozmnožování rostlin</b>	<b>37</b>
<b>6.13</b>	<b>Množení dřevin metodou In vitro</b>	<b>38</b>
<b>6.14</b>	<b>Vliv klimatické změny na porosty v tropických oblastech</b>	<b>39</b>
<b>7</b>	<b>Diskuze</b>	<b>40</b>



<b>7.1</b>	<b>Změny v areálech .....</b>	<b>40</b>
<b>7.2</b>	<b>Kvetení a opylování .....</b>	<b>41</b>
<b>7.3</b>	<b>Semenná produkce.....</b>	<b>41</b>
<b>7.4</b>	<b>Škůdci a disturbance.....</b>	<b>42</b>
<b>7.5</b>	<b>Generativní a vegetativní rozmnožování .....</b>	<b>43</b>
<b>8</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>44</b>
<b>9</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>45</b>

# 1 Úvod

Klimatická změna je fenomén zasahující dnes téměř do každého aspektu našeho života.

Ačkoliv sledování trendů v globální změně klimatu se věnuje mnoho studií, tak z pohledu reprodukce lesních dřevin stále není výzkum dostatečný a stále nemáme konkrétní představu jakými směry by se mohly nastupující změny v populacích ubírat.

Lesní porosty tvoří významnou složku ekosystémů na Zemi. Hrají zásadní roli v cyklu uhlíku, zadržování vody v krajině, udržování kvality půdy nebo tvoření prostoru k životu pro další rostliny a živočichy. S postupující klimatickou změnou dochází k posunu podmínek na stanovištích, což může mít vážné důsledky pro adaptabilitu jednotlivých druhů. Například některé lesní dřeviny, mohou mít obtíže se přizpůsobit rychlým změnám teploty nebo srážek, což může vést k oslabení jejich odolnosti vůči škůdcům a chorobám.

Dalším důležitým aspektem vlivu klimatické změny na reprodukční cykly lesních dřevin je míra zachování genetické diverzity. Genetická variabilita je zásadní pro adaptaci na nové podmínky, a proto je nezbytné studovat, jak se může klimatická změna projevit v genetické struktuře populací lesních druhů.

V neposlední řadě lesní porosty představují potřebnou zásobu dřeva pro lidskou spotřebu a jsou součástí produkce některých potravin. Nesmíme opomenout vliv lesů na lidskou duševní pohodu a jejich rekreační aspekt. Tyto všechny funkce lesních porostů jsou dnes pravděpodobně ohroženy probíhající klimatickou změnou spojenou s výraznými výkyvy počasí, dlouhotrvajícími suchy nebo s posunem vegetačního období. Abychom mohli odhadnout jakým způsobem budou populace lesních dřevin reagovat na výše zmíněné změny a jak se v budoucnu podoba lesů na Zemi promění, je nutné zaměřit výzkum na souvislosti mezi probíhající změnou klimatu a reprodukčními cykly lesních dřevin. Pouze tak můžeme získat hlubší porozumění tomu, jak se mohou lesní ekosystémy adaptovat na probíhající klimatickou změnu a jak můžeme přijmout opatření k ochraně a udržitelnému hospodaření s těmito cennými přírodními zdroji.

## **2 Cíl práce**

Cílem bakalářské práce je vypracování rešerše, která bude poskytovat přehled rozmnožovacích strategií využívaných lesními dřevinami a změn, kterým musí čelit v důsledku probíhající změny klimatu.

V první části bude práce zaměřena na zpracování informací o obecných způsobech, jež rostliny využívají pro svou reprodukci. Druhá část se bude věnovat obecnému popisu a prezentaci dat o klimatické změně. Třetí část bude zaměřena na podání souboru projevů klimatické změny zasahujících do reprodukčních procesů lesních dřevin.

### 3 Pohlavní rozmnožování

Pohlavní rozmnožování je nejčastějším způsobem šíření pro eukaryotní organismy. Nepohlavně se podle odhadů rozmnožuje nejspíš pouze jedna tisícina ze všech eukaryotních druhů. Zároveň tyto druhy kdysi pohlavní byli, ale v průběhu vývoje tuto rozmnožovací strategii opustili a začali využívat jiných způsobů šíření. Co se týče vzniku pohlavního rozmnožování, tak musíme jít až 2 tisíce let do minulosti, kdy se vyvinulo u jednoho předka veškerých eukaryot, a to pouze jednou v historii. Pohlavní procesy jak pro rostliny, tak pro zvířata tedy vychází ze stejného původu.

Vysoká četnost druhů využívajících pohlavního rozmnožování je založena na výhodách, které tato strategie přináší. Pravděpodobně nejzásadnějším přínosem je variabilita potomstva, a to hned z několika důvodů. Prvním je schopnost osídlit větší škálu prostředí, díky rozdílným nárokům na ekologickou niku mezi jedinci. Tím klesá míra vnitrodruhové konkurence, což je další výhodou. Výše zmíněné benefity platí převážně na úrovni jednotlivce. Co se týče druhové úrovně, tak při pohlavním rozmnožování je snazší eliminovat negativní mutace, a naopak přispět k přenosu a zafixování kladných. Tento proces může urychlit evoluci pro daný druh.

Proč tedy i navzdory výše zmíněným výhodám některá eukaryota od pohlavního rozmnožování upustila a začala využívat jiné způsoby? Jedním z důvodů je energetická náročnost, která značně převyšuje vynaloženou energii pro nepohlavní variantu. Právě kvůli zvýšenému vynaložení energie na reprodukci je jedinec náchylnější k napadení parazity, onemocněními nebo sežráním predátorem. Další nevýhodou je oproti nepohlavnímu rozmnožování značně pomalejší populační růst. Jednou z příčin je, že gonochoristé musí vynakládat určitý čas na vyhledání vhodného partnera. Dále reprodukci zpomaluje, že samci přímo neprodukují další jedince, ale pouze předávají své gamety samicím. Gamety pohlavně rozmnožujících se organismů jsou haploidní, tedy každý z rodičů předává pouze polovinu svých genů. Tyto geny se při vzniku potomstva různě kombinují, a tak mohou vznikat jak kombinace, které jsou pro nového jedince výhodné, ale i škodlivé (Balážová et al. 2016).

#### 3.1 Nahosemenné

Nahosemenné rostliny se objevili již v mladších prvohorách a byli tak vůbec prvními semennými rostlinami na planetě Zemi. Zástupce nahosemenných dělíme do 2 skupin (1.

rostliny s plochými, obvykle zpeřenými listy, 2. rostliny s jehlicovitými nebo šupinovitými listy), která každá obsahuje 3 oddělení, přičemž všechny zástupce spojuje zařazení mezi dřeviny. Skupina rostlin s plochými listy se dále dělí na oddělení cykasy (*Cycadophyta*), liánovce (*Gnetophyta*) a welwíčije (*Welwitschiophyta*). Skupina rostlin jehlicovitými nebo šupinovitými listy se dělí na oddělení jinany (*Ginkgoophyta*), jehličnany (*Pinophyta*) a chvojníky (*Ephedrophyta*). Nahosemenné definuje primárně způsob, jaký využívají pro rozmnožování. Pohlavní rozmnožování zajišťují tyčinky (mikrosporofyly) a plodolisty (megasporofyly) srůstající v pohlavní šištice. Ty jsou většinou jednopohlavné a podle jejich vzájemného umístění lze druhy nahosemenných rozdělit na jednodomé a dvoudomé. Na semenných šupinách samičích šištic jsou volně umístěna vajíčka, na která nalétává pyl z tyčinek umístěných na samčích šišticích. Následuje klíčení pylových zrn na vajíčku, čímž vznikají 2 neobruvené spermatické buňky, z kterých ale pouze jedna provede oplození. Výsledkem takto proběhlého oplození jsou vyvíjející se semena (Musil, Hamerník 2007).

### **3.2 Krytosemenné**

Jako krytosemenné rostliny označujeme ty, které svá semena ukrývají uvnitř plodů. Ve většině případů rozmnožování probíhá pohlavně, ale může být doplněno nebo přímo nahrazeno i nepohlavním způsobem (Balážová et al. 2016). Krytosemenné jsou jasně převažující skupinou terestrických druhů rostlin, přičemž tato skupina čítá až 270 000 popsaných druhů (kol. 2009).

### **3.3 Víceletý reprodukční cyklus dřevin**

Většina lesních dřevin neprovádí rozmnožovací procesy každoročně, ale využívají víceletých reprodukčních cyklů. Během let akumulují syntetizovanou energii a po dosažení určitých hodnot zásob spustí proces kvetení následovaný tvorbou vyššího množství semen (Satake, Iwasa 2000).

Míru využívání strategie semenných let můžeme rozdělit do tří úrovní. V první úrovni dochází ke kolísání úrody semen, ale nemáme žádné důkazy, že je zapříčiněno jinými faktory než dostupností zdrojů. V případech druhé úrovně dřeviny akumulují energii získanou v průběhu fotosyntézy do zásob a po dosažení určité hladiny zásob zahájí kvetení následované zvýšenou produkcí semen. Nicméně na této úrovni neustává produkce semen i v období mezi semennými roky, ale pouze v omezené míře. Třetí úroveň je extrémním případem, kdy buďto

dochází k masivní produkci semen, nebo k nulové. Je známo, že naprostá většina druhů dřevin severní polokoule využívá nějakou úroveň semenných roků (Koenig, Knops 2000).

Délka reprodukčního cyklu se liší napříč dřevinami a může mít výkyvy i v rámci jednoho druhu. Dokonalá periodicita mezi semennými roky je spíše výjimkou.

Důvody proč lesní dřeviny začaly víceletých reprodukčních cyklů využívat může být více. Původní hypotéza vycházela z prostého tvrzení, že množství semen koreluje s dostupností zdrojů v určitém roce. Bylo zjištěno, že např. povětrnostní podmínky opravdu mají spojitost s výnosy semen v daném roce. V dnešní době se ale od této teorie spíše ustupuje, jelikož rozdíly mezi semennými roky a ostatními roky jsou příliš výrazné na to, aby byly závislé pouze na dostupnosti zdrojů v jediném roce. Jako další hypotéza se nabízí vývoj semenných let jakožto adaptace proti živočichům živícím se semeny. Podle této teorie, pokud všechny stromy v porostu v jeden rok vytvoří větší míru semen, tak budou schopni dostatečně zasytit predátory, a tak více semen zbude a bude mít šanci vyklíčit. Zároveň během semenných let je snadnější dosáhnout opylení jak větrem, tak za pomoci opylovačů. Další výhodou nárazově vyšší produkce semen je i větší atraktivita pro zvířata pomáhající k šíření semen.

Pokud ale semenné roky nevychází z dostupnosti zdrojů v konkrétním roce, jak je tedy možná synchronizace periody rozmnožovacího cyklu pro všechny stromy v porostu? Jednou z hypotéz je, že stromy potřebují dosáhnout určité energetické zásoby pro započítí reprodukčních procesů. Tuto energii shromažďují v období mezi semennými roky. Pro tvorbu květů, pylu a následně semen je pak energie čerpána právě z této zásoby. Po dokončení reprodukce, je zásoba vyčerpána na nulovou hodnotu a proces kumulace započíná nanovo. Podle této teorie je úspěšnost reprodukce jedinců závislá na množství pylu produkovaného okolními stromy, nutného pro oplození jejich květů. Pokud okolní jedinci produkují dostatečné množství pylu, více květů může dosáhnout oplození z čehož vyplývá i vyšší produkce semen. Podle této hypotézy tak k populační synchronizaci dochází pouze díky dostupnosti pylu a vynechává vliv enviromentálních faktorů (Satake, Iwasa 2000).

Důležité zjištění však přinesla studie sledující korelaci semenné produkce v souvislosti s různými podnebními faktory jako zeměpisná šířka, výška ročních srážek, nebo teploty během vegetačního období. Podle výsledků této studie enviromentální proměnné vykazují mnohem nižší míru variability nežli rozložení roční produkce semen. Tyto výsledky podporují hypotézu, že jev semenných let je pravděpodobně vyvinutou strategií, nikoliv pouze reakcí na určité klimatické predispozice (Koenig, Knops 2000).

### 3.4 Komunikace rostlin s hmyzem

Z podstaty přisedlého způsobu života rostlin plyne potřeba určitého prostředníka, který by dopravil jejich genetický materiál mezi jedinci. Tímto prostředníkem klasicky může být buďto vítr, voda anebo živočichové. Hmyz není rozhodně jedinou třídou živočichů zprostředkující opylení. Mimo hmyz opylují dále některé druhy ptáků nebo netopýrů (Balážová et al. 2016, str. 112-114).

Kvetoucí rostliny během své evoluce vyvinuly, mnoho strategií, jak komunikovat s hmyzem a zvýšit tak pravděpodobnost na přenos svého pylu (Schiestl 2010). Hlavními projevy, jak přilákat opylovače jsou obecně nápadně zbarvené květy nebo výrazná vůně. Zároveň takto některé druhy rostlin mohou odlákat případné herbivory. Vývoj těchto projevů je zajímavý nejen na úrovni spojené se zemědělským využitím, ale převážně na úrovni samotného vývoje, kdy rostliny a hmyz v průběhu času společně procházeli koevolucí, která vyústila v soubor velice diverzifikovaných způsobů vzájemné komunikace (Zu et al. 2022).

Komunikace mezi rostlinami a hmyzem probíhá na chemické úrovni. Právě různé chemické sloučeniny sekundárních metabolitů jsou v rostlinách zodpovědné za odstín zbarvení, tvar těla nebo vůni květů. Těchto látek se u rostlin nachází obrovské množství. Podle výzkumu bylo zjištěno a identifikováno přibližně 200 000 sloučenin sekundárních metabolitů, jejichž funkce souvisí s atraktivní funkcí vůči hmyzu (Zu et al. 2022). Tyto látky často fungují na základě napodobení vlastní chemické komunikace mezi hmyzem. Podle výzkumu, kdy bylo srovnáváno 71 nejběžnějších rostlinných těkavých látek (VOC) s látkami využívanými hmyzem pro komunikaci mezi sebou vyplynulo zjištění, že mezi těmito sloučeninami existuje překryv až v 87 % zkoumaných látek (Schiestl 2010).

Ačkoliv se využití hmyzu jakožto média pro opylení může zdát jako nevýhodné (vzhledem k náročnosti tvorby nektaru, výrazných květů nebo vůní), ve srovnání s ostatními strategiemi tomu tak nemusí být. Například anemochorní rostliny musí tvořit mnohem větší množství pylu, jelikož značná část vůbec nemusí doputovat k cílovým květům nebo dojde k jeho ztrátě při nechtěnému samosprášení.

Opylení za pomoci hmyzu považujeme za mutualistický vztah, avšak obě strany do něj vstupují s naprosto rozdílnými cíli. Zatímco pro rostlinu je hlavním cílem přenést svůj pyl na ostatní květy, hmyz přilétá na květy primárně za účelem získání potravy. Proto rostliny musely vyvinout různé strategie lákadel, odměn a podvodů, aby dokázaly konkurovat ostatním druhům a přilákaly na své květy co nejvíce potravu shánějícího hmyzu (Balážová et al. 2016, str. 112-114).

Jako lákadlo, jak už bylo zmíněno výše, rostliny nejčastěji využívají zbarvení květů a vůni (Balážová et al. 2016, str. 114). Za zbarvení květů jsou zodpovědná rostlinná barviva (pigmenty). Hlavními skupinami pigmentů jsou flavonoidy, chlorofyly a karoteny (Narbona, del Valle, Whittall 2021). Do skupiny flavonoidů patří zejména antokyany, jejichž přítomnost v květech se projevuje červenou, modrou nebo fialovou barvou. Chlorofyly dále zapříčiňují zelenou a karoteny červenou barvu. Další významnou skupinou barviv jsou xantofyly, díky kterým se květy zbarvují žlutě (Balážová et al. 2016, str. 116).

Barva květů není náhodná. Rostliny své květy zbarvují ve vztahu k typu opylovačů, které chtějí přilákat. Hlavní skupinou hmyzích opylovačů je čeleď blanokřídlí. Během výzkumu zraku u včel, jakožto hlavního reprezentanta blanokřídlých opylovačů, bylo zjištěno, že včely podobně jako člověk mají trichromatické vidění. To znamená, že jejich oko má 3 druhy receptorů vnímajících vždy jednu omezenou část světla (tedy barvu). Ve srovnání s lidským okem má však hmyz posunuté vnímání viditelného spektra směrem ke kratším vlnovým délkám. Díky tomu jsou včely schopné vidět UV světlo, ale červené objekty jsou pro ně značně nevýrazné, jelikož je vnímají v odstínech šedé. Kvůli těmto vlastnostem hmyzích očí, mohou být pro včely mnohem atraktivnější květy, které by nám na první pohled vůbec nemusely připadat nikterak zajímavé.

Dále rostlina pomocí změny zbarvení květů může potenciálnímu opylovači signalizovat které květy jsou již opylené a zbavené nektaru. Typickým příkladem jsou květenství jírovce maďalu (*Aesculus hippocastanum*), jehož mladé květy bývají bílé se žlutým středem a pro hmyz tedy více výrazné. Po opylení dojde ke změně barvy středu na červenou, kterou hmyzí opylovači prakticky nerozeznávají, a tak je snáz přehlédnou a s vyšší pravděpodobností nalétnou na pro ně výraznější neopylené květy (Balážová et al. 2016, str. 114-116).

Další variantou, jak nalákat opylovače jsou vůně (Balážová et al. 2016, str. 116). Podle výzkumu zaměřeného na preference určitých vůní u čmeláka (*Bombus terrestris*) bylo zjištěno, že sledovaní čmeláci dávali přednost květům, jejichž vůně obsahovala látku fenyl acetaldehyd oproti jiným vonným sloučeninám (Knauer, Schiestl 2015). Květy tak produkují vůně zaměřené na jejich specifické opylovače. Pro včely a motýly to bývají vůně s nasládlými tóny, pro netopýry vůně ovoce a pro mouchy dokonce zápach hnilobného masa (Balážová et al. 2016, str. 116).

Dalším způsobem, jak více ztraktivnit své květy pro opylovače mohou být odměny. Pro některé druhy to může být již samotný pyl, který může sloužit jako potrava. To je však pro rostlinu naprosto nežádoucí, a proto bývají prašníky v květech umístěny tak, aby se o ně



přivábený hmyz pouze otíral při snaze dosáhnout alternativní odměny v podobě nektaru (Balážová et al. 2016, str. 120-121).

Nektar je produkován speciálními orgány zvanými nektaria, umístěnými na různých částech květů. Jeho složení sestává převážně z vody a cukrů. V největší množství je zastoupena sacharóza, glukóza a fruktóza v různém poměru podle druhu rostliny. Dalšími látkami jsou aminokyseliny, fenoly, lipidy a ve stopovém množství antioxidanty. Díky těmto komponentům je možná variabilita jak chutí, tak vůní nektaru, díky které mohou různé druhy rostlin lákat specifické skupiny opylovačů (Galletto, Bernardello 2004).

### 3.5 Autogamie

Vzhledem k tomu, že většina krytosemenných rostlin nese na svém těle jak samčí, tak samičí květy, nabízí se zde možnost opylení vlastním pylem. Této příležitosti využívá celá řada rostlinných zástupců, a to buď obligátně nebo pouze částečně. Zatímco obligátní samosprašnost je spíše vzácná, částečně svůj pyl využívá až 40 % rostlin. Vývoj autogamie u rostlin vychází z potřeby zanechat potomstvo i v případě nedostatku opylovačů.

Samosprašnost tak můžeme nalézt u řady druhů extrémních stanovišť, kde klimatické podmínky nejsou přívětivé vůči hmyzu. Zároveň tak dochází k menší kombinaci alel, čímž si potomstvo může lépe zachovat vlastnosti rodiče, důležité pro prosperitu na specifickém stanovišti. Dále tato strategie může být výhodná pro druhy s nízkou hustotou populací, kdy se snižuje pravděpodobnost přenosu pylu mezi různými jedinci, nebo pro druhy s méně nápadnými květy, které mají nižší schopnost přilákat opylovače oproti jiným současně kvetoucím rostlinám. Tyto druhy pak nemusí vynakládat tolik energie na tvorbu barevnějších a větších květů nebo pro hmyz zajímavého pachu a nektaru. Mohou se tak spokojit s menším množstvím drobných květů s menším množstvím pylu, u kterého se mohou spolehnout, že bude přenesen (Balážová et al. 2016, str. 127-135).

Autogamie lze také využít jako užitečný nástroj pro osidlování nových stanovišť a následnému rozšiřování areálu. Bez potřeby cizího pylu totiž pro založení nové populace stačí pouze jediný jedinec, který je schopný stanoviště udržet do doby, kdy bude možný přenos pylu z další rostliny, který zajistí genetickou variabilitu a snazší pokračování druhu na nové lokalitě. Schopnost samosprašení tak velmi často můžeme pozorovat u celé řady invazivních druhů (Balážová et al. 2016, str. 131).

Naskytují se dva možné způsoby průběhu samosprašení. V prvním případě přenos pylu probíhá pouze v rámci jednoho květu, přičemž zcela odpadá potřeba opylovače, a to jak

hmyzu, tak i větru. K přenosu pylu dojde jednoduchým přitlačením tyčinek k pestíku během zrání květu. Z toho plyne nesporná výhoda například pro některé jednoleté rostliny, pro které je tak mnohem dostupnější příležitost se rozmnožit a zajistit si tak potomstvo pro příští sezónu. Extrémním případem samosprašného rozmnožování jsou takzvané krytosnubné (kleistogamické) květy. Tento druh květů se nikdy neotvírá a jejich hlavní funkcí je pouze vnitřní přimknutí tyčinek k pestíku. Obligátní kleistogamie se vyskytuje velmi zřídka. Většina druhů využívajících krytosnubných květů tak zároveň tvoří i květy určené pro opylovače a kleistogamii využívá pouze jako pojistku pro případ, že opylovačů nepřiletí dostatek. Druhý případ opylení vlastním pylem nastává při přenosu mezi různými květy v rámci jedné rostliny (geitonogamie). Nicméně tento případ je spíše nežádoucí, jelikož květy, z kterých k přenosu dochází jsou primárně určeny k opylení pomocí opylovačů a přenosu pylu na jiného jedince za účelem zvýšení genetické variability. Proto výskyt geitonogamie je spíše omylem vniklým selháním mechanismů, které by měly samosprašení zabránit (Balážová et al. 2016, str. 129-135).

### **3.5.1 Mechanismy bránící samosprašení**

Hlavní výhodou pohlavního rozmnožování je nesporně vysoká variabilita potomstva. Ačkoliv při autogamním rozmnožování jistá variabilita existuje, její míra se oproti klasickému pohlavnímu rozmnožování značně snižuje. Je tomu tak, protože potomci nezískávají žádné nové alely, jak by tomu bylo u dvou různých rodičů, ale pouze dochází k překombinování mezi homologickými chromozomy v průběhu meiózy. To však nestačí pro zachování dostatečné úrovně variability a časem se v generaci začnou čím dál častěji vyskytovat takzvané homozygoti – jedinci s týmiž alelami. Potíž s přítomností homozygotů v populacích spočívá v postupné degradaci genetické pestrosti mezi jedinci (tzv. inbrední depresi). Ti poté trpí sníženou hodnotou fitness, projevující se horšími schopnostmi se rozmnožovat nebo se bránit chorobám a celkově horší životaschopností. Ačkoliv jsou homozygoti přirozeně z generací redukováni pomocí přirozeného výběru, stále je pro populaci důležité udržet jejich poměr co nejnižší. Z tohoto důvodu rostliny musely vyvinout strategie pro omezení přenosu pylu mezi vlastními květy a tím si zajistit co nejsilnější populaci (Balážová et al. 2016, str. 135-144).

### 3.5.1.1 Pylová inkompatibilita

Jako jeden ze známých mechanismů, které rostliny využívají, je pylová inkompatibilita. Díky tomuto opatření, stručně řečeno, není možné, aby nalétlý pyl, buďto vlastní nebo příbuzné rostliny, vyklíčil na blizně v pylovou láčku. Je tomu tak, díky schopnosti blizny rozpoznat shodu mezi svou genetickou informací a informací klíčícího pylového zrna. Pokud pylové zrna pochází z té samé rostliny, nebo z rostliny příbuzné, blizna zastaví prorůstání pylového zrna do dalších vrstev a k oplození nedojde (Balážová et al. 2016, str. 135-144).

### 3.5.1.2 Oddělení pohlaví v čase

Aby některé druhy zabránily již samotnému nalétnutí vlastního pylu na bliznu, provozují strategii, kdy samčí a samičí části květu dozrávají v rozdílném období. Pokud jako první dozrávají orgány samčí, je tento jev označován jako protandrie. Za případu, že první dozrává blizna, hovoříme o protogynii. Proterogynii lze typicky pozorovat u jabloní (*Malus*) nebo hrušní (*Pyrus*).

Kromě snížení míry inbrední deprese s sebou strategie rozdílného období dozrávání květů přináší ještě jednu výhodu. Tou je nižší množství pylu potřebného k opylení. Rostliny totiž nemusí počítat s určitou ztrátou pylových zrn, které by nedokázaly vyklíčit na vlastních bliznách. Zároveň tak rostlina může věnovat více energie na produkci většího množství drobných květů v květenství, které lépe upoutají pozornost hmyzích opylovačů, přičemž zabrání nechtěné geitonogamii. I z tohoto důvodu proterandrii využívají nejčastěji druhy opylované včelami (Balážová et al. 2016, str. 135-144).

### 3.5.1.3 Prostorové oddělení pohlaví

Jako další možnost zabránění samosprášení se nabízí oddělit vlastní květy, nebo jejich části prostorově. Pro tuto strategii rostliny využívají hned několik variant.

Jelikož pravděpodobnost pro přenos vlastních pylových zrn je výrazně vyšší u hermafroditních květů, některé druhy od jejich tvoření upustily a místo nich začali využívat květy jednopohlavní. Tím se automaticky vyloučila možnost přenosu pylu v rámci jednoho květu.

Co se týče samosprášení mezi různými květy téže rostliny, nabízí se dvě možnosti.

V případě jednodomých druhů jsou květy jednotlivých pohlaví umístěny v jiných částech jedné rostliny (Balážová et al. 2016, str. 135-144). Tohoto systému využívá přibližně 7 % krytosemenných rostlin, přičemž je častější u jednoděložných než u dvouděložných druhů.

Jednodomost bývá primárně spojována s abiotickým opylením, ale některé druhy využívají i hmyzích opylovačů. V případě opylení hmyzem obecně samičí květy neodměňují opylovače nektarem, ale využívají podvodu, kdy blizny samičích květů napodobují samčí prašníky (Chávez-García, Vázquez-Santana 2012). Jako příklad jednodomé dřeviny můžeme uvést lísku (*Corylus*), která má své samčí květy umístěné v jehnědách, přičemž květy samičí tvoří pouze v podobě uzavřených pupenů s vyčnívající bliznou (Balážová et al. 2016, str. 144). Dvoudomé druhy oddělení svých jednopohlavních květů posunuli na vyšší úroveň a to tak, že na jednotlivých jedincích vždy najdeme buďto pouze samčí nebo samičí květy. Můžeme tak říct, že dvoudomé rostliny mají jedince s odděleným pohlavím. Jako dvoudomé klasifikujeme přibližně 4 % krytosemenných rostlin, tedy zle tvrdit, že se jedná spíše o výjimečný jev. Ačkoliv dvoudomost přispívá k zabránění samosprášení, tak tato vlastnost je spíše sekundární. Rostliny pravděpodobně začali tvořit pohlavně oddělené jedince spíše za účelem získání výhod plynoucích z odlišných vlastností samců a samic. Jakožto zástupce dvoudomých můžeme uvést čeleď vrbovité (*Salicaceae*), do které patří např. rod vrby (*Salix*) nebo topoly (*Populus*). Z nahosemenných mezi dvoudomé řadíme např. jinan dvoulaločný (*Ginko biloba*) nebo tis červený (*Taxus bacata*) (Balážová et al. 2016, 144-148).

## 4 Nepohlavní rozmnožování

Zatímco při pohlavním rozmnožování dochází ke splývání rodičovských haploidních buněk a meióze, u rozmnožování nepohlavního potomek získává pouze genetickou výbavu svého jediného rodiče. Takto vzniklé potomstvo označujeme jako klony.

Nepohlavní rozmnožování můžeme dále podle způsobu tvoření potomstva rozdělit na rozmnožování vegetativní, somatickou embryogenezi a poněkud zvláštní případ zvaný apomixie (Balážová et al. 2016, str. 149).

### 4.1 Vegetativní rozmnožování

Vegetativní rozmnožování můžeme definovat jako případ, kdy rostliny pro tvoření potomstva využívají svých vegetativních orgánů (Balážová et al. 2016, str. 149). V průběhu tohoto rozmnožovacího procesu rostliny utváří nové výhonky nazývané ramety (Endo et al. 2021). Nově vzniklé ramety mohou pomocí šlahounu přijímat z mateřské rostliny důležité živiny a cukry pro přežití do doby, než se oddělí. Z tohoto důvodu může být využití vegetativního rozmnožování velice užitečné zejména na nepříznivých stanovištích (Endo et al. 2021). Nejběžněji rostliny pro vyhánění výhonů využívají stonek, ale prakticky pro tento účel mohou použít jakékoli jiné vegetativní části. Některé druhy dřevin jako např. vrby (*Salix*) nebo topoly (*Populus*) využívají k tvorbě nových jedinců takzvané adventivní kořenové pupeny (Steward 2012). Ty se tvoří přímo na kořenech a vyrůstá z nich nová rostlina (Balážová et al. 2016, str. 151).

Některé rostliny využívají způsobu vegetativního rozmnožování zvaného hřížení. V tomto případě stonek, anebo větve zarůstají do půdy a po přerušení jejich spojení s mateřskou rostlinou vznikne nový jedinec (Balážová et al. 2016, str. 153).

Hřížení typicky můžeme pozorovat na extrémních stanovištích horní hranice lesa, kdy zakořeňují přízemních větvě, přitisklé vahou sněhu k zemi. Tyto větvě jsou po roztání sněhu přichycené bylinnou vegetací, a tak mohou pokračovat v srůstu s půdou (Vacek 2010). Z toho vyplývá, že pomocí hřížení nevznikají geneticky noví jedinci, ale skupiny klonů okolo mateřského stromu. Tyto klony nazýváme polykormony.

Hlavním důvodem, proč je hřížení dřevin typické pro stanoviště horní hranice lesa jsou teplotní podmínky, které ztěžují navázání asimilátů vzniklých fotosyntézou do rostlinných pletiv, což společně s krátkým vegetačním obdobím způsobuje zakrslý růst a celkově nižší vitalitu jedinců.

Krátké vegetační období zároveň neumožňuje dostatečnou produkci a kvalitu semen potřebnou pro úspěšné rozmnožení pohlavním způsobem (Šenfelder, Maděra 2022).

Vzhledem k specifické lokalitě horní hranice lesa je hřížení nejčastější pro druhy smrku (*Picea*) nebo borovici kleč (*Pinus mugo*). Na určitých exponovaných stanovištích jej lze pozorovat i u buku lesního (*Fagus sylvatica*), nebo některých druhů vrb (např. vrba slezská (*Salix silesiaca*), vrba laponská (*Salix lapponum*), vrba ušatá (*Salix aurita*), vrba jíva (*Salix caprea*)), bříz (např. bříza karpatská (*Betula carpatica*)) nebo jeřábu (např. jeřáb ptačí olysalý (*Sorbus aucuparia subsp. glabrata*), jeřáb sudetský (*Sorbus sudetica*)) (Vacek 2010).

## 4.2 Somatická embryogeneze

Somatická embryogeneze je druh vegetativního rozmnožování, kdy vzniká z určité rostlinné tělní buňky takzvané somatické embryo, z kterého lze následně vypěstovat novou rostlinu. Tento typ je primárně využíván při množení metodou in vitro, kdy se využije izolát rostlinného pletiva a za pomoci vhodných živin a růstových reaktantů, se přinutí k dělení pletiva a růstu nových buněk a jedinců. Výsledné potomstvo je haploidní a nese genetickou informaci totožnou se svým rodičem (Balážová et al. 2016, str. 157-158). Somatická embrya se podobají klasickým zygotním embryím, oboje nesou orgány jako radikula nebo hypokotyl, ale rozdíl je ve vývoji. Schopnost rostlin využívat strategie somatické embryogeneze pravděpodobně vychází z potřeby překonat jak enviromentální, tak genetické problémy ve vztahu k oplození. Metoda množení za pomoci somatické embryogeneze, má uplatnění převážně v případech, kdy je zapotřebí vytvořit velký počet potomstva (von Arnold et al. 2002). Můžeme tak např. snadno získat vyšší množství jedinců u rostlin, které se přirozeně složitě množí nebo u ohrožených druhů. Je však nutné stále počítat s faktem, že veškeré potomstvo jsou klony, tudíž genetická variabilita spočívá pouze v drobných mutacích (Balážová et al. 2016, 157-158).

## 4.3 Apomixie

Apomixie je speciální druh nepohlavního rozmnožování, kdy rostliny tvoří semena pomocí mateřských tkání vajíčka, aniž by došlo oplození. Pro schopnost množit se apomikticky rostliny potřebují tři vlastnosti, a to mít buňky schopné tvořit embryo za absence meiózy, schopnost spontánního vývoje embrya bez nutnosti oplození a schopnost autonomně produkovat endosperm (Bicknell, Koltunow 2004). Je nutné zmínit že konkrétní případy

apomiktického rozmnožování se liší druh od druhu v závislosti na způsobech zabránění meióze, potřebě oplození nebo adaptacích pro tvorbu endospermu (Koltunow, Grossniklaus 2003). Výsledné potomstvo jsou diploidní klony, přičemž obě sady chromozomů jsou mateřské (Balážová et al. 2016, str. 159). Většina rostlin využívajících apomixie si zachovává i schopnost rozmnožovat se pohlavně. Apomixie tak může představovat skvělou pojistku v případě, že pohlavní rozmnožování selže (Koltunow, Grossniklaus 2003). Na rozdíl od samosprášení, které může též sloužit jako pojistka, má apomiktické množení hlavní výhodu v tom, že během něj nedochází k inbrední depresi. Je tomu tak, protože během apomixie, jakožto nepohlavním rozmnožovacím procesem, nedochází k meióze, ani k splývání gamet. Alely se tak nepromíchají a zamezí se vzniku homozygotů. Genetická variabilita je tak možná pouze na úrovni spontánních mutací, které se však neobjevují často a zásadně neovlivňují biologické vlastnosti (Balážová et al. 2016, str. 159).

S apomixií se můžeme setkat přibližně u 1 % krytosemenných druhů, přičemž zastoupení mezi bylinami a dřevinami je poměrně stejné. Na rozdíl od samosprášení, apomiktické rostliny bývají téměř výhradně vytrvalé (Balážová et al. 2016, str. 159).

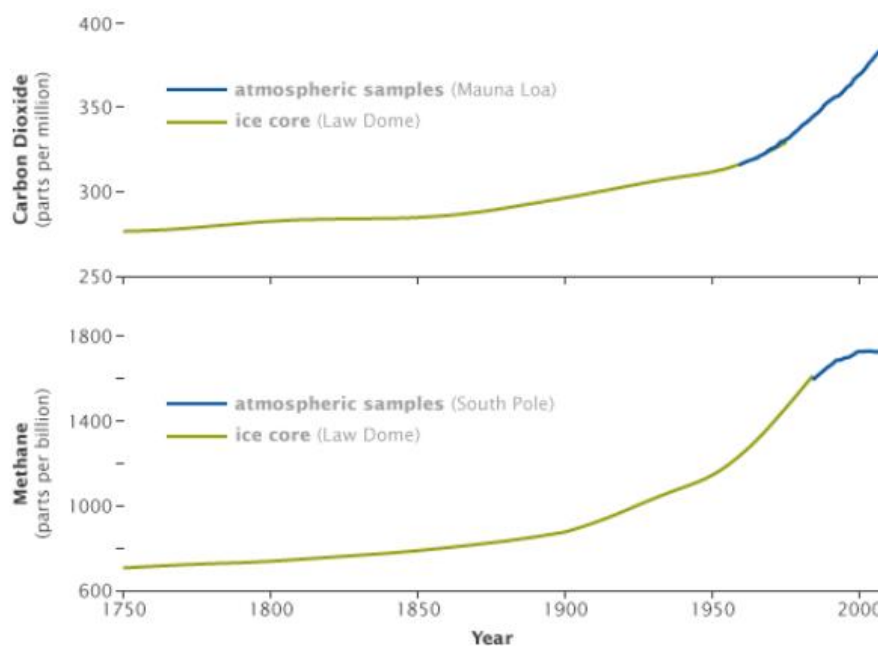
## 5 Globální klimatická změna a její projevy

V posledních letech se globální změna klimatu stává stále více rozšířeným tématem. Příčiny způsobující klimatickou změnu mohou být vícerého původu a který důvod převažuje je stále předmětem debat. Jednou z nejčastějších diskusí je právě debata, zda je globální změna klimatu zapříčiněna lidskou činností nebo se jedná o čistě přírodní záležitost, která je jednoduše součástí přírodního cyklu. Faktem zůstává, že se teplota na Zemi dlouhodobě zvyšuje, a ačkoliv se rychlost globálního oteplování na první pohled nemusí zdát nikterak závratná, již dnes můžeme pozorovat některé z důsledků jako například delší období sucha, vlny veder nebo silnější hurikány.

Jakožto hlavní příčina změny klimatu je považována větší přítomnost skleníkových plynů v atmosféře způsobující skleníkový efekt (Kaddo 2016). Přibližně 30 % sluneční energie dopadající na Zemi je odraženo zpět do vesmíru díky světlým objektům jako jsou mraky nebo led. Zbývajících 70 % je pohlceno pevninou a oceány a zbylá energie je zachycena v atmosféře. Takto zadržená sluneční energie přispívá k ohřívání naší planety (Riebeek. Holli 2010). Nejvyšší obavy u vědců způsobuje produkce emisí Metanu a CO<sub>2</sub>, jenž zastupuje až 75 % celkových globálních emisí skleníkových plynů.

Lidská činnost nesporně alespoň přispívá k průběhu globální změny. Navzdory snaze najít a ve větší míře využívat alternativních zdrojů energie, v současné době je lidstvo stále z velké míry závislé na spalování fosilních paliv jako je ropa, uhlí nebo zemní plyn. Od průmyslové revoluce výrazně stoupla spotřeba těchto zdrojů pro účely jak pro energetické účely, tak například pro zemědělství nebo dopravu (Kaddo 2016). V níže přiloženém grafu můžeme pozorovat nárůst skleníkových plynů (CO<sub>2</sub> a Metanu) za posledních 250 let.





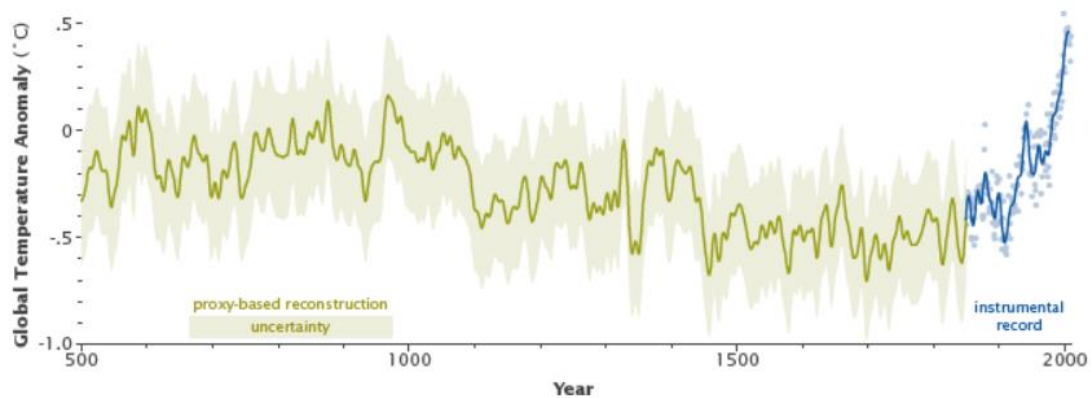
Zdroj: ("Climate Change" graph done by Robert Simmon.) (Riebeek. Holli 2010)

Graf byl zpracován na základě skupiny vzorků odebraných z atmosféry a druhé skupiny vzorků z ledovce. Právě díky vývrtu z ledovce vědci mohli analyzovat molekuly v jednotlivých vrstvách a určit koncentraci CO<sub>2</sub> a Metanu v různých obdobích. Díky takto dosaženým výsledkům víme, že emise CO<sub>2</sub> mezi lety 1750 a 2009 vzrostly o 38 % a emise metanu dokonce o 148 % (Riebeek. Holli 2010). Největší podíl oxidu uhličitého uvolňovaného do atmosféry vzniklého lidskou činností pochází převážně ze tří hlavních zdrojů. Jsou jimi energetická produkce, průmyslová činnost a změna využití půdy za účelem větší zemědělské plochy. Z těchto tří zdrojů ale nejvíce k produkci CO<sub>2</sub> přispívá produkce elektrické energie, a to až ze 70 %. Dalším důležitým skleníkovým plynem je metan. Přibližně jednu čtvrtinu světových emisí metanu pochází z živočišné produkce. Užitková zvířata jako skot, prasata, ovce nebo kozy jej produkují průběhu žvýkacího procesu. Dalším místem se zvýšenou produkcí metanu jsou rýžová pole. V období, kdy rýže potřebuje, aby pole byla zaplavena vodou, dochází k zabránění přístupu kyslíku do půdy a její prostředí se tak stává anaerobní. Za těchto podmínek bakterie nacházející se v půdě začnou rozkládat organickou složku půdy na metan (Khan 2012).

Díky datům získaných z letokruhů stromů, vrstev ledovců nebo sedimentárních vrstev ze dna oceánů si dnes můžeme udělat představu o vývoji klimatu v období mimo pole naší působnosti. Díky analýze těchto dat víme, že určité cykly globálního oteplování probíhaly v průběhu historie v podstatě běžně. Původ těchto cyklů pravděpodobně pocházel ze změn

v intenzitě dopadání sluneční energie na povrch Země způsobených drobnými výkyvy v oběhu Země okolo Slunce. Další možnou proměnnou je možná vulkanická činnost. Při erupci sopečné částičky mohly zamezit dopadu slunečního záření na povrch, a tak zapříčinit dočasné ochlazení klimatu (Riebeek. Holli 2010).

Globální oteplování by se takto mohlo zdát jako naprosto přirozený cyklicky opakující se jev. Zásadní rozdíl oproti předešlým událostem spojenými s nárůstem teploty na planetě je, že tentokrát teplota roste výrazně rychlejším tempem. V průběhu střídání dob ledových a meziledových vzrostla teplota na Zemi o 4 až 7 stupňů Celsia za období 5000 let. Oproti tomu v průběhu samotného minulého století teplota vzrostla o 0,7 stupňů Celsia, z čehož vyplývá, že nárůst teploty je nyní až desetkrát rychlejší než v předešlých cyklech (Riebeek. Holli 2010).



Zdroj: ("Climate Change" graph done by Robert Simmon.) (Riebeek. Holli 2010)

## 5.1 Dopady

Ačkoliv klimatická změna probíhá v globálním měřítku, její dopady se liší na lokální úrovni. Citelnými projevy probíhající klimatické změny mohou například být stále znatelnější vlny horka následovného suchem. Ve spojitosti s těmito jevy můžeme pozorovat i značný nárůst požárů. Zatímco problémy s horkem a suchem jsou problémem spíše jižní Evropy, v severních oblastech Evropy se změna klimatu projevuje spíše výrazně vlhčími zimami zapříčiňujícími stále častější povodně. Výraznější riziko povodní, ale není běžné pouze v těchto případech. V důsledku častějších přivalových dešťů dochází k záplavám i kvůli rozvodnění říčních toků (BURGHILA et al. 2015).

Vlny extrémního počasí mohou vyústit v závažné změny v dostupnosti zdrojů vody (BURGHILA et al. 2015). Na některých místech planety v důsledku klimatické změny dochází k vyššímu počtu dní s velmi silným deštěm. Vyšší teploty zvyšují míru evaporace.

V atmosféře je proto zadrženo větší množství vody zapříčiňující mnohem intenzivnější deště (Riebeek, Holli 2010). Oproti tomu v jiných oblastech roste počet období s intenzivními a dlouhotrvajícími suchy. Obecně lze říci, že sušší části planety se stávají stále suššími a vlhké vlhčími. Mnoho druhů živočichů i rostlin je vázáno na konkrétní vlastnosti prostředí, které se nyní geograficky mění. Organismy jsou tak nucené k přesunu mimo svůj areál, na místa s přijatelnějšími klimatickými podmínkami (National Research Council et al. 2008).

Dále během zimního období dopadá stále větší poměr srážek v podobě deště namísto sněhu. Kvůli každoročně dříve nastupujícímu jaru dochází k dřívějšímu tání sněhu v horách a společně tyto jevy vyúsťují ve změnu v sezónním rytmu říčních toků. S vyššími teplotami je spojená vyšší míra odpařování a ztráta vody z organismů. Rostliny i živočichové tak mají větší potřebu přijímat vyšší množství vody (National Research Council et al. 2008).

Rostoucí teploty na Zemi mimo jiné napomáhají růstu hladin oceánů. Není tomu tak pouze kvůli tání pevninských ledovců, ale také protože objem mořské vody roste na objemu v závislosti na zvyšování teploty vody (National Research Council et al. 2008). Růst teploty mořské vody mimo jiné jako vedlejší efekt způsobuje intenzitu hurikánů a tornád (Kaddo 2016). Během 20. století hladiny oceánů rostly průměrně o 0,18 cm za rok. Během 90. let 20. století rychlost stoupaní hladin vzrostla až na 0,3 cm za rok (National Research Council et al. 2008). Pokud by tento trend pokračoval, tak podle předpovědí by se hladina oceánů v průběhu 21. století měla zdvihnout o 59 cm (Khan 2012).

Dále bylo zjištěno, že určitá část oxidu uhličitého vyprodukovaná lidskou činností je pohlcována vodou v oceánech. Při jeho rozpouštění v mořské vodě však vzniká kyselina uhličitá způsobující větší kyselost mořské vody. Tato změna může mít značně negativní vliv na některé skupiny mořských organismů jako např. korály nebo mořští ježci (National Research Council et al. 2008).

Zásadní problém může klimatická změna přinášet v ohledu na sezónní biologické aktivity organismů. Mnoho sezónních aktivit rostlin i živočichů je vázáno na jisté projevy prostředí. Podle výzkumů bylo zjištěno, že události jako jarní návrat stěhovavých ptáků nebo rašení a kvetení stromů, se dnes odehrávají o 15-20 dní dříve, než tomu bylo v předešlých desetiletích. Za předpokladu, že by všechny organismy posunuly své sezónní chování stejným způsobem, nemusel by být tento faktor tolik závažný. Potíž však nastává v případech, kdy je přežití jednoho druhu závislé na přítomnosti např. určitého vývojového stadia jiného druhu. Pokud během mezi těmito druhy nedojde k potřebné synchronizaci, výsledek pro závislý druh může být fatální (National Research Council et al. 2008).

## 6 Vliv klimatické změny na rozmnožování lesních dřevin

Klimatická změna má nesporný vliv na růst a prospívání lesů. Zdroje potřebné ke správnému fungování fotosyntézy, jako světlo, voda a zastoupení CO<sub>2</sub> v atmosféře všechny závisí na klimatu. Zásadní efekty změny klimatu jako např. globální oteplování se také výrazně podepisují na míře prosperity lesních druhů. Zatímco v boreálních částech planety nárůst teploty může průběh fotosyntézy podpořit a dřevinám tak lehce prospět, rostliny v nižších polohách svůj růst spíše zpomalují. Nárůst CO<sub>2</sub> v atmosféře, jakožto hlavní činitel skleníkového efektu, má výrazný podíl na rychlosti fotosyntézy, což v důsledku ovlivňuje další životní procesy dřevin, mimo jiné i jejich rozmnožovací strategie. Na faktory prostředí jsou většinou navázané důležité reprodukční procesy jako rašení pupenů, kvetení nebo tvorba a klíčení semen. Právě produkce semen silně souvisí s přirozenou obnovou lesních porostů a jejich budoucí struktura. Bylo např. zjištěno, že borovice kadidlová (*Pinus tadea*) v korelaci s vyššími hodnotami CO<sub>2</sub> v atmosféře dokázala rapidně zvýšit svoji semennou produkci. Je ale nutno předpokládat, že na klimatickou změnu budou různé dřevinné druhy reagovat různými způsoby. Výsledkem klimatické změny by tak mohly být výrazné změny v druhové skladbě, související se změnami v konkurenceschopnosti jednotlivých druhů. Klimatická změna tak může mít výrazné důsledky ve vývoji lesů a pro plnění jejich funkcí. Z tohoto důvodu je důležité klimatické změně ve vztahu k lesním porostům věnovat dostatečné množství pozornosti a zjišťovat, jak konkrétně ovlivní růst a vývoj lesů (van der Meer, Jorritsma, Kramer 2002).

### 6.1 Změny v jarní fenologii

Rostliny využívají sezónních změn prostředí pro načasování různých aktivit. Kvůli probíhající změně klimatu můžeme např. pozorovat dřívější zelenání travnatých ploch nebo dřívější jarní kvetení. Během sledování délky vegetační sezóny od 60. let 20. století do konce 20. století bylo zjištěno prodloužení vegetační doby o 11 dní, přičemž počet dní tohoto období byl navýšen převážně dřívějším rašením listů na jaře nežli pozdějším stárnutím listů (Vitasse et al. 2011). Data o fenologických projevech mohou posloužit jako důkazy vlivu klimatické změny na reprodukční, ale i ostatní životní procesy rostlin (Cleland et al. 2007).

Fenologická sezónní aktivita je velice důležitá nejen pro populace jednotlivých druhů, ale i pro strukturu celých ekosystémů. Načasování střídání vegetativní a reprodukční fáze má zásadní význam pro tvorbu semen a nové generace. Pokud by např. došlo k posunu doby

kvetení jednoho druhu, kvůli čemuž by se toto období překrývalo s dobou kvetení jiného druhu, nastal by výrazný nárůst konkurence vzhledem k přilákávání opylovačů. Takováto změna by mohla přinést změny v druhové skladbě porostů. Načasování ročního začátku růstu dále ovlivňuje délku vegetačního období, což určuje množství navázaného uhlíku v průběhu růstu (Cleland et al. 2007).

Pro sledování fenologických projevů vědci využívají sledování na úrovni druhů, satelitního dálkového průzkumu, sledování produkce ekosystémů a sledování hodnot koncentrace oxidu uhličitého v atmosféře. Díky datům o koncentraci CO<sub>2</sub> mohou lépe odhadnout kdy rostliny přijímají jaké množství uhlíku, tedy jak rychle probíhá fotosyntéza.

Zásadními činiteli pro změny v aktivitě rostlin je teplota a délka fotoperiody (Cleland et al. 2007). Převážně teplota je hlavním faktorem ovlivňujícím biologické procesy rostlin, přičemž s rostoucí teplotou většinou dochází k zrychlování chemických reakcí v rostlinách způsobující rychlejší posun ve vývoji. Druhým nejdůležitějším spouštěčem jarních fenologických fází je fotoperioda, ačkoliv váha tohoto faktoru se mezi druhy liší. Oproti tomu vliv srážek, dostupnost živin a fyzikální vlastnosti půdy v jarním období mají podle získaných dat na fenologii minimální vliv.

Během experimentálního výzkumu na sazenicích různých druhů dřevin bylo zjištěno, že samotná koncentrace CO<sub>2</sub> v ovzduší nemá na fenologické projevy téměř žádný vliv. Množství oxidu uhličitého v podstatě působí spíše na sekundární úrovni, jako zrychlení procesů fotosyntézy a přispívání k tvorbě skleníkového efektu. Bohužel momentálně nevíme jistě jestli by se výsledky nelišily, pokud by výzkum byl prováděn na dospělých jedincích (Badeck et al. 2004). Hlavní potíží při výzkumu vlivu klimatické změny na reprodukční procesy lesních dřevin je potřeba zajistit řízené prostředí okolo stromů v reprodukčním věku, kde bychom mohli ovlivňovat hladinu CO<sub>2</sub>. To je zároveň hlavním důvodem proč současné poznatky stále nejsou kompletní (Thapliyal 2009).

Změny v jarní fenologii rostlin jsou významné kvůli jejich vlivu na interakci rostlin s herbivory, opylovači nebo predátory semen. Dále změny v nástupu vegetační sezóny ovlivňují samotné shromažďování zdrojů pro růst a reprodukci nebo nutnost odolávat pozdním jarním mrazům (Inouye 2022).

## **6.2 Synchronizace kvetení s opylovači**

Jak už bylo výše zmíněno, fenologické projevy jsou periodické události v životním cyklu organismů. Jejich závislost je převážně na teplotě, délce fotoperiody a dalších faktorech,

přičemž některé z nich jsou značně ovlivňovány probíhající změnou klimatu. V souvislosti s těmito změnami byl pozorován posun fenologických projevů u mnoha druhů rostlin. Díky těmto poznatkům se nabízí otázka, zda tento posun bude mít vliv, a pokud ano, tak v jaké míře, na interakce s druhy potřebnými k zprostředkování opylení (Freimuth et al. 2022). Pokud by došlo ke změnám v období kvetení rostlin nebo v letové aktivitě opylování zprostředkujícího hmyzu, tak by výsledkem mohla být snížená interakce mezi těmito organismy. Mimo fenologické faktory mohou k přerušení synchronizace přispět i další faktory. Jedním takovým je např. sucho. Kvůli nedostatku vody, rostliny nejsou schopné vytvořit větší množství květů a dále produkovat dostatečné množství nektaru pro přilákání opylovačů. Rostliny pak nemají dostatečnou míru přenosu pylu pro udržení stabilní populace a opylovači jsou negativně ovlivněni nedostatkem zdrojů v podobě nektaru (Forrest 2015). Doposud prováděné studie se bohužel liší ve výsledcích ohledně nesouladu ve vývoji hmyzu a rostlin. Podle některých výsledků se opylovači přizpůsobují klimatické změně o něco rychleji než rostliny, kvůli čemuž se jejich synchronizace narušuje. Jiné studie tvrdí, že jak rostliny, tak opylovači postupují se změnami přibližně stejnou rychlostí, a tak jejich vývoj zůstává stejný. Část studií dokonce došlo k závěru, že se vztahy mezi rostlinami a opylovači stávají ještě více synchronní. Můžeme tak říci, že problém se synchronizací vývoje hmyzu a jarní fenologií dřevin nelze považovat za obecný, ale je spíše spojený s konkrétními druhy. Bylo např. zjištěno, že vývoj motýlů se pod vlivem změn, vůči rostlinám, které opylují, urychlil. Oproti tomu u druhů rostlin opylovanými včelami dochází k rychlejšímu nástupu jarních procesů nežli u jejich včelích opylovačů (Freimuth et al. 2022). Nesoulad mezi životními cykly rostlin a opylujícího hmyzu přináší nepříznivé výsledky jak pro hmyz, tak pro rostliny. Pro hmyz to může být nižší míra přežití, nižší zdatnost nebo vyšší náchylnost k napadení parazity. S tím souvisí změny ve velikosti těla, demografické rozmístění populací nebo změna poměru pohlaví v populacích, ústící v celkové snížení životaschopnosti populací. U rostlin problém spočívá ve snížení hodnoty fitness napříč populacemi, nižší produkci semen a celkově ztíženém přežívání populací (Freimuth et al. 2022).

### **6.3 Úbytek opylovačů**

V současné době byl zaznamenán úbytek hmyzích opylovačů. Příčin pro vysvětlení jejich úbytku je hned několik, avšak všechny spojuje globální charakter. Jsou jimi změny klimatu, změny v charakteru krajiny, intenzifikace zemědělství, přítomnost nepůvodních druhů a šíření

patogenů, přičemž mnohdy dochází k jejich kombinaci. Každý ze zmíněných globálních tlaků na opylovače působí v rozdílném měřítku a v různých úrovních, a to od úrovně populační až po celé ekosystémy. Je nutné doplnit, že vztah mezi enviromentálními změnami a populacemi opylovačů není ve většině případů vzájemný. Tzn. že změny prostředí určují rozšíření druhů opylovačů, ale opylovači nemají téměř nikdy vliv na rozsah enviromentálních změn (González-Varo et al. 2013).

Pokud se zaměříme pouze na tlaky způsobené klimatickou změnou, tak můžeme předpokládat, že hlavním hrozbou pro druhy hmyzích opylovačů by mohl být nesoulad mezi jejich vývojem a kvetením dřevin v jarním období, způsobený proměnami v sezónnosti počasí. Takto vzniklý nesoulad by pro opylovače znamenal nedostatek potravy a pro dřevin nedostatečný přenos pylu pro úspěšnou reprodukci. Změny v klimatu by tak mohly mít na některé druhy opylovačů fatální důsledky, obzvláště v případech, kdy se jedná o vysoce specializované druhy. Obecně lze říci, že polyfágní druhy mají vyšší šanci na přežití nastupujících změn klimatu, z důvodu širšího spektra, kde potravu shánět. Z tohoto důvodu se v budoucnu očekávají změny ve složení společenstevch v podobě převahy generalistických druhů (González-Varo et al. 2013).

## **6.4 Polinační kapka**

Většina nahosemenných dřevin využívá pro přenos svého pylu vítr. Pro usnadnění opylení a oplodnění dopomáhá u těchto dřevin takzvaná Polinační kapka. Jedná se o sekret produkovaný pohlavními orgány na bázi vody v kombinaci s nízkým obsahem cukrů. Je nutné, aby složení této tekutiny nelákalo ani neulpívalo na případných hmyzích opylovačích. Hlavním účelem této tekutiny je chránit mikrogametofyt a dopomáhat při oplození (Mao et al. 2022).

Podle provedených studií zaměřených na vliv teplotního stresu bylo zjištěno, že teplotní stres může omezit produkci potřebných exsudátů a jejich dostatečnou dostupnost pro pylová zrna, aby mohla bez potíží vyklíčit (Hedhly 2011).

## **6.5 Změny ve frekvenci semenných let**

Lesní dřeviny vykazují značné meziroční výkyvy v produkci semen. Zatímco v některých rocích produkce semen dosahuje extrémních hodnot, jindy nemusí probíhat téměř žádná. Roky, kdy dochází k nadprůměrné úrodě semen nazýváme semenné roky. Mezi těmito roky je

však možná přítomnost let, kdy dochází k meziprodukcí. Z tohoto důvodu je občas u některých dřevin složité určit, zda se jedná o semenný rok, nebo ne.

Strategie semenných let se pravděpodobně vyvinula jakožto opatření proti predátorům živícím se semeny. Zároveň při této strategii mohou dřeviny dosahovat větší úspěšnosti při přenosu pylu nebo rozptylu semen. Pozoruhodná je synchronizace v semenných letech mezi jedinci v porostu, která často prostupuje i mezi různými druhy dřevin naráz (Wesołowski, Rowiński, Maziarz 2014).

Výsledky studie prováděné po 40 let na populacích buku lesního (*Fagus sylvatica*) přinesly výsledky prokazující, že strategie semenných let ve vztahu k predátorům semen a opylovačům podporovala v populacích ty jedince kteří vykazovali vyšší meziroční variabilitu v produkci semen. Z těchto výsledků tedy vyplývá že v dlouhodobém horizontu by pod vlivem selekce mohlo dojít ke zvýšení fitness uvnitř populací, které doposud vlivem klimatické změny spíše klesalo. Selekcce je však jevem dlouhodobým, oproti tomu u klimatické změny se předpokládá, že bude mít výrazně kratší průběh, tudíž v řádu následujících několika desetiletí se předpokládá spíše snížení úspěšnosti reprodukce u lesních dřevin. Důvodem je klimatickou změnou zapříčiněná nižší variabilita v meziroční semenné produkci, tzn. že dřeviny produkují spíše vyrovnané množství semen namísto výraznějších výkyvů. V důsledku pak ve větší míře podléhají predačnímu tlaku a mají menší šanci na úspěšnou reprodukci (Bogdziewicz et al. 2020).

Jak již bylo zmíněno výše, při střídání semenných let u lesních dřevin dochází mezi jednotlivci k synchronizaci. Tato synchronizace v semenné produkci může probíhat na úrovni populací, ale i celých kontinentů. V rámci studií se většinou pracuje s měřítky v rámci lokality a nad rámec lokality. Při posuzování synchronizace se vychází z korelace výše produkce semen sousedících stromů v rámci studijní plochy. Předpokládá se, že v budoucnu klimatická změna zasáhne do synchronnosti jak na lokální, tak širší škále.

Na lokální úrovni se změny mohou projevit v důsledku lokálních výkyvů počasí společně s dlouhodobým růstem teploty. Právě oteplování může narušit citlivost dřevin na povětrnostní podněty regulující individuální variabilitu, a tedy i synchronii. Studium synchronie semenných let ve větším měřítku je velice obtížné, jelikož je třeba získat velké množství dat o výkyvech počasí a úrodě semen ve velkém geografickém rozsahu. Proto je tato část výzkumu doposud málo prozkoumána (Hackett-Pain, Bogdziewicz 2021).

Vzhledem ke spojení výše úrody semen s projevy počasí se nabízí otázka, zda klimatická změna ovlivňuje délku období mezi semennými roky a jejich intenzitu. Z tohoto důvodu proběhl výzkum, kdy byla analyzována klimatická data v rozmezí let 1900–2014. Studie byla



zaměřena jak na jehličnaté, tak na listnaté dřeviny po celém světě. Cílem bylo zjistit, zda se v průběhu let zvyšoval variační koeficient produkce semen v souvislosti s klimatickými daty. Obecně tento výzkum přinesl poznání, že dřeviny, které doposud využívaly strategie semenných let prokazovali větší variabilitu ve střídání produkčně bohatších a chudších let. Výraznější výkyvy byly zjištěny zejména u druhů, na které jsou navázány živočišné populace. Výkyvy v produkci semen tak nemají vliv pouze na populace dřevin, ale na celý ekosystém (Pearse 2017).

Míra variability se mezi různými druhy značně liší. Některé druhy vykazují v závislosti na počasí a dostupnosti zdrojů větší výkyvy v produkci semen nežli jiné, které jsou v produkci prakticky stabilní. Na základě těchto poznatků můžeme předpokládat, že právě dřeviny náchylnější k výkyvům budou i více zasaženy probíhající změnou klimatu (Pearse 2017). Co se týče frekvence střídání semenných let, tak nejvíce provedených studií se zaměřuje na evropské populace buku lesního (*F. sylvatica*). Několik těchto výzkumů potvrdilo zvýšení frekvence ve střídání semenných let v posledních několika dekádách korelujícího se růstem teploty zapříčiněným globálním oteplováním. Výsledky výzkumu tvrdí, že k semenným rokům v bukových porostech ve Švédsku docházelo průměrně po 2,5 letech. Při porovnání s daty z předešlých 3 století bylo zjištěno, že v minulosti se semenné roky opakovaly v intervalu 4,1-6 let. Podobné změny byly evidovány i v dalších evropských státech jako např. Německo, Švýcarsko nebo Spojené království. Naproti tomu u druhů dubů (*Q. petraea*, *Q. robur*) nebo jedle bělokoré (*Abies alba*) nebyly zaznamenány žádné výrazné změny v délce frekvence semenných let (Hacket-Pain, Bogdziewicz 2021).

## 6.6 Změny v dormanci a klíčení semen

V základě můžeme semena rozdělit na dormantní a nedormantní. Nedormantní semena nepotřebují žádný čas navíc a po svém rozptýlení jsou schopna okamžitě klíčit. U dormantních semen je nutné, aby prošly určitými teplotními a vlhkostními změnami a překonaly fyziologický blok bránící předčasnému klíčení. Pro řízení dormance a klíčení semen jsou z podmínek prostředí nejzásadnější teplota a přísun vody. Vyklíčení rozptýlených semen tak často bývá závislé na sezónních podmínkách počasí. Pod vlivem klimatické změny dochází ke změnám u těchto stěžejních podmínek, což vyústí uje k posunu nebo úplnému zastavení fyziologických procesů uvnitř semen. Kvůli změnám teplot a srážkových úhrnů v určitém období tak může docházet ke snížení životnosti semen, potížím s uvolňováním dormance a následným klíčením, nebo k nižší odolnosti semen vůči patogenům.

S postupujícím globálním oteplováním by na některých stanovištích v budoucnu nemuselo být potřebné období ochlazení dostatečně dlouhé nebo intenzivní a dormantní semena by tak měla potíže zahájit klíčení. Případné důsledky by pak pravděpodobně nezasahovaly pouze úroveň jedinců, ale potenciálně celé populace a společenstva (WALCK et al. 2011).

## **6.7 Vliv teploty na vývoj samčího a samičího gametofytu**

Růst teploty na Zemi na rostliny působí v mnoha směrech. Období reprodukce je však obzvláště citlivé. Studie prováděné jak na zemědělských plodinách, ovocných stromech tak na lesních dřevinách přinesly výsledky vypovídající, že i nepatrné zvýšení teploty v průběhu kvetení přineslo negativní reakci při nasazování plodů. Dále podle provedených výzkumů bylo zjištěno, že teplotní výkyvy mohou mít vliv na vývoj samčího a samičího gametofytu, a tak ovlivňovat i následnou semennou a plodovou produkci (Hedhly 2011).

Uvádí se, že pyl je citlivý na výši teploty již od období svého vývoje až po oplození na blizně. Během vývojové fáze mohou jak příliš vysoké, tak příliš nízké teploty u vznikajícího pylu vést k pylové sterilitě navzdory tomu, že vzniklý pyl je životaschopný. Zvyšující se podíl sterilního pylu, vzniklého v důsledku teplotních výkyvů, by mohl vysvětlovat sníženou semennou a plodovou produkci u pozorovaných rostlin (Hedhly 2011).

Pestík jakožto mateřská tkáň sporofytu, byl doposud obecně považován za méně citlivý na teplotní změny oproti samčím částem. Studií, které věnují pozornost vlivu teplotního stresu na pestík však přibývá. Výsledky těchto studií přináší poznání, že teplotní stres má vliv na vývoj pestíku, embryonálního vaku a na jejich funkci jak před, tak i po opylení. V průběhu studií byly při mírném zvýšení teploty pozorovány změny v délce pestíku a abnormality ve vývoji semeníku. Dále byl potvrzen i vliv teplotního stresu chladem (Hedhly 2011).

## **6.8 Změny v rozměrech a rozmístění areálů**

Mechanismus geografického pohybu rostlinných populací spočívá v rozptylu semen a jejich uchycení v místech s příznivějšími podmínkami, zatímco mateřské rostliny na nepříznivých stanovištích hynou (Corlett, Westcott 2013). Pozitivním aspektem této strategie konkrétně u dřevin je schopnost udržet si, navzdory nepříznivým podmínkám, téměř neporušenou genetickou variabilitu uvnitř populací. Podle studií se totiž v populacích lesních dřevin většina genetické rozmanitosti pohybuje na úrovni jedinců uvnitř jedné populace nežli na

úrovni mezipopulační, a tak i v případě vymření velké části populace si přeživší udrží značnou část genetické rozmanitosti (Hamrick 2004).

Na základě dosavadních pozorování víme že nejčastějšími směry posunu areálů dřevin bývají buďto směrem k pólům nebo vertikálně do vyšších nadmořských výšek. Obecně bychom mohli říct, že rostliny se s rostoucí teplotou z jejich původních lokalit stěhují do míst s nižší teplotou bližší jejich přirozenému areálu. Mimo tyto očekávané směry migrace byly zaznamenány i směry posunu na východ či západ, nebo v některých případech dokonce k nižším nadmořským výškám (Lenoir, Svenning 2015).

Díky palynologickým výzkumům dnes máme představu o tom, jak během historie jednotlivé taxony měnily své geografické rozšíření v souvislosti se střídáním teplejších a chladnějších období. Na základě těchto poznatků víme, že v minulosti dřeviny běžně reagovaly na probíhající změny klimatu právě změnou ve velikosti nebo posunem svého areálu do oblastí s příznivějšími podmínkami. Zároveň bylo zjištěno, že v průběhu změny areálu docházelo u některých taxonů také ke genetickým adaptacím na nové podmínky (Davis, Shaw 2001).

Díky poznatkům, potvrzujícím historickou změnu areálů jako běžnou reakci na změnu klimatu dnes můžeme předpokládat, že v situaci současné globální klimatické změny tyto posuny nastanou taktéž (Davis, Shaw 2001). V současné době však teplota na Zemi roste znatelně rychlejším tempem, nežli tomu bylo v předešlých případech. Z tohoto důvodu se nabízí otázka, zda současné dřeviny budou schopné držet tempo s probíhajícími změnami a dostatečně rychle přesouvat svá stanoviště a současně se adaptovat na nové podmínky. V případech, kdy by tomu tak nebylo by mohlo dojít k vymírání některých rostlinných druhů (Corlett, Westcott 2013).

## **6.9 Vliv teploty na jednotlivá pohlaví dvoudomých dřevin**

Tvorba a růst pohlavních orgánů u dvoudomých rostlin není podmíněn pouze genetikou, ale svůj podíl na určení pohlaví rostliny mají i faktory prostředí (Chailakhyan, Khrianin 1987). Pro druhy, pro které jsou klimatické podmínky určujícím faktorem pro determinaci jejich pohlaví, tak klimatická změna může znamenat značné riziko. Kvůli probíhajícím změnám, týkajícím se převážně teploty, by totiž mohlo dojít k vychýlení poměru mezi pohlavími, což by mohlo mít v následek až vymizení druhu (Mitchell, Janzen 2010).

Například probíhající nárůst sucha tak může pro určité druhy znamenat značnou hrozbu.

V proběhlém výzkumu bylo např. zjištěno, že až u 50 % studovaných druhů vznikla výchylka v poměru pohlaví, převážně ve prospěch samců, a to hlavně na nepříznivých stanovištích.

Toto vychýlení ve prospěch samců je typické pro stromy a liány, ale např. u bylin a keřů se

téměř nevyskytuje. V případech, kdy naopak dojde k vychýlení poměru pohlaví směrem k samicím, hrozí nárůst klonů v populaci, z důvodu nedostatku pylu od samčích jedinců pro provedení pohlavního rozmnožování (Hultine et al. 2016).

Další překážkou, které dvoudomé rostliny čelí v důsledku klimatické změny je prostorová segregace jednotlivých pohlaví. Rostliny jednoho pohlaví totiž často mívají jiné stanovištní nároky nežli jedinci druhého pohlaví. Například probíhající nárůst sucha tak může pro určité druhy znamenat značnou hrozbu (Hultine et al. 2016).

Jaký konkrétní dopad by mohla klimatická změna mít na dvoudomé dřeviny záleží na tom, jakou část jejich života zasáhne. Např. změny prostředí ovlivňující distribuci semen, kvůli prostorovému rozdělení jednotlivých pohlaví jsou obecně pro populace méně závažné nežli změny vedoucí k nárůstu mortality u jednoho z pohlaví z důvodu snížené odolnosti na nedostatek zdrojů (Hultine et al. 2016).

## **6.10 Vliv požárů na semennou produkci**

Spolu s dlouhodobě zvyšujícími se teplotami a stále větším suchem roste i riziko vzniku lesních požárů. Předpokládá se, že lesní požáry by mohli mít vliv na produkci semen, klíčení, růst a přežívání semenáčků, a tak znatelně zasáhnout do obnovy lesů (Boucher et al. 2019). Během proběhlých výzkumů bylo zjištěno, že požár měl negativní vliv na výši produkce životaschopných semen. Do 4 let po požáru však došlo k srovnání produkce zpět do stavu před vychýlením. Na základě těchto poznatků, tak lze říci, že lesní požáry mají na reprodukci spíše krátkodobý negativní vliv, avšak pokud by jejich frekvence byla příliš častá, mohlo by se jednat o značnou překážku (Alinari et al. 2024).

Dále bylo zjištěno, že vlivem požáru se schopnost semenné produkce zhoršovala spolu s nadmořskou výškou. Zatímco v nižších polohách se v letech po vzniku požáru produkce semen snížila přibližně šestkrát, tak ve vysokých nadmořských výškách došlo ke snížení až patnáctkrát. Pravděpodobně tomu tak je proto, že stromy po zásahu požárem potřebují využít dostupné zdroje pro svou regeneraci a na reprodukci jednoduše nezbude energie. V horských oblastech kvůli stresujícím stanovištním podmínkám je regenerace pro porosty o to složitější, čímž můžeme vysvětlit výše zmíněný hlubší propad v semenné produkci (Alinari et al. 2024). Dalším kritériem pro určení narušení reprodukce požárem je velikost stromů. Jedinci větších objemů jsou schopni uchovávat větší množství podzemních zásob, využitelných pro popožárovou obnovu nežli menší jedinci. Díky těmto zásobám jsou schopni zregenerovat rychleji a obnovit reprodukční schopnost (Alinari et al. 2024).

## 6.11 Škůdci generativních orgánů

Mění se podmínky prostředí společně s rostlinami ovlivňují i druhy na ně navázané. V tomto ohledu může být zajímavá skupina škůdců, jelikož jejich působení může mít v důsledek nejen škody na populacích, ale i ekonomické ztráty (Lindström, Lehmann 2015). Vzhledem k prodlužujícímu se vegetačnímu období spojenému s časnějším nástupem mají různé druhy hmyzu k dispozici více času pro svůj vývoj a růst jara (za předpokladu, že bude dostupná i jejich potrava). Změny klimatu by tak mohli přinést posun v délce reprodukčního období, délku vývoje apod. Důsledkem by mohl být nárůst populací škůdců nebo změna a rozšířením jejich areálu (Lindström, Lehmann 2015).

Během výzkumu sledujícího rozšiřování areálu různých druhů hmyzu bylo zjištěno, že druhy hmyzu, jež řadíme mezi škůdce, byli schopni se šířit značně rychleji nežli druhy ostatní (Lindström, Lehmann 2015).

Pokud se zaměříme na škůdce poškozující generativní orgány dřevin, tak se jako zajímavý zástupce nabízí květopas jabloňový (*Anthonomus pomorum*). Tento druh je významným škůdcem v evropských jabloňových sadech, kde jeho význam nabyl v souvislosti s ústupem od používání širokospektrých insekticidních přípravků na ovocné dřeviny. Zajímavým aspektem životního cyklu květopasů je poměrně dlouhé období přezimování. Jedinci toto období zahajují již počátkem léta a trvá do časného jara, kdy podmínkou pro zahájení sezónní aktivity je teplota vyšší než 6 °C. Jejich aktivní období je tak úzce spjata s dobou vývoje pupenů květů jabloní, kterými se živí do stádia své pohlavní dospělosti. Následně do těchto pupenů samice kladou vajíčka, což má v následek sterilitu květů, způsobující ztráty na úrodě (Toepfer, Gu, Dorn 2000).

Studie, sledující vývojová stádia květopasa jabloňového na jabloňových stromech v Rusku během let 2016-2019, přinesla výsledky popisující změny spojené s oteplením klimatu. Hlavním důsledkem narůstající teploty bylo pozorováno zkratění období jednotlivých vývojových stádií. Sledování proměn ve vývojových procesech larev bude v budoucnu důležité pro odhadnutí doby pro zahájení obranných opatření a vyhnutím se možným škodám (Popov, Dmitrieva 2022).

## 6.12 Omezení generativního rozmnožování rostlin

Teplota je jedním z nejdůležitějších faktorů prostředí pro ovlivnění jak vegetativního růstu, tak reprodukce rostlin. Obecně platí, že s nízkou teplotou se snižuje aktivita enzymů, buněčné

dělení a fotosyntetická aktivita. Reakce rostlin na vyšší sezónní teploty je stále předmětem mnoha studií. Díky doposud provedeným výzkumům vlivu teploty na reprodukci rostlin dnes máme data o tom, jak postupný nárůst teploty na Zemi s důsledkem posunů v jarní fenologii ovlivňuje reprodukční procesy rostlin (Sunmonu, Kudo 2015).

Podle provedených výzkumů bylo např. zjištěno, že pod vlivem vysokých teplot (30 °C) bylo silně potlačeno klíčení pylových zrn. Obecně při vysokých teplotách došlo během pozorování k snížení semenné produkce sledovaných rostlin. Na základě těchto výsledků můžeme v budoucnu předpokládat, že rostliny by v budoucnu mohly mít potíže v provádění pohlavního rozmnožování (Sunmonu, Kudo 2015).

Vzhledem k procesu potlačování generativní reprodukce, způsobenému klimatickou změnou, má potenciál získávání sadebního materiálu vegetativní cestou. Příkladem využití vegetativního množení v praxi mohou být hlavové školky. Hlavové školky, jsou zařízení, kde je na topolových nebo vrbových hlavách pěstován bezkořený sadební materiál (Mauer 2009). Na našem území se doposud nachází pouze jediná hlavová školka, a to ve VS Kunovice. Pro komerční účely zatím hlavovou školku v České republice nikdo neprovozuje. V současné době se tak jedná o spíše experimentální způsob získávání sadebního materiálu. (ústní sdělení Jana Kostelníková)

### **6.13 Množení dřevin metodou In vitro**

V současné době se celosvětově rozmáhá způsob pěstování sazenic in vitro. S rozvojem techniky molekulárního a genetického inženýrství, je dnes možné za využití metod tkáňových kultur dosahovat zalesnění rychlejším způsobem a snáze tak dosahovat požadovaného množství produkce biomasy nebo lesních produktů (Vengadesan et al. 2002).

Dále rozmnožování pomocí metodou In vitro přináší možnost, jak zachovat a úspěšně rozmnožovat vzácné druhy, u kterých je generativní způsob množení složitý anebo méně úspěšný (Pijut et al. 2012).

Ze všech možných metod vegetativního množení je pro komerční využití nejlépe využitelná metoda řízkování a somatické embryogeneze nebo jejich kombinace (Lelu-Walter et al. 2013).

Ačkoliv by se mohlo zdát, že rozmnožování pomocí klonů by mohlo vést k nepřírodným plantážovým porostům s nízkou variabilitou, nemusí tomu tak nutně být. Bylo zjištěno, že v přírodě se přirozeně vyskytují klonální populace druhů jako např. *Populus tremuloides* nebo *Picea mariana*, přičemž jsou přirozené a udržitelné (Lelu-Walter et al. 2013).

Vzhledem k probíhající klimatické změně, kdy dochází k změnám v semenné produkci (Hacket-Pain, Bogdziewicz 2021) nebo k jevům znemožňujícím dostatečnou zimní dormanci semen (WALCK et al. 2011) by mohlo rozmnožování pomocí metody In vitro přinést mnoho výhod v produkci sadebního materiálu a zakládání nových lesních porostů.

## **6.14 Vliv klimatické změny na porosty v tropických oblastech**

Projevy současné změny klimatu znatelně ovlivňují lesní ekosystémy po celém světě. Změny můžeme pozorovat jak na úrovni struktury porostů, tak na jejich druhovém složení nebo fenologii. Tyto hrozby se nevyhýbají ani tropickým lesům (Deb et al. 2018).

Tropické porosty jsou jedním z nejrozmanitějších ekosystémů na Zemi. Bohužel však v současné době podléhají silné degradaci v důsledku odlesňování a zrychlující změny klimatu. Extrémní klimatické jevy jako požáry, cyklóny nebo silná období sucha např. v oblastech Amazonského deštného pralesa vedou k rozsáhlému odumírání a degradaci (Deb et al. 2018).

Jakožto další projev klimatické změny byly pozorovány posuny ve fenologii lesních dřevin, které se negativně podílejí na udržení stability lesních ekosystémů (Deb et al. 2018).

Právě fenologické procesy dřevin jsou úzce závislé na sezónních projevech klimatu. I malé změny prostředí tak mohou mít silné dopady na biologickou rozmanitost a cyklus uhlíku (Lewis, Malhi, Phillips 2004).

Jelikož tropické lesy jsou přirozeně velice druhově rozmanité, je zapotřebí, aby jednotlivé druhy mezi sebou měly úzké niky. Za situace, kdy v důsledku změn podnebí dojde k poklesu nebo vymizení některého ekologicky důležitého druhu, může řetězově dojít k postupné degradaci celého stanoviště (Lewis, Malhi, Phillips 2004).

Neodmyslitelnou součástí degradace tropických lesů je i antropogenní odlesňování.

V důsledku deforestace spojené s probíhající degradací tropických lesů by mohlo dojít k zvýšení obsahu CO<sub>2</sub> v atmosféře, podpoření nárůstu teploty na zemi a depozice dusíku.

Dále dopady mohou postihnout hydrologickou funkci tropických lesů. V případě dlouhodobého úbytku porostů ve spojení se zesílením monzunů by mohlo docházet ke změnám v dostupnosti vody a častějším záplavám (Lewis, Malhi, Phillips 2004).

## 7 Diskuze

### 7.1 Změny v areálech

Jedním ze základních způsobů, jakými se rostliny vypořádávají se změnou přírodních podmínek je migrace na lokality, kde jsou tyto podmínky příznivější. Tato strategie vypořádávání se s klimatickou změnou má hlavní výhodu v minimální ztrátě genetické variability, jelikož tato variabilita se ukrývá převážně uvnitř populací (Hamrick 2004). Nejběžnějšími pozorovanými směry migrace bývá směr k pólům, nebo vertikální migrace do vyšších nadmořských výšek (Lenoir, Svenning 2015).

Mechanismus migrace rostlin spočívá v uchycení semen na nových příznivějších stanovištích, zatímco mateřské rostliny na původní lokalitě hynou. Vzhledem k rychlosti nárůstu teploty na Zemi se nabízí otázka, zda rostliny budou v budoucnu stíhat držet tempo s rychlostí změn na jejich stanovištích. Podle Corlett, Westcott 2013 by lesní dřeviny kvůli jejich dlouhodobému charakteru a dlouhému období před dosáhnutím schopností reprodukce by v budoucnu mohly mít potíže stíhat rychlost změn v jejich areálu. Naopak podle Leech a kol., (2011) asistovaná migrace může rychlost klimatických změn vyrovnat a posílit odolnost, zdraví a produktivity lesních ekosystémů (Leech, Almuedo, O'Neill 2011).

U dvoudomých dřevin faktor migrace hraje roli na dalších úrovních. U některých dvoudomých druhů byly pozorovány rozdílné stanovištní nároky, což může vést ke strádání jednoho pohlaví, zatímco druhé na původním stanovišti dále prosperuje. V důsledku tohoto by mohlo dojít k prostorové segregaci jednotlivých pohlaví, což by snížilo účinnost nebo úplně znemožnilo reprodukci.

Další hrozbou pro dvoudomé druhy je vychýlení poměru pohlaví v důsledku podmínek v průběhu vývoje jedinců. Konkrétně pro druhy stromů bývá typická výchylka směrem k samčí části populace. Podle Hultine et al. 2016 je vychýlení poměru směrem k samcům méně závažné nežli v opačném případě. Pokud by totiž poměr vzrostl na straně samic, důsledkem by bylo potlačení pohlavního rozmnožování vedoucí k nárůstu klonů v populaci. Výsledné populace by tak byly méně geneticky variabilní, tzn. i méně odolné dalším změnám (Hultine et al. 2016).



## 7.2 Kvetení a opylování

Pro načasování různých životních procesů hrají pro rostliny zásadní roli sezónní projevy klimatu. Probíhající klimatická změna má v důsledek posuny některých těchto projevů, zejména dřívější jarní oteplení vyústující v dřívější nástup vegetativního období a kvetení (Cleland et al. 2007). Tyto posuny přináší rostlinám hrozby např. v podobě odolávání mrazu při brzkém nasazování květů. Zároveň dochází k desynchronizaci vývoje květů se symbiotickými druhy opylovačů, snižující efektivitu pohlavního rozmnožování (Inouye 2022).

Zároveň v důsledku výše zmíněných posunů v jarní fenologii v současné době prokazatelně dochází k úbytku opylujícího hmyzu (González-Varo et al. 2013). Existuje hypotéza tvrdící že problém s posunem fenologických projevů rostlin a vývojem opylovačů by mohly vyřešit invazivní rostliny. Ačkoliv přítomnost těchto nepůvodních druhů vytváří pro ekosystémy samostatný problém, mohli by tyto druhy fungovat jako přísun potravy pro opylovače v obdobích, kdy původní druhy nejsou dostupné, a tak tlumit nesoulad mezi opylovači a rostlinami. U mnohých rostlin pocházejících z teplejších oblastí byla zjištěna poměrně vysoká tolerance k širokému spektru klimatických podmínek. Tyto rostliny by tak mohly vyplnit mezery v čase, kdy původní rostliny ještě nejsou schopné poskytovat opylovačům potřebnou potravu. Na druhou stranu nepůvodní druhy rostlin mají i svá úskalí. Nepůvodní druhy často disponují výraznějšími květy nežli původní druhy a společně s jejich invazivním charakterem často zabírají podstatnou část životního prostoru původních druhů, což jim ve výsledku zajišťuje větší pozornosti hmyzích opylovačů. Invazivní druhy tak mohou přes své výhody pro hmyz představovat existenční hrozbu pro původní rostlinné druhy (González-Varo et al. 2013).

## 7.3 Semenná produkce

Studie zabývající se frekvencí semenných let se často ve výsledcích rozcházejí. Zatímco některé výsledky dokazují zkrácení frekvence mezi semennými roky v korelaci s růstem teploty na stanovištích, pozorování v rámci totožné studie na jiných lokalitách nezaznamenaly téměř žádné výkyvy.

Podle hypotézy omezených zdrojů by ke střídání semenných let mělo docházet v závislosti na podmínkách prostředí v určitých obdobích. Což by v průběhu klimatické změny mělo do budoucna přinést znatelné změny. Podle Hackett-Pain, Bogdziewicz 2021 se můžeme

domnívat, že na klimatickou změnu budou jednotlivé dřeviny pravděpodobně reagovat každá jiným způsobem a že tato reakce bude dále podmíněna podmínkami konkrétního stanoviště. Z tohoto důvodu a také z důvodu prozatím krátké doby výzkumu, prozatím můžeme říci, že změny frekvence ve vztahu ke změně klimatu určitě probíhají, ale prozatím nelze vyvodit obecný závěr jakým způsobem (Hacket-Pain, Bogdziewicz 2021).

Výzkumy zaměřené na meziroční variabilitu semenné produkce přinesly výsledky vypovídající, že v průběhu klimatických změn tato variabilita klesá. Tzn. že dřeviny každoročně produkují spíše vyrovnanější množství semen oproti dříve pozorovaným cyklům semenných roků. Tato změna ve strategii produkce semen by mohla přinést komplikace z hlediska nedostatečného nasycení predátorů semen vedoucímu k nižšímu podílu úspěšně klíčících semen (Bogdziewicz et al. 2020).

Dále se z hlediska semenné produkce očekává pokles v synchronnosti jak na úrovni lokalit, tak i ve větším měřítku. Změny projevů počasí by mohly posunout reprodukční období jednotlivců na lokalitě, a tak vést ke změnám ve struktuře lesních porostů. Sledování proměn v reprodukční synchronii na širší úrovni je velice obtížné z důvodu potřeby obrovského množství dat o výkyvech počasí a úrodě semen ve velkém geografickém rozsahu, tudíž v současné době výzkum tohoto fenoménu není doposud dostatečný (Hacket-Pain, Bogdziewicz 2021).

## **7.4 Škůdci a disturbance**

Na základě získaných výsledků studií můžeme předpokládat, že probíhající klimatická změna by mohla napomoci různým druhům škůdců v rozšiřování jejich areálů. Zároveň měnící se podmínky představují příležitost pro tyto druhy ve smyslu delšího období příznivého pro jejich vývoj. To by v budoucno mohlo vést k nárůstu populací škůdců (Lindström, Lehmann 2015).

Další hrozbu pro lesní porosty v budoucnu představuje riziko častějšího vzniku lesních požárů. Epizody horkého počasí vedoucí k dlouhým obdobím sucha pravděpodobně v budoucnu silně přispějí k častějším událostem poškození lesů ohněm (Boucher et al. 2019). Nedostatek srážek společně s teplotním stresem navíc zhorší schopnost porostů regenerovat po disturbancích. Z důvodu nedostupnosti zdrojů dřeviny budou pravděpodobně regenerovat déle a v průběhu nebudou mít dostatek zdrojů pro semennou produkci což přispěje ke zpomalení obnovy stanovišť (Alinari et al. 2024). Na druhou stranu lesní požáry na některých stanovištích s sebou přináší i jistý soubor benefitů. Např. některé druhy borovic

severoamerických porostů potřebují vysoké teploty dosažené pomocí požárů pro otevření šišek a uvolnění semen. Lesní požáry tak tvoří neodmyslitelnou část jejich reprodukčního cyklu. Další přínos představují spálené zbytky vegetace, které přináší obohacení půdy o živiny sloužící k pozdější podpoře přirozeného zmlazení (Földi, Kuti 2016).

## **7.5 Generativní a vegetativní rozmnožování**

Spojení změn teploty, režimu srážek, změn v jarní fenologii atd. obecně vede ke zhoršení schopnosti rostlin rozmnožovat se generativně (Sunmonu, Kudo 2015). Z tohoto důvodu jsou pro budoucnost zajímavé alternativy v podobě získávání sadebního materiálu vegetativní cestou. Za pomoci množení sazenic metodou In vitro bychom v budoucnu mohli dosahovat dostatečného množství sadebního materiálu pro pokrytí potřeb produkce biomasy i za podmínek probíhající globální změny klimatu (Vengadesan et al. 2002). Nicméně produkce sadebního materiálu metodou In vitro je v dnešní době stále poměrně cenově náročná a pro její realizaci je potřeba speciální prostředí a odborně proškolený personál (Tchoundjeu, Asaah, Atangana 2006).

## 8 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled rozmnožovacích strategií lesních dřevin a změn, kterým musí čelit v důsledku probíhající globální změny klimatu. V první části se věnovala definování způsobům, jenz rostliny využívají pro svou reprodukci. Dále se zaměřila na prezentaci obecných poznatků o globální klimatické změně. Konečně ve třetí části poskytla soubor kapitol představujících některé z hlavních změn zasahujících do reprodukčních procesů lesních dřevin, které mají do budoucna potenciál změnit podobu lesních porostů.

Výsledky rešerše přináší poznatky, jak probíhající klimatická změna působí na reprodukční procesy lesních dřevin z mnoha různých směrů. Výsledky přinesly informace o vlivu brzkého nástupu jara na posuny počátku a délku vegetačního období. V této souvislosti byly zajištěny dopady posunů jarní fenologie na synchronii kvetení dřevin s vývojem jejich hmyzích opylovačů, a jak se toto narušení propisuje do semenné produkce a vývoje populací opylujícího hmyzu.

Při shromažďování informací o produkci semen byla rešerše zaměřena na meziroční variabilitu v produkci semen a na délku frekvence v jaké se případné semenné roky opakují. Výsledky této části přinesli poznání, že změny ve frekvenci semenných let se liší na základě druhu dřevin, ale i podmínek na stanovišti na kterém se porost nachází. Tudíž nelze vyvodit globální závěr jakým způsobem se frekvence proměňuje a záleží spíše na lokálních změnách prostředí. Co se týče variability semenné produkce, tak studie přinesly výsledky vypovídající, že pod vlivem klimatické změny klesá variabilita v produkci mezi jednotlivými roky. Dřeviny podle výzkumu tvořily spíše vyrovnanější množství semen, namísto meziročních výkyvů.

Jakožto další působení klimatické změny byla popsána migrace dřevin mimo svůj přirozený areál za účelem dosažení lokalit s jim příznivějšími podmínkami. Dostupné zdroje nejčastěji popisují směry posunů do vyšších nadmořských výšek nebo směrem k pólům za cílem dosažení dostatečných srážek nebo potřebné teploty pro přežití a prosperitu populací.

Dále práce věnovala kapitolu vlivu klimatických změn na populace hmyzích škůdců a jaká rizika pro obnovu porostů přináší. V neposlední řadě práce popsala možné disturbance ohněm zapříčiněné stále častějšími obdobími sucha a jejich vliv na semennou produkci.

Díky souhrnnému přehledu informací o vlivu globální klimatické změny na reprodukci lesních dřevin si můžeme udělat lepší představu o možných rizicích, která pro současné porosty představuje a budeme se moci lépe zaměřit na způsoby, jak naše lesy ochránit.

## 9 Literatura

- ALINARI, Julieta et al., 2024. Fire effects on the reproductive potential of two dominant woody species along an elevation gradient in central Argentina . *Forest Ecology and Management*. Vol. 560.
- BADECK, Franz-W et al., 2004. Responses of spring phenology to climate change. *New phytologist*. Vol. 162, pp. 295–309.
- BALÁŽOVÁ, Alena et al., 2016. *Rozmnožování z pohledu evoluce: námluvy, sňatky a podvody v říši živočichů a rostlin*. 1. Praha : Academia.
- BICKNELL, Ross A. and KOLTUNOW, Anna M., 2004. Understanding Apomixis: Recent Advances and Remaining Conundrums. *The Plant Cell*. Vol. 16, pp. 228–245.
- BOGDZIEWICZ, Michal et al., 2020. Climate Change Strengthens Selection for Mast Seeding in European Beech. *Current Biology*. Vol. 30, pp. 3477–3483.
- BOUCHER, Dominique et al., 2019. How climate change might affect tree regeneration following fire at northern latitudes: a review. *New forests*. Vol. 51, pp. 543–571.
- BURGHILA, Daniela et al., 2015. CLIMATE CHANGE EFFECTS – WHERE TO NEXT? . *Agriculture and Agricultural Science Procedia*. Vol. 6, pp. 405–412.
- CHAILAKHYAN, M. Kh. and KHRIANIN, V. N., 1987. *Sexuality in Plants and Its Hormonal Regulation*. New York : Springer.
- CHÁVEZ-GARCÍA, Elizabeth and VÁZQUEZ-SANTANA, Sonia, 2012. Morfología floral y embriología de *Begonia gracilis* (Begoniaceae): su relevancia en la monoecia. *Botánica estructural*. Vol. 90.
- CLELAND, Elsa E. et al., 2007. Shifting plant phenology in response to global change. *TRENDS in Ecology and Evolution*. Vol. 22.
- CORLETT, Richard T. and WESTCOTT, David A., 2013. Will plant movements keep up with climate change? *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 28, pp. 482–488.
- DAVIS, Margaret B. and SHAW, Ruth G., 2001. Range Shifts and Adaptive Responses to Quaternary Climate Change. *SCIENCE*. Vol. 292, pp. 673–679.
- DEB, J.C. et al., 2018. CLIMATE CHANGE IMPACTS ON TROPICAL FORESTS: IDENTIFYING RISKS FOR TROPICAL ASIA. *Journal of Tropical Forest Science*. Vol. 30, pp. 182–194.
- ENDO, Hikaru et al., 2021. Vegetative Reproduction Is More Advantageous Than Sexual Reproduction in a Canopy-Forming Clonal Macroalga under Ocean Warming Accompanied by Oligotrophication and Intensive Herbivory. *Plants*. Vol. 12.
- FÖLDI, László and KUTI, Rajmund, 2016. Characteristics of Forest Fires and their Impact on the Environment. *Academic and Applied Research in Military and Public Management Science*. Vol. 15, no. 1, pp. 5–17. DOI 10.32565/aarms.2016.1.1.
- FORREST, Jessica R. K., 2015. Plant – pollinator interactions and phenological change: what can we learn about climate impacts from experiments and observations? . *Oikos*. Vol. 124, pp. 4–13.
- FREIMUTH, Jonas et al., 2022. Climate warming changes synchrony of plants and pollinators. *The Royal Society Publishing*. pp. 1–9.
- GALETTO, Leonardo and BERNARDELLO, Gabriel, 2004. Floral Nectaries, Nectar Production Dynamics and Chemical Composition in Six Ipomoea Species (Convolvulaceae) in Relation to Pollinators . *Annals of Botany*. Vol. 94, no. 2, pp. 269–280.
- GONZA'LEZ-VARO, Juan P. et al., 2013. Combined effects of global change pressures on animal-mediated pollination. *Trends in Ecology & Evolution*. Vol. 28, pp. 524–530.

HACKET-PAIN, Andrew and BOGDZIEWICZ, Michał, 2021. Climate change and plant reproduction: trends and drivers of mast seeding change. *The Royal Society*. Vol. 376.

HAMRICK, J. L., 2004. Response of forest trees to global environmental changes. *Forest Ecology and Management*. Vol. 197, pp. 323–335.

HEDHLY, Afif, 2011. Sensitivity of flowering plant gametophytes to temperature fluctuations. *Environmental and Experimental Botany*. Vol. 74, pp. 9–16.  
DOI 10.1016/j.envexpbot.2011.03.016.

HULTINE, Kevin R. et al., 2016. Climate change perils for dioecious plant species. *NATURE PLANTS*.

INOUE, David W., 2022. Climate change and phenology. *WIREs Clim Change*. pp. 1–17.

KADDO, Jameel R, 2016. *Climate Change: Causes, Effects, and Solutions*. . Parkland.

KHAN, Zulfequar Ahmad, 2012. Climate Change: Cause & Effect. *Journal of Environment and Earth Science* . Vol. 2, pp. 48–53.

KNAUER, A. C. and SCHIESTL, F. P., 2015. Bees use honest floral signals as indicators of reward when visiting flowers. *Ecology Letters*. Vol. 18, pp. 135–143.

KOENIG, Walter D. and KNOPS, Johannes M. H., 2000. Patterns of Annual Seed Production by Northern Hemisphere Trees: A Global Perspective. *The American Naturalist*. Vol. 155.

KOL., 2009. *The Timetree of Life*. New York : Oxford University Press.

KOLTUNOW, Anna M. and GROSSNIKLAUS, Ueli, 2003. APOMIXIS: A Developmental Perspective. *Annual Review of Plant Biology*. Vol. 54, pp. 547–574.

LEECH, Susan March, ALMUEDO, Pedro Lara and O’NEILL, Greg, 2011. Assisted Migration: Adapting forest management to a changing climate . *BC Journal of Ecosystems and Management*. Vol. 12, pp. 18–34.

LELU-WALTER, Marie-Anne et al., 2013. Somatic embryogenesis in forestry with a focus on Europe: state-of-the-art, benefits, challenges and future direction. *Tree Genetics & Genomes*. Vol. 9, pp. 883–899.

LENOIR, J. and SVENNING, J. C., 2015. Climate-related range shifts – a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography*. Vol. 38, pp. 15–28.

LEWIS, Simon L., MALHI, Yadvinder and PHILLIPS, Oliver L., 2004. Fingerprinting the impacts of global change on tropical forests. *The Royal Society*. Vol. 359, pp. 437–462.

LINDSTRÖM, Leena and LEHMANN, Philipp, 2015. Climate Change Effects on Agricultural Insect Pests in Europe. *CABI Climate Change Series*. Vol. 7.

MAO, Danyang et al., 2022. Uncovering the Secrets of Secretory Fluids During the Reproductive Process in Ginkgo biloba. *Critical Reviews in Plant Sciences*. Vol. 41, pp. 161–175.

MAUER, Oldřich, 2009. *ZAKLÁDÁNÍ LESŮ I* . . Brno.

MITCHELL, N. J. and JANZEN, F. J., 2010. Temperature-Dependent Sex Determination and Contemporary Climate Change . *Sexual development*. pp. 129–140.

MUSIL, Ivan and HAMERNÍK, Jan, 2007. *Jehličnaté dřeviny*. 1. Praha : Academia.

NARBONA, Eduardo, DEL VALLE, José C. and WHITTALL, Justen B., 2021. Painting the green canvas: how pigments produce flower colours. *Biochem*. pp. 6–12.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL et al., 2008. *Ecological Impacts of Climate Change*. Washington D. C. : National Academies Press.

PEARSE, Ian S., 2017. Inter-annual variation in seed production has increased over time (1900–2014). *The Royal Society*. Vol. 284.

PIJUT, Paula M. et al., 2012. IN VITRO PROPAGATION OF TROPICAL HARDWOOD TREE SPECIES – A REVIEW (2001-2011). *Propagation of Ornamental Plants*. Vol. 2, pp. 25–51.

- POPOV, S.Ya. and DMITRIEVA, S. V., 2022. Phenology of the Apple Blossom Weevil *Anthonomus pomorum* (L.) (Coleoptera, Curculionidae) on Apple Trees in Moscow against the Backdrop of Global Warming. *Entomologicheskoe Obozrenie*. Vol. 101, pp. 675–690.
- RIEBEEK. HOLLI, 2010. Global Warming. *NASA earth observatory*. . 3 June 2010.
- SATAKE, Akiko and IWASA, Yoh, 2000. Pollen Coupling of Forest Trees: Forming Synchronized and Periodic Reproduction out of Chaos. *Journal of Theoretical Biology*. Vol. 203, pp. 63–84.
- SCHIESTL, Florian P., 2010. The evolution of floral scent and insect chemical communication. *Ecology Letters*. Vol. 13, pp. 643–656.
- ŠENFELDR, Martin and MADĚRA, Petr, 2022. Hřížení smrku v ekotonu horní hranice lesa. *Živa*.
- STEWART, F. C., 2012. *Plant Physiology 7A: A Treatise: Physiology of Development: Plants and Their Reproduction*. Elsevier.
- SUNMONU, Ninuola and KUDO, Gaku, 2015. Warm temperature conditions restrict the sexual reproduction and vegetative growth of the spring ephemeral *Gagea lutea* (Liliaceae). *Plant Ecology*. Vol. 216, no. 10, pp. 1419–1431. DOI 10.1007/s11258-015-0520-6.
- TCHOUNDJEU, Z., ASAAH, E. and ATANGANA, A., 2006. *Methods for vegetative propagation: Theory*. . Nairobi.
- THAPLIYAL, Manisha, 2009. CLIMATE CHANGE AND FECUNDITY OF FOREST TREES. *ENVIS Forestry Bulletin*. Vol. 9, pp. 65–69.
- TOEPFER, St., GU, H. and DORN, S., 2000. Selection of hibernation sites by *Anthonomus pomorum*: preferences and ecological consequences. *Entomologia Experimentalis et Applicata*. Vol. 95, pp. 241–249.
- VACEK, Stanislav, 2010. Přirozená obnova buku lesního hřížením. *Časopis Krkonoše - Jizerské hory*. . February 2010.
- VAN DER MEER, P. J., JORRITSMA, I. T. M. and KRAMER, K, 2002. Assessing climate change effects on long-term forest development: adjusting growth, phenology, and seed production in a gap model. *Forest Ecology and Management*. Vol. 162, pp. 39–52.
- VENGADESAN, G. et al., 2002. In vitro propagation of *Acacia* species—a review. *Plant Science*. Vol. 163, no. 4, pp. 663–671.
- VITASSE, Yann et al., 2011. Assessing the effects of climate change on the phenology of European temperate trees. *Agricultural and Forest Meteorology*. Vol. 151, pp. 969–980.
- VON ARNOLD, Sara et al., 2002. Developmental pathways of somatic embryogenesis. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. Vol. 69, pp. 233–249.
- WALCK, Jeffrey L. et al., 2011. Climate change and plant regeneration from seed. *Global Change Biology*. Vol. 17, pp. 2145–2161.
- WESOŁOWSKI, Tomasz, ROWIŃSKI, Patryk and MAZIARZ, Marta, 2014. Interannual variation in tree seed production in a primeval temperate forest: does masting prevail? *European Journal of Forest Research*. Vol. 134, pp. 99–112.
- ZU, Peng-Juan et al., 2022. Plant–insect chemical communication in ecological communities: An information theory perspective. *Journal of Systematics and Evolution*.